



PRÊMIO OAS/UNIVERSIDADES
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL

Melhores de
2014

CRÉDITOS



Presidente
Elmar Varjão

Diretor Superintendente Leste
Fernando Antônio Quintas Alves Filho

Diretor Superintendente Norte/ Nordeste/ Centro-Oeste
Charles Maia Galvão

Diretor Superintendente São Paulo/ Sul
Carlos Henrique Lemos

Diretor Administrativo
Dilson de Cerqueira Paiva Filho



Universidade Federal da Bahia

Reitor
João Carlos Salles Pires da Silva

Vice-reitor
Paulo César Miguez de Oliveira

Diretora da Escola Politécnica
Tatiana Bittencourt Dumê

Coordenadora do Colegiado
do Curso de Engenharia Civil
Mônica Cristina Cardoso da Guarda



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO**

Reitor
Carlos Antônio Levi da Conceição

Vice-reitor
Antônio José Ledo Alves da Cunha

Diretor da Escola Politécnica
João Carlos dos Santos Basílio

Coordenadora do Curso
de Engenharia Civil
Michele Schubert Pfeil



**Universidade Presbiteriana
Mackenzie**

Reitor
Benedito Guimarães Aguiar Neto

Vice-reitor
Marcel Mendes

Diretora da Escola de Engenharia
Leila Figueiredo de Miranda

Coordenadora do Curso
de Engenharia Civil
Magda Aparecida Salgueiro Duro



**PRÊMIO OAS/UNIVERSIDADES
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL**

INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE E EMPREENDEDORISMO NA ENGENHARIA CIVIL MELHORES DE 2014

1ª Edição • São Paulo 2015
Agência Imaginera

Imaginera



COMISSÃO JULGADORA

UFBA
Charles Maia Galvão (OAS)
José Nogueira Filho (OAS)
Vanessa Silveira Silva (UFBA)

UFRJ

Eric Almeida Leahy (OAS)
Andrea Baptista Tosta Silva (OAS)
Michele Schubert Pfeil (UFRJ)

MACKENZIE

Geraldo Correia Santos (OAS)
Rogério Veras (OAS)
Aiello Giuseppe Antonio Neto (Mackenzie)

PRODUÇÃO EDITORIAL

OAS

CAPA

Renan Campregher

PROJETO GRÁFICO

Agência Imaginera

DIREÇÃO DE ARTE

André Berriel
Ricardo André

REVISÃO

Jouse Lucena

DADOS INTERNACIONAIS PARA CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil: Melhores de 2014 / Adriano José de Santana; Alberto Borges Vieira Júnior; Alfonso Pappalardo Junior; Aline A. Guerra; Aline D. Scarassati; Amanda Cristina Beneton; Ana Carolina dos Reis Oliveira; Ana Catarina Jorge Evangelista; André Barbosa Cintra; Antônio Cesar Pestana Pavan; Antonio Freitas; Ariana P. S. Lima; Arthur Bastos Silva; Bruna Duarte de Freitas; Bruna Moreira Serra de Sousa; Camila Lima Leite; Camilla Rodrigues Rocha; Caroline Baião dos Reis; Clara Ribeiro da Luz Gerola; Cláudia do Rosário Vaz Morgado; Claudio de Campos Pereira Junior; Dayana Bastos Costa; Eduardo Ioshimoto; Elaine Garrido Vazquez; Emerson de Andrade Marques Ferreira; Emily Almeida Beltrão; Felipe Pinheiro Salles; Fernanda de Carvalho Pereira; Fernanda Mendes Graça Couto; Fernando Ogando dos Santos; Gabriela de Souza Santos; Gabrielle Christina da Silva Calcado; Gisela Hernandes Gomes; Giselle G. Silva; Guilherme de Oliveira Gonçalves; Iamara Bulhões; Jacqueline P. C. Hunter; Jardel Pereira Gonçalves; João Antônio Rosa dos Santos Carrilho; João Vitor Emanuel Maia Machado; Jorge dos Santos; José Carlos Mendes Cortes Júnior; Juliana Tavares Bard; Laruma C. F. Ramalho; Leonardo Augusto; Chaves Frohlich Almeida; Leonardo Guimarães de Sousa; Letícia S. Prado; Liz Boaretto Teixeira Leite; Louise Nideck Sanglard; Lucas Antônio dos Anjos Carvalho; Luís Otávio Cocito de Araújo; Magda Aparecida Salgueiro Duro; Marcela Rodrigues Potting; Marina C. S. Campos; Marina S. Mahfuz; Miguel Roldan Antunes; Patricia M. P. de Oliveira; Paula J. Marques; Paulo Salim Assi; Pedro Silveira Gonçalves Neto; Rafael Mascarenhas de Araújo; Raphael Ribeiro de Mattos Perissinotto; Raquel Cymrot; Raquel de S. Arruda; Rogério de Almeida Brandão; Roseneia Rodrigues Santos de Melo; Simão Priszkulnik; Simone Zappe Fernandes; Stella S. Oliveira; Thaís Steiger Domingue; Thiago C. Bosco; Vanessa Baptistella; Victor Sanches Tobo

616 p.; 150 cm x 230 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-69270-00-3

1. Inovação. 2. Produtividade. 3. Empreendedorismo. 4. Engenharia Civil. I. Universidade Federal da Bahia. II. Escolpa Politécnica. III. OAS. IV. Título.



INOVAÇÃO QUE INICIA NA UNIVERSIDADE.

*A OAS premia os artigos que tem potencial de fazer
a diferença na prática.*

O Prêmio OAS - Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil é uma iniciativa da empresa direcionada aos estudantes do curso de Engenharia Civil e Universidades parceiras. O prêmio foi lançado inicialmente em 2012 com a Universidade Federal da Bahia - UFBA, ampliando suas perspectivas em 2013 para a Universidade Presbiteriana Mackenzie, e, em 2014, para a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

Com objetivo de colaborar para a formação de novos profissionais, por meio do estreitamento da relação Empresa, Estudante e Instituição Acadêmica, a OAS se viu motivada a lançar mão de uma iniciativa que poderia contribuir de modo efetivo para toda a sociedade.

O Prêmio é composto pelos 10 melhores artigos, confeccionados por alunos das referidas Universidades e que em seu conteúdo apresentam discussões a respeito da Inovação, produtividade e empreendedorismo aplicáveis à Engenharia Civil e seus negócios. De modo a proporcionar a transmissão de conteúdo, optou-se pela elaboração do livro que contemple tais estudos, ampliando desta forma o acesso ao conhecimento à todos aqueles que buscam inovar e empreender. É uma contribuição que perpassa a Academia e se torna acessível também ao mercado produtivo, criando desta forma uma sociedade com novas possibilidades.



PRÊMIO OAS/EP-UFBA
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL



PRÊMIO OAS/UFRJ
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL



PRÊMIO OAS/MACKENZIE
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL

MENSAGEM DA OAS



Caro leitor,

O Prêmio OAS foi instituído com o propósito de incentivar, nos futuros engenheiros, a postura empreendedora e a criação de soluções inovadoras para os desafios da engenharia, propiciando ganhos de produtividade e qualidade e assegurando a rentabilidade dos projetos. A primeira edição foi em 2012, com a Universidade Federal da Bahia – UFBA. Em 2013, a empresa ampliou a parceria com a Universidade Presbiteriana Mackenzie, e em 2014, lançou o prêmio com a Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Essa postura se torna cada vez mais necessária na atuação profissional e, seguramente, o será ao longo do tempo, uma vez que os desafios são crescentemente complexos, de maior porte e risco.

Estes desafios são, de fato, oportunidades que devem ser aproveitadas e enfrentadas com obstinação, vontade, motivação e, sobretudo, comprometimento e paixão. Também requerem do engenheiro uma formação ampla e de competências plurais, que deverá ser continuamente complementada.

Este prêmio também aprofunda a relação da OAS com as universidades, com base na convicção de que a busca pela evolução e melhoria constantes se torna muito mais eficaz quando universidade e empresa somam esforços.

Os 10 melhores trabalhos de cada Universidade – UFBA, UFRJ e Mackenzie, apresentados na edição do prêmio 2014 compõem este livro e materializam estas parcerias, com intuito de permitir interação, aproximação e troca de conteúdos e estudos, ao disseminar e inspirar os mais diversos públicos. Autores e seus orientadores compartilham aqui as suas contribuições, que, como facilmente constatará o leitor, têm relevância e aplicabilidade.

A OAS, empresa regida por valores como Garra, Confiança, Competência Profissional e Orientação para Resultados, e que busca em seus colaboradores este perfil de inovação, produtividade e empreendedorismo, entende que o incentivo à formação de profissionais cada vez mais comprometidos com a busca pela excelência é sua contribuição para a profissão e para a sociedade.

Boa leitura!

MENSAGEM DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA



Universidade Federal da Bahia

A função primordial de todo e qualquer engenheiro é buscar meios de melhorar as condições de vida da humanidade, salvaguardando sempre a vida, a saúde e a propriedade. Os engenheiros devem servir à sociedade e estar atentos às necessidades do presente para antever os desenvolvimentos do futuro. Vive-se, hoje, em uma sociedade complexa e dinâmica, marcada pela colaboração, pela produtividade e com alto grau de inovação, na qual, o comando das empresas está sendo assumido por administradores cada vez mais jovens e bem qualificados, uma vez que o mercado para o qual eles se preparam, é muito mais exigente, competitivo e cheio de desafios.

Em 1992, Paul Krugman disse que “Produtividade não é tudo, mas no longo prazo, é quase tudo. A capacidade de um país para melhorar o seu padrão de vida ao longo do tempo depende quase inteiramente da sua capacidade para aumentar a sua produção por trabalhador”. Atualmente, não é suficiente, apenas, ser um bom técnico, mas é preciso gerenciar recursos e pessoas, saber empreender e querer inovar, para construirmos um país mais produtivo e melhor para todos.

A parceria das instituições de ensino com a indústria é fundamental para complementar a formação dos futuros profissionais. Toda e qualquer ação que incentive a capacidade intelectual e empreendedora dos alunos é muito bem vinda.

A Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (EP-UFBA) agradece o apoio da OAS em acreditar e incentivar o processo de integração entre empresa e universidade, contribuindo de forma decisiva para a divulgação de boas práticas na área de inovação, produtividade e empreendedorismo na Engenharia Civil. ●

MENSAGEM DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

A origem da Escola Politécnica da UFRJ remonta a 1792, sendo o primeiro curso regular de engenharia das Américas e o mais antigo curso superior do país, sua trajetória está ligada a própria história do desenvolvimento, científico, tecnológico e cultural brasileiro.

Para um país crescer são fundamentais os recursos naturais, energéticos e financeiros. Mas sobretudo são necessários recursos humanos. Nós nos orgulhamos de formar a mais fundamental de todas as matérias primas do desenvolvimento: o Engenheiro.

Ao longo da história da Engenharia Brasileira foram superados diversos desafios dentre os quais se fez necessário diversas vezes se reinventar e adaptar-se aos momentos em que o Brasil se encontrava.

Os desafios da engenharia moderna demandam profissionais com perfil empreendedor e inovador, que contribuam de maneira significativa para o desenvolvimento do nosso país.

Iniciativas como o prêmio OAS em parceria com as universidades acrescentam uma experiência única aos alunos e futuros Engenheiros, que terão pela frente esse grande desafio de resolver os complexos problemas atuais e ajudar a construir nosso futuro.

A Escola Politécnica da UFRJ parabeniza os alunos vencedores e deseja que essa experiência seja apenas início de uma carreira de sucesso e cheia de desafios a serem superados, visando o crescimento pessoal e oferecendo um diferenciado legado ao seu país. ●

MENSAGEM DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE



O Brasil tem experimentado diversas mudanças econômicas e tecnológicas que atingem diversos setores. Vem vivenciando, na sua história, significativos momentos de desenvolvimento econômico, técnico e social. As mudanças políticas e econômicas que ocorreram na década de 1990 foram importantes para os patamares de desenvolvimento que foram atingidos e vivenciados no final dessa década e da próxima. Desta forma, a nossa nação pôde experimentar novos níveis de desenvolvimento.

O pleno desenvolvimento nacional tem um processo que reflete-se em todos os setores, sendo a Engenharia Civil parte integrante e fundamental nesse processo. Grandes investimentos são aplicados em diversas áreas pelo setor público e pela iniciativa privada. Para atender as demandas solicitadas pelo desenvolvimento nacional e mundial há a necessidade de buscar-se novas tecnologias e processos os quais refletem um pioneirismo na Construção Civil.

A parceria da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) com a Construtora OAS S.A. no Prêmio OAS/Escola de Engenharia-Universidade Presbiteriana Mackenzie “Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil” possibilitou uma experiência única aos futuros engenheiros, uma vez que há uma necessidade crescente para o desenvolvimento de novas tecnologias e processos e suas aplicações.

Diante do exposto, o curso de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie tem buscado manter seu pioneirismo, inovação, capacidade empreendedora e sentimento de responsabilidade social, características inerentes à formação do Engenheiro Mackenzista. ●

<i>Análise crítica e implementação de melhorias no planejamento de médio prazo</i>	27	<i>Análise dos indicadores de produtividade: um estudo da eficiência da produção</i>	171
Ana Carolina dos Reis Oliveira, Iamara Bulhões		Roseneia Rodrigues Santos de Melo, Dayana Bastos Costa	
<i>Aplicação do BIM no estudo de obras de infraestrutura viária e de terraplenagem</i>	45	<i>Recuperação de pavimentos flexíveis com concreto: O método whitetopping</i>	189
Rogério de Almeida Brandão, Emerson de Andrade Marques Ferreira		Leonardo Guimarães de Sousa, Antonio Freitas	
<i>Modelagem e compatibilização de projetos de instalações elétricas com o uso do BIM</i>	65	<i>Comparativo entre construção de múltiplos andares em aço e em concreto armado</i>	209
Emily Almeida Beltrão, Emerson de Andrade Marques Ferreira		Felipe Pinheiro Salles, Alberto Borges Vieira Júnior	
<i>Desempenho do programa de gerenciamento de resíduos da construção civil: ferramentas de avaliação e controle</i>	85		
Camilla Rodrigues Rocha, Jardel Pereira Gonçalves			
<i>Danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical: visão dos pedreiros, encarregados e engenheiros</i>	105		
Camila Lima Leite, Jardel Pereira Gonçalves			
<i>Análise dos aspectos construtivos de fachada unitizada de uma edificação</i>	125		
José Carlos Mendes Cortes Júnior, Jardel Pereira Gonçalves			
<i>Aplicação da tecnologia da informação com uso de dispositivos móveis na construção civil</i>	147		
João Antônio Rosa dos Santos Carrilho, Emerson de Andrade Marques Ferreira			

<i>Influência de agregados reciclados de RCD em argamassas de cimento portland</i>	227	<i>Sustentabilidade em projetos de construção: Uma matriz multicritério baseada em riscos</i>	353
Gabrielle Christina da Silva Calcado, Elaine Garrido Vazquez		Simone Zappe Fernandes, Cláudia do Rosário Vaz Morgado	
<i>Aplicação de método integrado de ferramentas de gestão da qualidade FMEA e FTA na detecção e controle de patologias em sistemas prediais hidráulicos e sanitários</i>	243	<i>Ganhos de qualidade e produtividade através do uso de estaca secante em contenções</i>	373
Arthur Bastos Silva, Elaine Garrido Vazquez		Louise Nideck Sanglard, Jorge dos Santos	
<i>O custo da ineficiência: de que forma o desvio de produtividade impacta os custos de um projeto</i>	263	<i>Princípios para desenvolvimento de comunidades sustentáveis</i>	395
João Vítor Emanuel Maia Machado, Luís Otávio Cocito de Araújo		Marcela Rodrigues Potting, Elaine Garrido Vazquez	
<i>Aplicação de procedimento para análise do desempenho acústico de pisos com base na NBR 15.575</i>	279		
Fernanda Mendes Graça Couto, Elaine Garrido Vazquez			
<i>Boas práticas na implementação de sistemas de gestão da qualidade – estudo de caso Lamce</i>	297		
Juliana Tavares Bard, Jorge dos Santos			
<i>Desempenho térmico em edificação multifamiliar segundo as normas NBR 15.575 e 15.220</i>	311		
Bruna Moreira Serra de Sousa, Elaine Garrido Vazquez			
<i>Panorama da logística de resíduos da construção civil no Rio de Janeiro</i>	331		
Liz Boaretto Teixeira Leite, Ana Catarina Jorge Evangelista			

<i>Concreto de pós reativos e eficiente</i>	419	<i>Comportamento dos solos moles diante de aterros e técnicas de estabilização de recalques</i>	535
Amanda Cristina Beneton, André Barbosa Cintra, Lucas Antônio dos Anjos Carvalho, Miguel Roldan Antunes, Simão Priszkulnik		Aline A. Guerra, Marina C. S. Campos, Patricia M. P. de Oliveira, Thiago C. Bosco, Pedro Silveira Gonçalves Neto	
<i>Desafios técnicos e econômicos para implantação de sistemas de aquecimento de água por energia solar em novos edifícios residenciais na cidade de São Paulo</i>	441	<i>Padronização de componentes visando a minimização de custos e prazos</i>	555
Bruna Duarte de Freitas, Fernando Ogando dos Santos, Paulo Salim Assi, Raphael Ribeiro de Mattos Perissinotto, Magda Aparecida Salgueiro Duro		Giselle G. Silva, Jacqueline P. C. Hunter, Marina S. Mahfuz, Raquel de S. Arruda, Stella S. Oliveira, Raquel Cymrot	
<i>Produção mais limpa: ciclo de vida do EPS no sistema monolítico</i>	461	<i>Concreto com fibra de aço</i>	577
Aline D. Scarassati, Ariana P. S. Lima, Laruma C. F. Ramalho, Paula J. Marques, Gisela Hernandez Gomes		Adriano José de Santana, Fernanda de Carvalho Pereira, Rafael Mascarenhas de Araújo, Vanessa Baptistella, Simão Priszkulnik	
<i>Produtividade com o uso do concreto auto adensável</i>	479	<i>Reciclagem e gestão de resíduos da construção civil</i>	595
Antônio Cesar Pestana Pavan, Guilherme de Oliveira Gonçalves, Victor Sanches Tobo, Eduardo Ioshimoto		Gabriela de Souza Santos, Leticia S. Prado, Leonardo Augusto Chaves Frohlich Almeida, Magda Aparecida Salgueiro Duro	
<i>Impactos causados pelas obras de construção civil: Monotrilho linha 17-ouro</i>	495		
Caroline Baião dos Reis, Clara Ribeiro da Luz Gerola, Thaís Steiger Dominguez, Pedro Silveira Gonçalves Neto			
<i>Concreto reforçado com fibras de aço: determinação de teores ótimos de fibras de aço</i>	517		
Claudio de Campos Pereira Junior, Alfonso Pappalardo Junior			



Universidade Federal da Bahia

OS 10 MELHORES
DA UFBA



PRÊMIO OAS/EP-UFBA
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL



Universidade Federal da Bahia

OS 10 MELHORES DA UFBA

1º **Análise crítica e implementação de melhorias no planejamento de médio prazo**

Ana Carolina dos Reis Oliveira, Iamara Bulhões

3º **Modelagem e compatibilização de projetos de instalações elétricas com o uso do BIM**

Emily Almeida Beltrão, Emerson de Andrade Marques Ferreira

5º **Danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical: visão dos pedreiros, encarregados e engenheiros**

Camila Lima Leite, Jardel Pereira Gonçalves

7º **Aplicação da tecnologia da informação com uso de dispositivos móveis na construção civil**

João Antônio Rosa dos Santos Carrilho, Emerson de Andrade Marques Ferreira

9º **Recuperação de pavimentos flexíveis com concreto: O método *whitetopping***

Leonardo Guimarães de Sousa, Antonio Freitas

2º **Aplicação do BIM no estudo de obras de infraestrutura viária e de terraplenagem**

Rogério de Almeida Brandão, Emerson de Andrade Marques Ferreira

4º **Desempenho do programa de gerenciamento de resíduos da construção civil: ferramentas de avaliação e controle**

Camilla Rodrigues Rocha, Jardel Pereira Gonçalves

6º **Análise dos aspectos construtivos de fachada unitizada de uma edificação**

José Carlos Mendes Cortes Júnior, Jardel Pereira Gonçalves

8º **Análise dos indicadores de produtividade: um estudo da eficiência da produção**

Roseneia Rodrigues Santos de Melo, Dayana Bastos Costa

10º **Comparativo entre construção de múltiplos andares em aço e em concreto armado**

Felipe Pinheiro Salles, Alberto Borges Vieira Júnior

ANÁLISE CRÍTICA E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

Ana Carolina dos Reis Oliveira ¹
Iamara Bulhões ²

Resumo

“O Sistema Last Planner (LPS) de planejamento e controle da produção (PCP) mostra-se como uma boa opção para auxiliar o gerenciamento de obras. O LPS usa como princípio básico, a hierarquização do planejamento, nos níveis de longo, médio e curto prazo. O planejamento de médio prazo (PMP) é caracterizado por atuar como mecanismo de controle e aprendizagem dentro do processo de PCP, porém não tem atingindo sucesso no gerenciamento dos empreendimentos. Nesse sentido, o trabalho tem como objetivo avaliar o PCP de um empreendimento, principalmente em nível de médio prazo, para a partir dessa análise, propor melhorias no processo e implementá-las na obra. O estudo foi realizado numa empresa, que já utilizava o sistema LPS, porém com deficiências na utilização do planejamento de médio prazo. Para a coleta de dados foram utilizadas algumas ferramentas, como entrevistas semiestruturadas, observação direta e análise de documentos. Um dos resultados do estudo identificou-se que as ferramentas do PCP, não estavam sendo utilizado de maneira adequadas, de acordo com os padrões expostos na literatura, o que limitava as tomadas de decisões. Com relação às implementações das melhorias, concluiu-se que a transparência e o formato simplificado do planejamento de médio prazo permitiram, que funções de proteção da produção, integração entre os níveis de planejamento e aprendizagem fossem atingidas. Essas melhorias trouxeram grande satisfação para o gerente de contrato, o engenheiro de planejamento e o engenheiro residente.”

Palavras-chave » Processo de Planejamento e Controle da Produção. Sistema *Last Planner*. Planejamento de Médio Prazo. Tomada de Decisões Gerenciais.

¹ E-mail: ac.reis88@gmail.com.

² E-mail: iamara.bulhoes@ufrgs.br.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento e controle da produção possui uma função importante no gerenciamento dos empreendimentos (AKKARI, 2003). Segundo *Laufer e Tucker* (1987) apud *Akkari* (2003), o planejamento tem como propósito auxiliar o gerente, fornecendo as informações necessárias para as tomadas de decisões. Dessa forma, o PCP tem como meta o aumento da eficácia e eficiência da produção, na perspectiva de um processo gerencial (AKKARI, 2003).

O modelo de PCP desenvolvido por Bernardes (2001) está fundamentado no sistema de controle *Last Planner* desenvolvido por *Ballard e Howell* (1997), apud *Coelho e Formoso* (2005), e nas diretrizes de hierarquização recomendadas por (*Laufer; Tucker*, 1987), apud *Coelho e Formoso* (2005), e (*Hopp; Sperman*, 1996), apud (*Coelho; Formoso*, 2005). Nesse modelo, o PCP é caracterizado na dimensão horizontal pelas etapas do planejamento e controle em cada nível gerencial, e na dimensão vertical pela divisão desse processo nos níveis de longo, médio e curto prazo (COELHO, 2003).

Segundo *Coelho* (2003), o Planejamento de Longo Prazo preconiza algumas formas e ferramentas em detrimento de outras, para a realização do planejamento. Assim dependerá do usuário, que poderá, por exemplo, fazer uso do gráfico de Gantt ou de um pacote computacional comercial (COELHO, 2003).

O Planejamento de Médio Prazo (PMP), no entanto tem recebido menor atenção, apesar de sua importância na implementação, e execução no processo de PCP (COELHO, 2003). *Coelho e Formoso* (2005), destacam as seguintes funções do PMP: proteção da produção, integração entre níveis de planejamento, controle e aprendizagem. Segundo *Coelho* (2003), nos estudos de casos desenvolvidos por integrantes do Grupo GEC do NORIE e por trabalhos publicados pelos integrantes do IGLC, existem poucos relatos de avanços no PMP.

Por outro lado, o Planejamento de Curto Prazo vem sendo o primeiro passo, para a implementação do modelo de PCP (BERNARDES, 2001) e, por isso, aprimorados nos trabalhos realizados por diversos autores (COELHO; FORMOSO, 2005). Desta forma, o nível de curto prazo atingiu de forma satisfatória seus principais objetivos: comprometimento e envolvimento dos responsáveis pela execução do planejamento operacional, além da estabilização mínima da produção (COELHO, 2003).

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar de maneira crítica o sistema de planejamento e controle da produção de um empreendimento da construção civil.

O foco do estudo é o planejamento de médio prazo, no qual se analisou a forma como o PMP foi elaborado e como este contribuiu na tomada de decisões gerenciais da obra. A partir, dessa análise foi feita uma proposta de melhoria no processo e, posteriormente foi implementada numa fase do empreendimento

2 SISTEMA LAST PLANNER

O Sistema *Last Planner* de controle da produção (LPS) é um modelo de planejamento e controle da produção, que contribui para diminuir a incerteza na realização das atividades e melhorar a confiabilidade do fluxo de trabalho, através da gestão da variabilidade (BALLARD; HOWELL, 1997, apud (COELHO; FORMOSO, 2005). Uma importante diretriz no sistema de gestão de empreendimentos que utilizam de novas tecnologias é a hierarquização do PCP. O LPS apresenta uma estrutura hierárquica em três níveis: planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e o planejamento de curto prazo. Para *Isatto et al.* (2000), esta hierarquização do planejamento permite a proteção da produção contra incertezas e variabilidade do sistema produtivo, e cada nível hierárquico requer informações específicas e bem detalhadas, a fim de auxiliar a tomada de decisões.

O Planejamento de longo prazo deve ter como papel principal estabelecer objetivos do empreendimento, incluindo as datas de início e término das atividades, tempo de ciclo de cada tarefa e restrições das atividades principais. O resultado do planejamento de longo prazo é um plano mestre, no qual se determina os ritmos, com os quais serão executados os principais processos da produção. No plano de longo prazo, a linha de balanço é considerada a técnica, que possui mais vantagens quando comparada as outras, pois explícita o fluxo de trabalho das equipes da obra, o que facilita a definição de ritmos das equipes, que garante a continuidade dos principais trabalhos (FORMOSO, 2001).

O Planejamento de médio prazo vincula o plano mestre aos planos operacionais. Neste nível devem ser identificadas as ações necessárias para permitir a realização de cada atividade, no tempo necessário. O planejamento de médio prazo é, portanto, um plano no qual são gerados os pacotes de trabalho, a partir das informações dos serviços previstos no planejamento de longo prazo. Neste sentido, as etapas do plano mestre são analisadas as restrições relacionadas à liberação dos pacotes de trabalho (BALLARD; HOWELL, 1997),

apud (COELHO; FORMOSO, 2005). A eficácia do PMP pode ser medida através do Índice de Remoção de Restrições (IRR), definido como a razão entre o número de restrições de uma semana pelo número de restrições realizadas no mesmo período (CODINHOTO et al. (2003).

O Planejamento de curto prazo, também chamado de planejamento de comprometimento ocorre no nível hierárquico posterior ao planejamento de médio prazo e à análise das restrições das atividades (BALLARD; HOWELL, 1997), apud (COELHO; FORMOSO, 2005). Neste nível devem-se analisar as atividades, que deveriam ser executadas em função daquelas que podem ser feitas, gerando como produto, uma lista das atividades que serão executadas (pacotes de trabalho). Estes pacotes de trabalho, portanto, devem ter suas restrições removidas através da disponibilização dos recursos necessários para suas execuções. A eficácia do planejamento de curto prazo pode ser avaliada através do indicador Percentual de Pacotes Concluídos (PPC), (MOURA, 2008), que é a razão entre a quantidade de atividades 100% concluídas, pelo total de atividades planejadas (BERNARDES, 2001). As relações das causas de não realização dos pacotes de trabalho permite-se o rastreamento das causas raízes para a não realização das tarefas (KOSKELA, 1999) apud (MOURA 2008).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada nesse trabalho foi o estudo de caso com intervenção, método este mais adequado, quando é feito um estudo sobre algum fato contemporâneo, e quando o observador possui pouco de controle sobre os acontecimentos (YIN, 2001). O mesmo autor conceitua estudo de caso, como uma investigação empírica que se baseia em fontes de evidências, como a coleta de dados e a análise das informações coletadas.

O trabalho foi dividido em três etapas: Na primeira etapa, denominada de “definição do escopo do trabalho”, em que foram definidos os objetivos do trabalho e realizada a revisão bibliográfica sobre o tema; na segunda etapa, denominada de “desenvolvimento do trabalho”, onde foi feito o diagnóstico e a análise do processo de planejamento para a partir disso, propor melhorias ao sistema de planejamento existente, principalmente relacionado ao médio prazo e implementá-las através de aplicação de algumas práticas, ferramentas e rotinas de planejamento; na terceira etapa, denominada de “análise dos resultados” foram processados e analisados os dados e informações coletadas no desenvolvimento do trabalho.

3.1 Detalhamento das etapas da pesquisa

Em virtude da determinação do objetivo do trabalho supracitado, realizou-se um estudo bibliográfico que identificou os tópicos relacionados ao PCP e as ferramentas necessárias para conduzir a intervenção. A etapa de desenvolvimento do estudo foi realizada num condomínio vertical, residencial, e com área construída de aproximadamente 17.524,00 m². No período em que o estudo estava sendo realizado, a Torre estava em fase de finalização dos acabamentos, dessa forma, o foco do estudo foi direcionado para o *playground*. A coleta de dados ocorreu no período de abril até julho de 2014. Inicialmente foi feito o diagnóstico do PCP, e para isso foram realizadas entrevistas com o gerente de contrato, o engenheiro de produção residente e a engenheira de planejamento.

Para o diagnóstico, além das entrevistas, usou-se o protocolo de Reck, 2010, no qual estabelece o índice de boas práticas do planejamento e controle da produção, composto por 19 boas práticas. O objetivo desse índice é avaliar o grau de implementação de sistemas de planejamento na obra. De acordo com a autora, a avaliação das práticas é realizada considerando os critérios: As práticas são identificadas como integralmente implementadas (I), parcialmente implementadas (P) ou não implementadas (NI). Os pesos são respectivamente 1,0, 0,5 e 0,0, e uma média ponderada é realizada ao final, na qual cada prática corresponde a 5,26% de implementação do planejamento.

Após o diagnóstico foram propostas as seguintes melhorias no PCP: identificação das restrições e designação dos respectivos responsáveis; elaboração do gráfico para o acompanhamento das atividades; elaboração de indicadores para verificação dos resultados, e condução e acompanhamento das reuniões quinzenal do planejamento de médio prazo. Salientando que, essas melhorias foram implementadas posteriormente.

A etapa de análise dos resultados, os dados foram processados na forma de gráficos, relatórios e indicadores que subsidiassem a tomada de decisão da gerência do empreendimento. Esse processamento de dados foi realizado concomitantemente com a implantação do PMP, para auxiliar a atingir sua eficácia. Também foi definido, com a gerência da obra, que o ciclo de avaliação da implantação seria quinzenal. Isso permitiu avaliar os possíveis erros, que poderiam estar ocorrendo durante o processo. Dessa forma, seria possível corrigir e controlar as falhas e os desvios.

4 RESULTADOS DO ESTUDO

4.1 Diagnóstico

O empreendimento tinha algumas etapas padronizadas para a realização do planejamento e controle da produção. Foram utilizadas mais de uma técnica de planejamento para gerar o plano de longo prazo, como o objetivo de definir o fluxo das atividades e os prazos. Os ritmos eram gerados, a partir de linhas de balanço, porém não eram frequentemente atualizados. Outros cronogramas como o gráfico de *Gantt* e macrofluxos também foram utilizado para visualizar o acompanhamento das atividades e estes eram atualizadas mensalmente.

Com relação, ao planejamento de médio prazo, foi identificado que esse nível não tinha procedimento bem definidos e padronizados e, conseqüentemente, fazia com que os problemas que surgiam no decorrer da obra tivessem que ter soluções de caráter emergencial. Na Tabela 1 está apresentada uma lista de problemas que ocorreram na obra enquanto o diagnóstico foi realizado.

PROBLEMAS	DESCRIÇÃO
Tarefas liberadas com restrições	Serviços eram liberados mesmo sem ter um projeto definitivo ou sem ter o espaço completamente livre para a realização da atividade.
Alteração de projetos	Enquanto, alguns serviços já estavam sendo realizados com bases em projeto legal, os projetos liberados para obra apresentavam novas alterações.
Incompatibilização de projetos	Ainda com projetos atualizados, existiam algumas incompatibilizações que só foram identificados no campo fazendo com que soluções fossem realizadas na urgência do momento.
Redirecionamento de equipe	Não só para atender atividades que estavam ocorrendo na obra, como para resolver problemas que surgiam na vizinhança.
Dimensionamento de estoque	O material acabava antes do serviço estar finalizado, mesmo sendo dimensionado para o serviço completo.

TABELA 1 • Problemas identificados no empreendimento.

Os problemas apresentados na Tabela 1 refletiam no planejamento de curto prazo, como pode ser visto no Percentual de Pacotes Concluídos exibindo na Figura 1. O PPC médio da obra foi de 55%, valor considerado baixo. Percebe-se ainda, uma alta variabilidade nesse indicador, sinalizando a falta de estabilidade na produção, no período de análise.

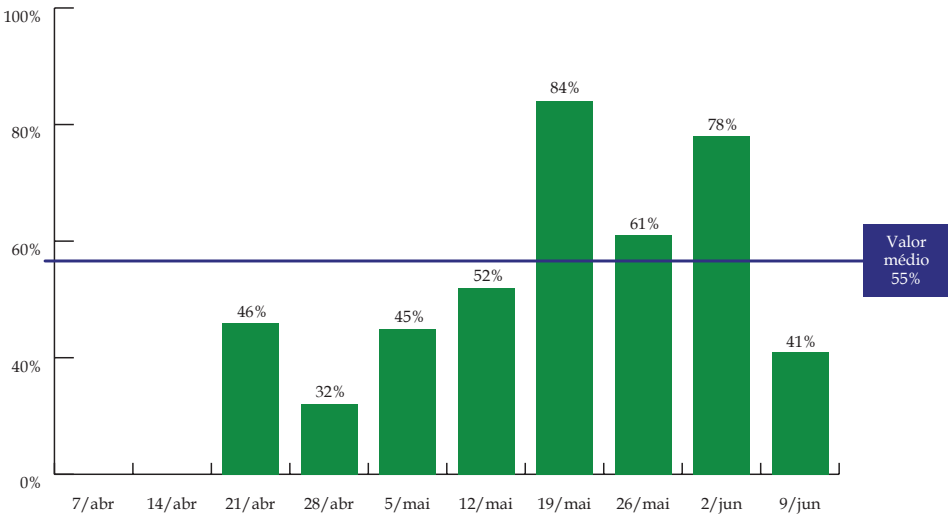


FIGURA 1 • Percentual de Pacotes Concluídos entre abril e junho 2014.

Em relação, às causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho (Figura 2), observa-se, que a falta de material foi a causa de maior ocorrência, com cerca de 70 observações. Problemas advindos do planejamento como, por exemplo, serviços que não eram realizados, porque dependia de outras atividades e redirecionamento da equipe a execução de outro serviço, também tiveram grandes ocorrências. Problemas relacionados com a baixa produtividade, com equipe subdimensionada, e com absenteísmo foram bastante recorrentes.

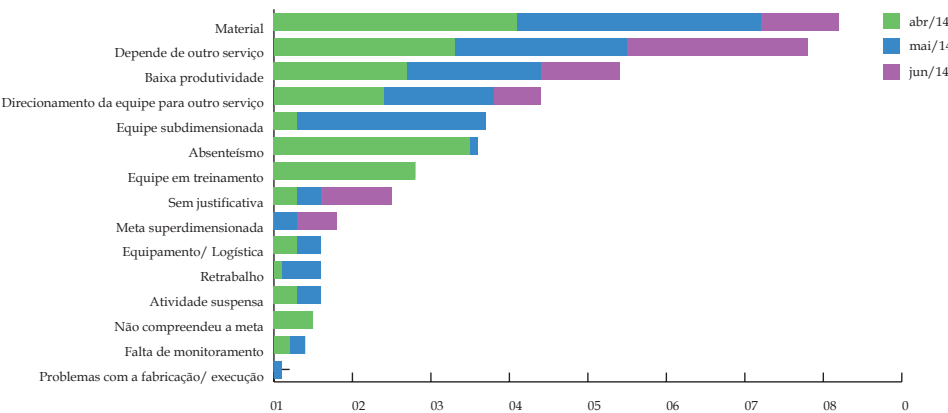


FIGURA 2 • Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho.

No Quadro 1 está apresentada a tabela, com o resultado da avaliação das práticas para medir o Índice de Boas Práticas do Planejamento e Controle da Produção (IBPPCP), proposta por Reck, (2010). Nesse quadro é apresentados o indicador 63%, referentes ao grau de implementação de sistemas de planejamento.

O ÍNDICE DE BOAS PRÁTICAS DO PCP			
RELACIONADAS AO PROCESSO DE PCP			
1	Formalização do Processo de PCP	P	0,5
2	Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro	P	0,5
3	Análise crítica do conjunto de dados	P	0,5
4	Hierarquização do planejamento	P	0,5
RELACIONADAS AO LONGO PRAZO			
6	Utilização de indicadores para avaliar o cumprimento de prazo da obra	I	1,0
7	Elaboração de um plano de longo prazo transparente	I	1,0
8	Atualização sistemática do plano mestre para refletir o andamento da obra	P	0,5
9	Formalização do processo de projeto do sistema de produção	P	0,5
RELACIONADAS AO MÉDIO PRAZO			
10	Planejamento e controle dos fluxos físicos	NI	0,0
11	Rotinização do planejamento de médio prazo	P	0,5
12	Remoção sistemática das restrições	NI	0,0
RELACIONADAS AO CURTO PRAZO			
13	Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	I	1,0
14	Rotinização das reuniões de curto prazo	I	1,0
15	Definição correta dos pacotes de trabalho	I	1,0
16	Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos	P	0,5
17	Inclusão no plano de curto prazo pacotes de trabalho sem restrições	P	0,5
18	Programação das tarefas suplentes	I	1,0
19	Utilização do PPC e identificação das causas do não cumprimento dos planos	I	1,0
IBPPCP		63%	

QUADRO 1 • Índice de Boas Práticas do PCP.

Como resultado do diagnóstico, constatou-se que a empresa possuía um planejamento de longo, e curto prazo desenvolvidos e sistematizados, porém apresentava problemas relacionados ao planejamento de médio prazo. A partir disso, foram propostas ações de melhorias sugeridas pela bibliografia.

4.2 Implementação das melhorias

Na primeira semana da implementação, verificou-se que algumas práticas e procedimentos, que tinham sido propostos como melhorias do sistema precisavam ser adequadas para a elaboração do PMP como, por exemplo, definição de responsabilidades de cada um dos intervenientes do processo, e o aumento da frequência das reuniões de médio prazo, que passaram a ser semanal. Além disso, as reuniões de curto prazo continuaram a ser acompanhadas pela autora do trabalho, com a finalidade de verificar se as práticas implementadas do PMP estavam propiciando os efeitos positivos desejados neste nível.

Inicialmente, com o objetivo de proteger a produção contra as incertezas e variabilidade inerentes ao processo, foi desenvolvido um plano de ataque para a área comum para que, assim, ficasse mais fácil para desenvolver o planejamento de médio prazo. Foi elaborada a Linha de Balanço (Figura 3), na qual foram planejadas as mesmas atividades, que existiam no planejamento de longo prazo da obra. Os ritmos foram baseados na experiência adquirida na execução da Torre e as folgas foram estrategicamente posicionadas, considerando o prazo de entrega dos materiais.

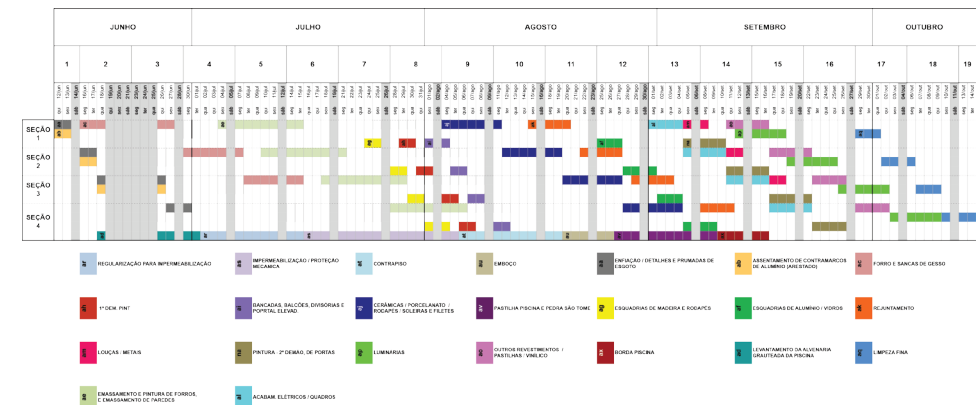


FIGURA 3 • Linha de Balanço

A partir da Linha de Balanço, o planejamento de médio prazo pode ser realizado. O horizonte de planejamento utilizado foi de oito semanas, com ciclo de controle quinzenal. A ferramenta utilizada foi uma planilha desenvolvida pelo pesquisador no *software*

Planejamento de Médio Prazo												
Análise de restrições												
Atividades		Cronograma						Data de início	Data de término	Data limite p/ remoção de restrições		
		Junho		Julho		Agosto						
		3	4	1	2	3	4				5	1
Playground												
4	Forro de gesso - Seção 1								16/jun	27/jun	13/jun	
1	Enfição / detalhes e prumadas de esgoto - Seção 3								18/jun	26/jun	15/jun	
3	Assentamento de contramarco de alumínio (arestado) - Seção 3								18/jun	26/jun	15/jun	

Em seguida, na mesma planilha eram listadas as restrições, ou seja, os pré-requisitos necessários para a realização da tarefa (Figura 5). Para cada restrição era identificado o responsável, e a data limite para removê-la.

Período: junho a agosto - 2014						Gerente de Contrato			Engenheiro de Produção			Planejador					
						Engenharia de Planejamento						Mestre de obras					
Restrições/Responsável																	
Projeto			Material			Mão de obra			Equip.			Espaço			Outras		
Descrição	Respons	Data Limite	Descrição	Respon	Data Limite	Descrição	Respos	Data Limit	Descrição	Respon s	Data Limite	Descrição	Respons	Data Limite	Descrição	Respons	Data Limite
(Status) depende do planejamento antecedenciado	Marcelo	Imediata										(Validar de Início) Demais parâmetros por causa da modificação do projeto.	Mocel	Imediata			
(Inserido) dependente da atualização do projeto com novo plano	Marcelo	Imediata	(Bomque) Monitorar se material para fazer mais contramuros	Ana Gardenia / Bruno	Imediata	(Bomque) Montagem equipe	Lima / Mocel	Imediata							(Inserido) Indicação da caixa dependendo de tura a passagem da G1	HEN	Imediata

Na Figura 6 está apresentado o gráfico, no qual pode-se visualizar o total de restrições identificadas no período e as restrições que foram removidas. O gráfico possibilitou ver a quantidade de restrições da quinzena, e quantas tinham sido eliminadas, sendo que a partir dessa relação calculava-se o índice de remoção de restrições (IRR), apresentado no gráfico da Figura 7.



36

empreiteiro, em substituição da atual, caso contrário se contrataria uma outra empresa. Quando a equipe foi modificada, os serviços ocorreram no ritmo planejado. Alguns ambientes não tiveram o forro executado, justamente porque estava faltando o projeto, e porque o espaço ainda não estava liberado para execução. Por causa do planejamento de médio prazo ficou mais fácil de visualizar esses problemas.

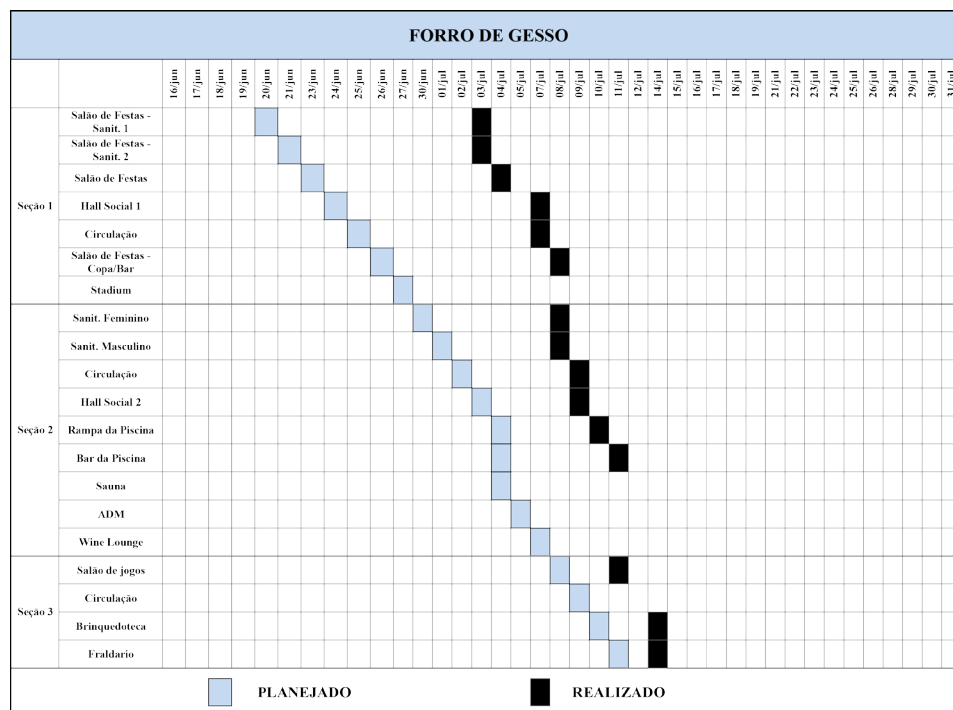


FIGURA 8 • Gráfico de aderência para forro de gesso

O gráfico de aderência do forro de gesso repercutiu tão positivamente no processo de planejamento, tornando o controle dos ritmos mais efetivo, que foi realizado o mesmo gráfico de aderência para o serviço de forro fitado.

Esses resultados refletiram no planejamento de curto prazo. Na Figura 9, observa-se o aumento do PPC no período da implantação, comparado ao período de pré-implantação. Além disso, o PPC médio era de 55% e com a implantação atingiu o PPC de 82%.

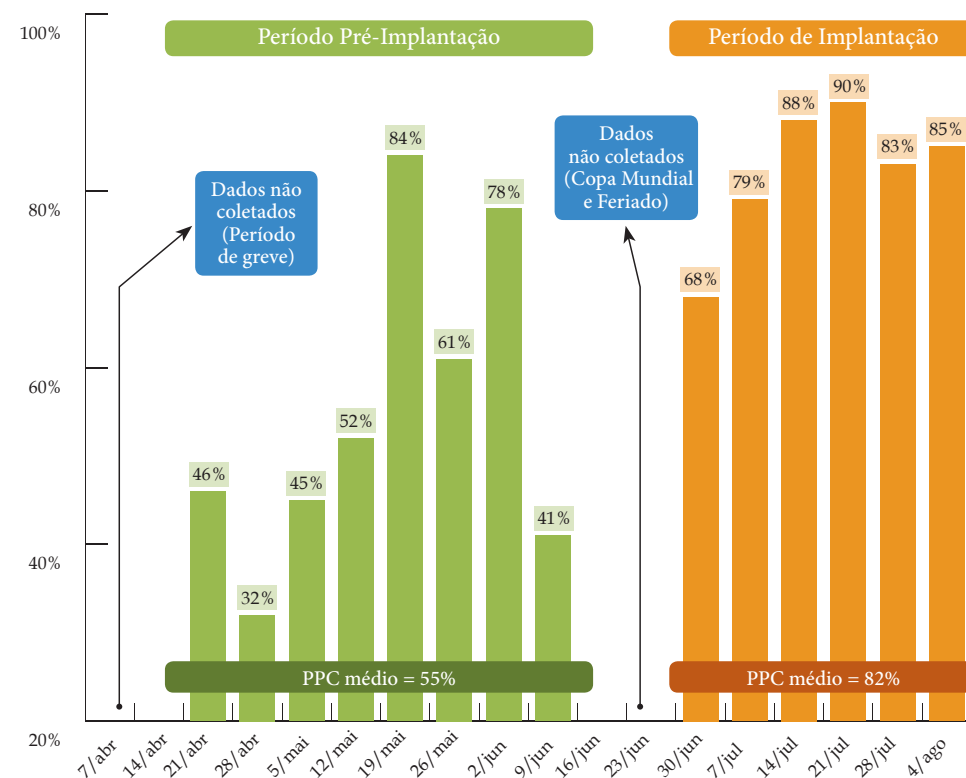


FIGURA 9 • Percentual de Pacotes Concluídos entre abril e junho 2014.

Como pode ser observado na Figura 10, o aumento do PPC médio ocorreu por causa da redução da ocorrência de causas do não cumprimento de algumas atividades depois da implantação. Não apareceu durante esse período ocorrências relacionadas ao equipamento e logística, pois essas restrições eram discutidas nas reuniões de médio prazo, com a antecedência necessária para removê-las. Também, o absenteísmo da obra não ocorreu, pois o gráfico de aderência auxiliou o engenheiro a argumentar com o empreiteiro sobre o desempenho da equipe na obra. Dessa forma, o empreiteiro buscou manter uma equipe comprometida. Retrabalho também deixou de ocorrer, pois os projetos atualizados chegavam dentro do previsto e, assim, nas reuniões de médio prazo as atividades e serviços eram analisados com o intuito de serem realizadas corretamente na primeira vez.

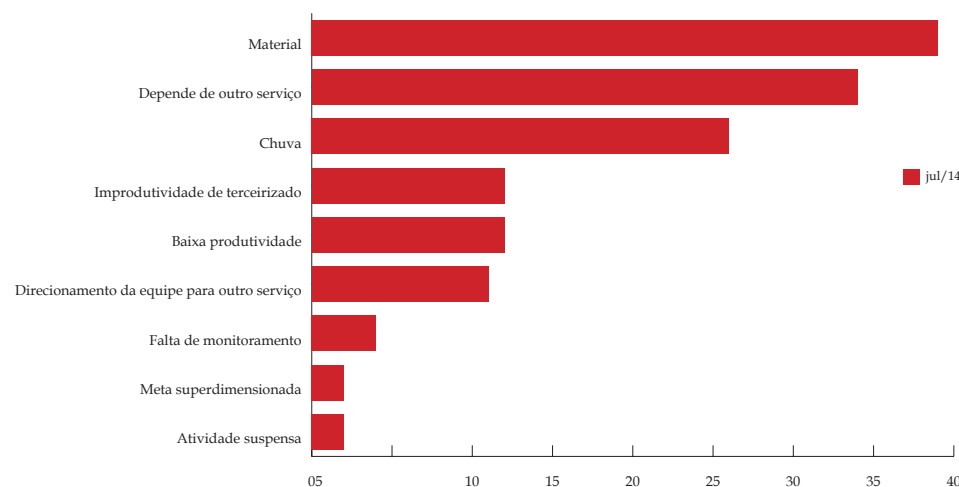


FIGURA 10 • Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho após implantação.

4.3 Análise dos resultados

Ao final do estudo, o roteiro de diagnóstico elaborado por *Reck*, (2010) foi aplicado novamente na obra. Os Índices de Boas Práticas do Planejamento e Controle da Produção, após a implantação do planejamento de médio prazo, apresentou 71% (antes da implantação era de 63%). Esse aumento ocorreu, por causa das práticas e procedimentos que foram implementados.

A sistematização das reuniões de planejamento de médio prazo fez com que, alguns procedimentos se tornassem padrões na obra. A análise sistemática do planejamento de longo prazo tornou-se uma prática adotada, na qual se discutia se os ritmos das atividades em execução estavam de acordo com o ritmo com que foram planejadas. Verificaram-se, as sequências das atividades e suas interferências com outras, para assim, antecipar as soluções, se necessário fosse, com relação aos fluxos das atividades. Além disso, eram verificadas se os serviços estavam dentro dos prazos, caso contrário, se analisavam as folgas, que foram incluídas estrategicamente, caso atrasos ocorressem.

A automatização da planilha de médio prazo, após a aplicação de filtros facilitou a análise desse nível. Com o planejamento de longo prazo detalhado no formato da planilha de médio prazo, no período determinado selecionava-se somente as tarefas visualizadas, e apenas essas tarefas eram detalhadas. Depois de selecionado o período, era realizado

a análise de restrições de cada tarefa. Também eram identificadas as restrições, o responsável e a data limite para remover a restrição. Os participantes se mostraram motivados, pois percebeu-se que o planejamento estava ajudando resolver falhas do processo gerencial.

Esses procedimentos permitiram que se atingissem algumas funções básicas do planejamento de médio prazo:

- A análise de restrições permitia a proteção da produção. Quando alterou-se as reuniões para ciclos semanais (antes quinzenal), a análise de restrições se tornou consistente, pois conseguiu-se perceber mais claramente as restrições existentes. O comprometimento em remover dentro do prazo limite refletiu no andamento das atividades em campo. Isso fez, com que percebesse a real necessidade desse tipo de análise.
- Realizar a interligação entre o nível de longo, médio e curto prazo. Referente, ao nível de longo buscou-se definir as tarefas que estavam dentro do período planejado, fez-se a verificação dos ritmos das atividades, e a análise dos prazos dos serviços. No nível de curto, além do plano de médio servir como base para o detalhamento dos pacotes de trabalho, os indicadores de curto eram uma forma de verificar se o plano de médio prazo estava deixando de proteger a produção por falta de material, equipamento, mão-de-obra, espaço ou projeto.

- A repetição do processo trouxe bastante aprendizado, pois a medida, em que se realizava a reunião tinha atenção de não estar repetindo os mesmos erros.

De forma geral, esse estudo empírico melhorou o sistema de planejamento e controle da produção, dando uma nova forma ao processo. A implementação do planejamento de médio prazo, de maneira simples e transparente, que realizava as funções básicas inerentes a esse nível, as mudanças no plano de longo prazo, e a forma de execução do planejamento de curto prazo, levantou questões sobre o atual planejamento e controle da produção da empresa, e despertou a busca por melhorias.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar, de maneira crítica o sistema de planejamento e controle da produção. Dessa forma, verificou-se que as práticas e as funções do planejamento de médio prazo, não estavam sendo plenamente executadas,

sendo assim, para contornar esse quadro, realizou-se a implementação de melhorias no PMP e de procedimentos para a execução do mesmo.

A transparência e um formato simplificado do planejamento de médio prazo permitiram, que as funções de proteção da produção, integração entre os níveis de planejamento e aprendizagem fossem atingidas. Essas melhorias trouxeram grande satisfação para, o gerente de contrato, o engenheiro de planejamento e, principalmente, o engenheiro residente, que pretende utilizar as práticas em outras etapas da obra.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AKKARI, Alba. Dissertação de mestrado. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional MSPProject**. Porto Alegre, 2003.

BALLARD, G. *The Last Planner System of Production Control, 1992 f.* Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Brimingham, West Midlands, 2000.

BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

COELHO, Henrique Otto. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

COELHO, H. O.; FORMOSO, C.T.; **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. IV Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia. IV SIBRAGEC. Porto Alegre, 24 s 26 de outubro de 2005.

CODINHOTO, R.; MINOZZO, D. L.; HOMRICH, M. C.; FORMOSO, C. T. **Análise de restrições: definição e indicador de desempenho**. III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. III SIBRAGEC. UFSCar, São Carlos, SP - 16 a 19 de setembro de 2003.

FORMOSO, C.T.; **Planejamento e Controle de Produção em Empresas de Construção**. Porto Alegre: UFRGS, 2001

MOURA, Camile Borges. **Avaliação do impacto do sistema Last Planner no desempenho de empreendimentos da construção civil**. 2008. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RECK, R. H. **Aplicação do Índice de Boas Práticas de Planejamento em Empresas Construtoras da Região Metropolitana de Porto Alegre**. 2010. 94f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil.

YIN, R. K.. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 2ª Porto Alegre: Bookman, 2001.

APLICAÇÃO DO BIM NO ESTUDO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA VIÁRIA E DE TERRAPLENAGEM

Rogério de Almeida Brandão ¹
Emerson de Andrade Marques Ferreira ²

Resumo

“Inovação, redução de custos e aumento de produtividade são fatores fundamentais para a perpetuação das empresas, no atual cenário da engenharia brasileira. O mercado tem buscado nos últimos anos novas soluções, que promovam ganhos em relação aos atuais métodos de trabalho. É nesse sentido, que o BIM tem sido apontado como uma importante inovação para o setor, gerando redução de custos, redução de erros, e de tempo de execução do projeto, promovendo assim, uma melhoria geral nos resultados alcançados. Desta forma, o objetivo desse trabalho é fazer uma avaliação sobre o uso do BIM, para o estudo de obras de infraestrutura viária e de terraplenagem. Para isso foi realizado, primeiramente, uma revisão bibliográfica sobre o tema abordado, expondo os seus conceitos e definições. Posteriormente, foi feito um estudo de caso sobre a aplicação desta metodologia, em uma obra de infraestrutura localizada em Salvador, Bahia. Para o desenvolvimento deste estudo de caso, foram utilizados os softwares AutoCAD Civil 3D e o *Infracore*, e com o uso deles foram identificados os benefícios gerados nas fases de estudo preliminar da obra, de elaboração do seu projeto, de levantamento de quantitativos, e de cálculo de platôs para terraplenagem. Os resultados obtidos indicam um ganho de produtividade no tempo de execução do projeto, maior controle dos materiais empregados na obra, redução do tempo de execução de tarefas repetitivas, e uma melhor visão geral do projeto da obra em sua real concepção geográfica em 3D o que favorece tanto o seu estudo como sua execução.”

Palavras-chave » BIM. Obras de Infraestrutura. Levantamentos de Quantitativos.

¹ E-mail: rogerioabrandao@hotmail.com.

² E-mail: ferreira.eam@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Automação e inovação são conceitos que a engenharia e a indústria da construção têm buscado atualmente para evoluírem e se manterem competitivos no atual cenário, em que se encontram. Contribuindo com o desenvolvimento desses conceitos, o *Building Information Modeling* (BIM) visa a união de forma eficiente dos setores de projeto e execução, juntos com os setores de orçamento, planejamento e controle de obras. Pesquisas demonstram que obras que utilizam o conceito BIM possuem uma redução de: 22% no custo de construção, 33% no tempo de projeto e execução, 33% nos erros em documentos, 38% de reclamações após a entrega da obra ao cliente, e 44% nas atividades de retrabalho (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2012).

Contudo, grande parte do avanço no conhecimento, e uso dessa nova metodologia acontece em particular no setor de construções verticais, sendo que para o setor de obras de infraestrutura e construção pesada tais como: Aeroportos, portos, rodovias, ferrovias, obras de saneamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de arte, dentre outras, essa evolução ainda não é muito grande, ainda mais no mercado da engenharia nacional. Por outro lado, o cenário atual aponta para um crescimento do uso dessa metodologia no setor para os próximos anos já que órgãos importantes do país já estão passando a exigir que as propostas nos seus processos licitatórios sejam elaboradas com o uso do BIM, como é o caso do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2011), por exemplo, que é um importante órgão regulamentador para o setor.

Desta forma, este trabalho visa analisar o uso BIM no estudo de obras de infraestrutura viária e de terraplenagem, já que hoje em dia no Brasil grande parte das empresas envolvidas tanto no processo licitatório como na execução destes tipos de obra, utiliza métodos antigos para análise e para a elaboração do orçamento, planejamento e levantamento de quantitativos de materiais. Estes processos podem ser aprimorados com o uso do BIM, que além de possibilitar uma visualização muito mais completa do projeto depois de pronto, também possibilita uma integração multidisciplinar a todos os setores contidos no ciclo de vida de uma construção.

2 BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

A sigla BIM vem do inglês “Building Information Modeling”, e pode ser traduzida para o português como: “Modelagem de Informação da Construção”. Essa “Modelagem de Informação” é uma nova metodologia de trabalho que altera alguns paradigmas atualmente existentes na indústria da construção. Objetiva-se com o BIM criar um único modelo inteligente que contenha todas as informações referentes a uma construção que vão desde a sua fase de concepção até a sua utilização propriamente dita. O BIM, portanto, é na verdade “um novo método de se criar, usar e compartilhar todos os documentos contidos no ciclo de vida de uma construção. Desta forma, o BIM não se trata de um programa específico, mas sim, de uma nova metodologia de trabalho” (EASTMAN et al. 2011).

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode ser definida como a combinação de processos como o de planejamento, gerenciamento, coordenação, de projeto (todos os níveis), e de visualização de todas as fases de uma construção desde a sua concepção até o produto final acabado. Os modelos de construção concebidos com a metodologia BIM são caracterizados por apresentarem (EASTMAN et al. 2011):

- Objetos com representação digital que podem ser manipulados de forma inteligente em programas que utilizam a metodologia BIM como forma de representação.
- Uma forma de dados organizados que permite a sua visualização de uma maneira coerente.
- Componentes que incluem dados, que descrevem como eles se comportam e devem facilitar os processos de trabalho, assim como, também possíveis análises posteriores.
- Dados consistentes e não redundantes, de maneira que uma mudança em um dos seus componentes será representada em todas as visualizações associadas a eles.

De acordo com o órgão americano “*National Institute of Building Sciences* (NIBS)” O BIM deve ser visto como “Um aprimoramento nos processos de construção, planejamento, operação, projeto, manutenção e utilização de uma informação padrão para cada unidade de construção, nova ou antiga, que contenha todas as informações apropriadas daquela obra, e em um formato que deve ser útil durante todo o seu ciclo de vida” (NIBS, 2007).

A criação de um modelo digital parametrizado é a principal diferenciação de um modelo que utiliza a metodologia BIM (modelo inteligente), e de um desenho bidimensional ou tridimensional CAD tradicional. Na verdade, o processo de criação de um modelo com parâmetros definidos é um requisito do BIM. O processo de parametrização implica em atribuir uma regra, ou uma definição a certo objeto fazendo com que este não seja somente um simples desenho, mas algo que contenha uma informação específica associada a ele. De acordo com (EASTMAN et al. 2011), estes parâmetros que podem ser atribuídos, variam desde relações entre diferentes objetos, inclusive promovem a automação de um modelo BIM, já que este permite que o sistema realize atualizações automáticas no modelo quando um objeto sofre alguma modificação, ou até mesmo podem ser informações não geométricas do mesmo objeto, como por exemplo, custo desempenho e trabalhabilidade. Este modelo paramétrico permite posteriormente, a extração de informações do modelo, mostrando o seu quantitativo de materiais, volumes de terraplenagem, entre outros.

3 APLICAÇÃO DO BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA

O BIM aponta hoje, para o futuro da engenharia e arquitetura, com a união de forma eficiente do setor de projeto, do setor de execução, juntos com os setores de orçamento, planejamento e controle de obras. No setor de infraestrutura esse fato não é diferente. Até mesmo órgãos governamentais como, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT, autarquia federal, que executa obras de infraestrutura rodoviária, ferroviária, e hidroviária, tem reconhecido os benefícios do uso do BIM, no projeto e construção de estradas, quando afirma que seu uso facilita e torna mais eficiente à tramitação de projetos e a execução de obras de engenharia. Para o órgão, o BIM irá assegurar mais agilidade na tomada de decisões e transparência nas suas ações, e também agregará valor ao planejamento, por meio da simulação das condições de contorno do empreendimento no ambiente computacional aumentando, sendo assim, a precisão no que se refere à construção de cronogramas e orçamentos (DNIT, 2011).

Na verdade, a adoção do BIM em obras de infraestrutura pode gerar ganhos expressivos para as empresas que atuam no setor como, por exemplo, a redução do custo de construção, a redução no tempo de projeto e no tempo de execução de um empreendimento, a redução

de reclamações por parte dos clientes, a redução de retrabalho, além de uma melhoria geral nos resultados da empresa (MANZIONE, 2013).

O BIM pode ser aplicado de diversas maneiras em obras de infraestrutura dentre as quais, se destacam a sua aplicação para o projeto de estradas, ao projeto de terraplenagem, e ao cálculo de volume de material, que serão objetos de estudo de caso deste trabalho. Destacam-se também, a sua aplicação para análise de interferências e para sistemas de drenagem urbana e sua aplicação para a fase de estudos preliminares e de concepção da obra.

A Figura 1 ilustra um modelo de uma obra de infraestrutura criado com o uso da metodologia BIM pela *Autodesk*. Trata-se de um projeto de engenharia realizado por uma empresa da Noruega, próximo a capital do país, Oslo. Para a empresa a solução do BIM “ajudou a criar um modelo que simula o projeto de infraestrutura com o ambiente à sua volta o que oferece uma visualização do projeto de uma forma única e transmite a imagem de um projeto elaborado com alta qualidade de execução” (AUTODESK, 2014).



FIGURA 1 • Modelo de uma obra de infraestrutura feito com o BIM.

4 SOFTWARES BIM UTILIZADOS NESTE TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os softwares AutoCAD Civil 3D e o *Infraworks*. A escolha desses *softwares* foi feita por conta da sua acessibilidade e também

pelo fato do seu fabricante Autodesk, disponibilizar uma versão gratuita para estudantes dos mesmos com todos os recursos contidos na versão comercial. Ambos trabalham de acordo, com a metodologia BIM e, portanto possuem todas as funções necessárias para a criação de um modelo inteligente em 3D, que possua informações parametrizadas.

4.1 Infraworks

O software *Infraworks* é utilizado para se fazer um estudo preliminar de uma obra ou empreendimento, ainda em sua concepção. Ele tem o objetivo de trazer o projeto de uma obra de engenharia para o contexto real, onde ela será construída. Trata-se de um moderno programa de engenharia que integra as tecnologias BIM e GIS em um só modelo inteligente e em 3D. O *software* foi desenvolvido mais especificamente para ser utilizado em obras de infraestrutura (AUTODESK, 2014).

O GIS (*Geographic Information System*) pode ser definido, como um conjunto de ferramentas para a entrada, armazenamento, recuperação, manipulação, análise e produção de dados espaciais (MARBLE et al., 1984). Portanto, o GIS se constitui em um sistema computacional que possui uma base de dados georeferenciados capaz de armazenar, analisar e manipular diversos tipos de dados geográficos e geoespaciais. Desta forma, ele possibilita uma localização real e exata de certa região do planeta terra em que um projeto será executado, o que gera um grande valor para o seu uso em obras de engenharia. E é justamente essa localização exata junto com a sua correspondente visualização, que o programa usa para explorar diferentes alternativas de um projeto e poder observar a sua engenharia em um contexto real.

4.2 AutoCAD Civil 3D

O AutoCAD Civil 3D é um programa que utiliza a metodologia BIM, e foi desenvolvido para ser usado em projetos de engenharia de obras de infraestrutura. Ele foi criado para ser utilizado por profissionais de engenharia civil, desenhistas e técnicos que irão trabalhar com projetos de transporte, desenvolvimento de loteamentos, projetos hidráulicos, projetos de portos, aeroportos, ferrovias, dentre outros (AUTODESK, 2014).

Este *software* é utilizado para se fazer o projeto executivo de uma obra de infraestrutura, ele permite a inserção de todos os dados técnicos de engenharia necessários para a elaboração de um projeto complexo de infraestrutura. Também com o AutoCAD Civil 3D é possível se identificar possíveis interferências de projeto e corrigi-las.

5 MÉTODO DE PESQUISA

Primeiramente, para a elaboração deste trabalho se fez necessário à realização de uma revisão bibliográfica do BIM, e da sua aplicação em obras de infraestrutura. Posteriormente, se fez necessário adquirir conhecimento dos *softwares* que iriam ser utilizados para construção dos modelos utilizados no estudo de caso. Após o estudo bibliográfico desenvolvido sobre os temas acima citados, foi realizado um estudo de caso com o objetivo de avaliar o uso do BIM em uma obra de infraestrutura viária e de terraplenagem localizada em Salvador, Bahia, objetivando-se demonstrar como, esses programas contribuem para a otimização do estudo e da elaboração do projeto deste tipo de obra.

6 ESTUDO DE CASO: A APLICAÇÃO DO BIM A UMA OBRA DE INFRAESTRUTURA VIÁRIA E DE TERRAPLENAGEM

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho buscou fazer uma aplicação prática do BIM, a uma obra de infraestrutura viária e de terraplenagem localizada na cidade de Salvador, Bahia. Para o desenvolvimento deste estudo de caso foram utilizados os softwares AutoCAD Civil 3D e o Infraworks. Foram analisados os benefícios obtidos com a utilização destes softwares para otimização de processos nas etapas de projeto e estudo da obra, levantamento de quantitativos dos materiais da obra para elaboração de orçamento e propostas, e os benefícios da integração entre as metodologias BIM e GIS para os tipos de obras supracitadas. Para o estudo de caso exposto neste artigo, primeiramente, utilizou-se o *Infraworks* para o estudo preliminar da obra, posteriormente o AutoCAD Civil 3D foi utilizado para a criação do projeto detalhado da obra, o levantamento dos seus quantitativos, e para o cálculo do platô de terraplenagem de um terreno situado ao longo da via.

6.1 Caracterização da obra em estudo

Este trabalho utilizou como objeto de estudo, a obra do Corredor Transversal I, localizado na cidade de Salvador. Esta intervenção viária tem o objetivo de fazer a ligação entre a Orla Atlântica da cidade, a Avenida Luís Viana Filho (Paralela), a Avenida Gal Costa e a Avenida Suburbana com a execução de um corredor único entre eles. Esta via urbana terá aproximadamente 12 quilômetros de extensão, e será composta por duas faixas de vias em cada sentido de tráfego. A Figura 2 fornece a localização do Corredor Transversal I, que foi utilizado como objeto de estudo neste trabalho.



FIGURA 2 • Localização do Corredor Transversal I, objeto de estudo deste trabalho.

6.2 Utilização do Infraworks para estudos preliminares

Neste estudo de caso, o Infraworks foi utilizado para as fases de projeto e estudo preliminares da obra analisada. A principal função deste programa, que é poder visualizar o projeto de engenharia no seu contexto real em que ele se encontra, foi utilizada para

esta obra em estudo. Primeiramente foram obtidas as informações topográficas via satélite da região específica de modo que, a obra se encontra no município de Salvador. Posteriormente, analisados possíveis traçados para o trecho da via urbana analisado e exploradas alternativas para o projeto.

A Figura 3 mostra a região específica da obra inserida no software já com suas informações topográficas e de relevo.

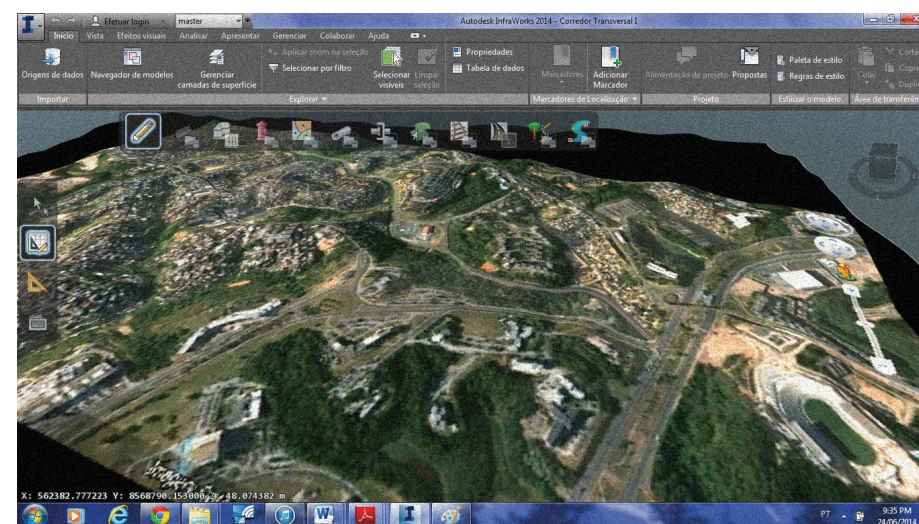


FIGURA 3 • Região do trecho da obra em estudo inserida no *Infraworks*.

Esta visualização da região mostra onde a obra será inserida, sendo importante para as definições iniciais de projeto deste tipo de empreendimento, pois a mesma permite escolher previamente as melhores opções para o traçado da via em termos de custos e de viabilidade executiva. Para este estudo de caso, a definição preliminar do traçado da via em estudo foi feita objetivando-se manter uma conformidade, com o anteprojeto original da obra, e também a fim se evitar o máximo de desapropriações possíveis, evitando-se assim, acréscimo nos custos do empreendimento.

A Figura 4 ilustra, em formato aproximado a forma do traçado escolhido para a via em estudo, junto com as condições reais de relevo da região juntamente com níveis de detalhes de um possível formato da plataforma da via estudada. Desta forma, pode-se também ter uma pré-visualização de como ficaria a via após sua construção final.

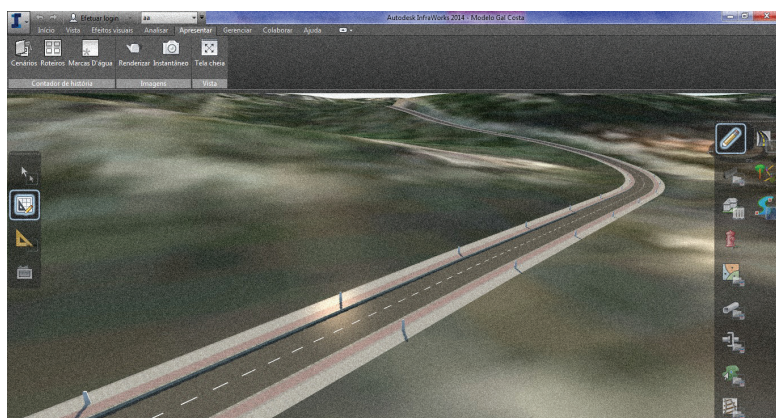


FIGURA 4 • Vista preliminar de partes do traçado escolhido para a via.

Também, com o uso desta ferramenta BIM é possível, como mencionado anteriormente, se analisar diferentes alternativas para a concepção de um projeto de engenharia. Na obra utilizada neste estudo de caso, por exemplo, esta função do programa foi utilizada para a análise de diferentes alternativas para a interseção, que deveria ser realizada sobre a Av. Paralela. A principal dúvida levantada pelo anteprojeto da obra era verificar a viabilidade da construção de um viaduto sobre a avenida, e como ficaria esta estrutura após a sua conclusão. Desta forma, neste estudo de caso foi demonstrada através do software uma ideia preliminar de como ficaria este viaduto na região da obra em estudo, e os possíveis locais onde este viaduto poderia ser construído. A Figura 5 ilustra a visualização do viaduto e sua localização escolhida.

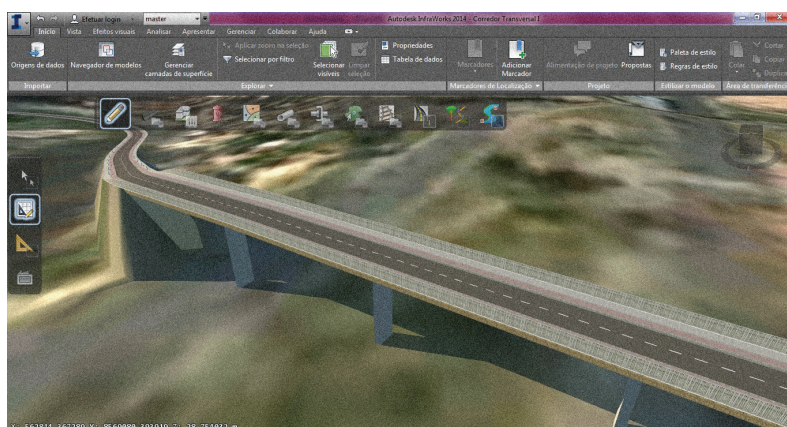


FIGURA 5 • Visualização do viaduto como forma de explorar diferentes alternativas de projeto.

Esta é uma importante função para as empresas envolvidas no estudo deste tipo de obra, pois permite que os envolvidos no projeto tenham uma real dimensão de como o seu projeto irá afetar o seu entorno, e também, como já citado, permite analisar as melhores opções de traçado, e forma preliminar do empreendimento.

Após as definições preliminares do empreendimento, se faz necessário, para a efetiva construção da obra, a elaboração do seu projeto executivo. O programa BIM utilizado neste trabalho como aplicação desta etapa posterior, foi o AutoCAD Civil 3D, que será demonstrado no tópico seguinte.

6.3 Aplicação do AutoCAD Civil 3D para elaboração do projeto da obra, levantamento de quantitativos e elaboração de platôs

O AutoCAD Civil 3D foi utilizado neste trabalho, para desenvolver um trecho do projeto da obra do Corredor Transversal I em estudo, cujo objetivo será demonstrar a funcionalidade dessa ferramenta BIM para este tipo de atividade, e também para o cálculo de platôs de terraplenagem, que é outra importante utilidade do *software* em obras de infraestrutura. O traçado da via utilizado para a construção do modelo neste software foi o mesmo definido no tópico anterior no Infracworks, tendo como base o anteprojeto da obra.

O modelo criado no AutoCAD Civil 3D, contém todas as informações técnicas de engenharia necessárias para a execução da obra, e também, por se tratar de um modelo inteligente, permite a obtenção de informações relevantes para as empresas construtoras como, por exemplo, os quantitativos dos materiais utilizados na obra, os volumes de terraplenagem necessários para sua execução e visualizações em 3D do projeto final criado.

Para o modelo construído neste estudo de caso foram definidas as configurações padrões do programa AutoCAD Civil 3D, para a construção do alinhamento horizontal da estrada, com o cálculo automático das tangentes das curvas, que estarão contidas no traçado da estrada, assim como também para a construção do seu perfil longitudinal. A definição destes elementos, porém, pode ser feita através de critérios específicos a serem definidos pela equipe de projeto da obra, e desta forma podem ser inseridos no programa.

Como parâmetro final para a criação do modelo em 3D, e da via urbana deste modelo é necessário à definição da plataforma da via. Para a construção deste modelo iremos

adotar uma plataforma baseada no anteprojeto desta obra. A plataforma será, portanto composta por um subleito com espessura de 20 cm, uma sub-base com espessura de 20 cm, uma base com espessura de 15 cm, e uma camada de pavimento asfáltico de 5 cm. A plataforma terá duas faixas de tráfego, meio-fio e calçada em concreto. Para os taludes de corte, e aterro da pista serão adotados os valores práticos de 1:1.00 para o talude de corte e 1:1.50 para o talude de aterro.

Após a inserção de todos os dados de projeto, o *software* sintetiza essas informações de forma inteligente, e as utiliza para a criação automática do modelo em 3D que contém todas as informações de engenharia necessárias para a sua construção. Ou seja, o modelo final criado possui os parâmetros de projeto, os volumes de corte e aterro necessários para a execução da obra, elevações verticais da obra, inclinações, raio das curvas horizontais, e quantitativos dos materiais utilizados. O modelo final criado neste estudo de caso pode ser visualizado em 3D através da Figura 6.

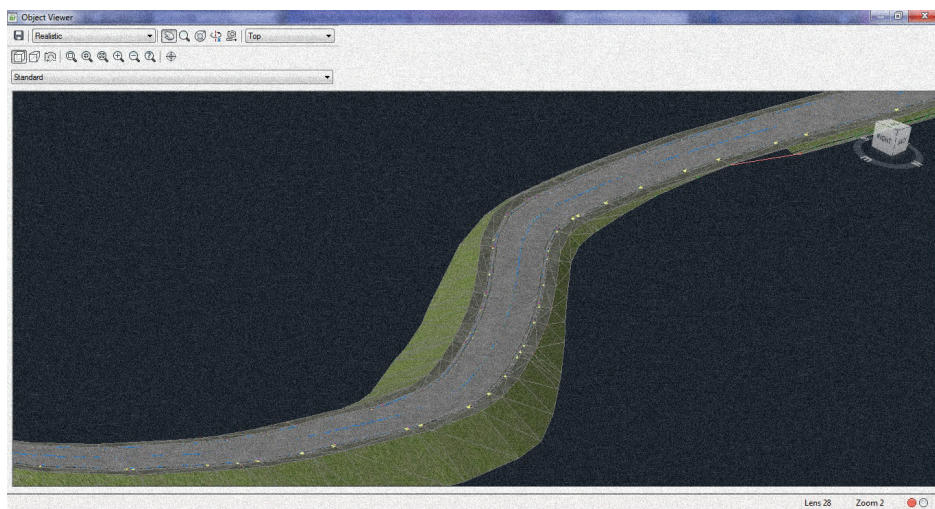


FIGURA 6 • Visualização em 3D de parte do modelo criado no *software* AutoCAD

6.4 Levantamento de quantitativos através do modelo criado

Com o modelo em 3D da obra criada, é possível se extrair informações dele como, o quantitativo dos materiais, que serão utilizados na obra. O *software* AutoCAD Civil 3D,

permite uma planilha de *Excel*, externa ao programa, seja anexada ao modelo criado com a associação dos parâmetros do modelo a dados da planilha com suas devidas unidades e valores associados. Essa associação é feita manualmente e é possível, pois todos os elementos do modelo criado pelo programa AutoCAD Civil 3D são parametrizados, ou seja, possuem informações associadas a eles, o que é uma característica fundamental da metodologia BIM, como explicado anteriormente.

Neste estudo de caso, foram associados para efeito de exemplo, os materiais da Sub-base, Base, Meio-Fio e Calçada em concreto do modelo da via urbana criada. A planilha utilizada para esta associação foi uma planilha padrão do sistema do *software*, no idioma inglês. Porém, vale ressaltar que qualquer planilha orçamentária poderia ser associada ao modelo em 3D criado pelo *software*. Os quantitativos finais, calculados automaticamente pelo programa podem ser visualizados na Figura 7.

Summary Takeoff Report			
Pay Item ID	Description	Quantity	Unit
30105-0000	SUBBASE	6209	TON
41801-0000	FOAMED ASPHALT STABILIZED BASE COURSE	7425.79	SQYD
60901-0000	CURB, CONCRETE	3395.071	LNFT
61501-0100	SIDEWALK, CONCRETE	7425.79	SQYD

FIGURA 7 • Quantitativos de materiais automaticamente calculados pelo programa.

Desta forma, temos que para a extensão do modelo da via urbana criado se fará necessário o uso de 6.209,00 Toneladas de material de subbase, 7.425,00 yd² de material de base, 3.395,071 pés de meio-fio em concreto e 7.425,79 yd² de calçada em concreto. As unidades se encontram em inglês, pois a planilha padrão associada, também se encontra neste idioma. Com os quantitativos dos materiais automaticamente calculados, também é possível se fazer uma associação destes com valores, criando assim um orçamento para a obra.

6.5 Aplicação do AutoCAD Civil 3D para o projeto de platôs e cálculo dos volumes de terraplenagem

A análise da quantidade de volume de solo a ser escavado e movimentado na fase de terraplenagem é uma etapa importante para as obras de infraestrutura, e esse tipo

de informação é considerado bastante útil para as construtoras, já que os volumes de terraplenagem possuem um peso considerável dentre os itens que compõe o orçamento de uma obra.

Neste estudo de caso, esta função do software foi utilizada para se demonstrar a automação gerada no projeto de platôs, e no cálculo de volumes de corte e aterro de material para se executar a terraplenagem de uma obra, ou seja, a infraestrutura do terreno da obra. O terreno foi escolhido aleatoriamente, e fica situada ao longo da via urbana criada no tópico anterior. Os dados topográficos necessários para a execução desta função no software (curvas de nível e superfície do terreno) foram aproveitados do modelo criado anteriormente para a construção da via urbana, que representa um trecho do Corredor Transversal I.

O terreno foi escolhido com o objetivo, de simular uma área particular que poderia ser utilizada para a construção de um empreendimento após a obra da via urbana ser concluída. O terreno escolhido foi denominado de Lote A, e possuem 414,03 metros de perímetro, 10.670,06 metros quadrados de área e ocupa uma região onde a elevação mínima equivale a 38,255 metros e a elevação máxima é igual a 49,470 metros. Foi determinada uma cota de terraplenagem de 40 metros, e foram calculados os devidos volumes de corte e aterro necessários para se realizar esse nivelamento considerando os desníveis naturais do terreno. Com os devidos dados inseridos corretamente, o *software* calcula automaticamente esses volumes, assim como também fornece uma visão preliminar em 3D, de como esse terreno ficará após a terraplenagem ser executada e o projeto em AutoCAD necessário para a execução dos taludes, tanto de corte, como de aterro, com suas devidas alturas e inclinações.

A Figura 8 demonstra, o resultado final para a terraplenagem alcançada. Os taludes de corte são destacados em vermelho, e possuem uma inclinação de 1:1.00 e os volumes de aterro destacados em verde possuem uma inclinação de 1:1.50. Os volumes finais calculados automaticamente pelo software para se terraplenar o Lote. Há na cota única de 40 metros, determinada para todos os pontos do lote, na região considerada, é necessário um volume de corte de material de 33.584,94 m³, e um volume de aterro de material de 3.167,34 m³, já com o fator de empolamento atribuído de 1,2 para o aterro.

Desta forma, a terraplenagem deste terreno irá gerar uma sobra de 30.417,60 m³ de material, que deverá ser destinado para bota-fora, ou para uso em outra obra, caso

seja um material de boa qualidade. Este ensaio é realizado rapidamente, e podem ser analisadas outras cotas de terraplenagem com apenas um novo comando no *software*, o que gera ganhos consideráveis em relação ao método tradicional de cálculo desses volumes.

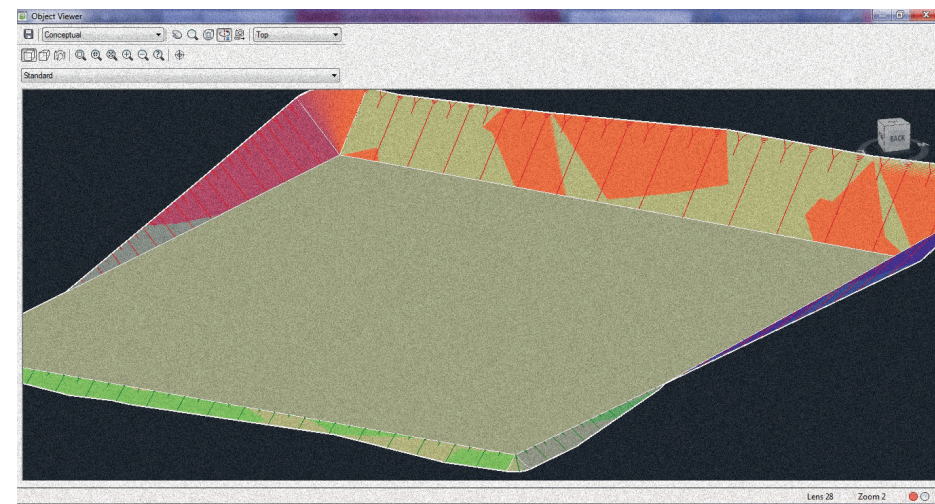


FIGURA 8 • Visualização final do platô, com todos os volumes de terraplenagem calculados.

É importante ressaltar, que através deste modelo final criado pode-se extrair diversas vistas de corte do platô projetado. Estas vistas de corte têm uma grande importância para a construção adequada dos taludes do terreno, e podem ser extraídas de forma rápida e eficiente no *software*.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O estudo de caso, exposto neste trabalho mostrou algumas das funcionalidades da aplicação da metodologia BIM em obras de infraestrutura viária, e de terraplenagem. Diante do que foi exposto no estudo de caso, e o que foi abordado ao longo deste trabalho, foram avaliados alguns pontos positivos da sua elaboração, e do uso da metodologia BIM para obras destes tipos, dentre as quais pode-se destacar:

- Procedimento para a construção de um modelo em 3D nos softwares AutoCAD Civil 3D e Infraworks

Os registros dos procedimentos necessários para a construção de um modelo em 3D realizados no estudo de caso possibilitam que o conhecimento adquirido com este trabalho seja utilizado posteriormente, como ferramenta para o desenvolvimento de outros modelos, ou como base para trabalhos futuros.

- **Criação de um projeto de uma via urbana com um *software* BIM**

O software AutoCAD Civil 3D, que é uma ferramenta do BIM proporciona um ganho de produtividade no processo de construção do projeto de uma estrada. O software permite que se construa o alinhamento horizontal e vertical de forma prática e automática, mantidas as necessidades de um projeto de engenharia, e também possibilita que qualquer mudança efetuada em qualquer trecho de um desses alinhamentos, seja também realizada para todos os outros elementos do modelo o que reduz o trabalho mecânico de se fazer alterações em cada trecho do projeto separadamente.

- **Visualização do modelo em 3D junto com o ambiente real em seu entorno**

A construção do modelo em 3D realizada no estudo de caso deste trabalho seguiu como base o ambiente real, onde a obra estudada está inserida. Esta visualização tem grande importância quando se trata de obras de infraestrutura, pois através dela é possível identificar os reais impactos que uma obra terá ou até mesmo suas possíveis interferências com seu entorno.

- **Levantamento de quantitativos de uma obra de infraestrutura com o BIM**

Como demonstrado no estudo de caso deste trabalho, após a criação do modelo em 3D do projeto, é possível se extrair informações a respeito dele com relação aos quantitativos dos materiais a ele associados. Desta forma, há uma integração entre o projeto e o seu quantitativo de materiais associado o que proporciona a redução de tempo gasto para a obtenção dessas informações.

- **Otimização de processos repetitivos na fase de estudo, e projeto de platôs e obtenção dos volumes de terraplenagem.**

Foi exposto através do estudo de caso, como se obter de forma automática os volumes necessários para se fazer a terraplenagem de um terreno. Este tipo de metodologia gera um ganho de produtividade na execução deste processo, já que o programa realiza esses

cálculos automaticamente, com base nos dados topográficos inseridos previamente para a construção do modelo. Para a obtenção destes dados pelo método tradicional seria necessários se obter os perfis transversais e longitudinais do terreno, e se obter as áreas de aterro e corte com base em um platô definido, além de saber a distância entre as diferentes seções. A partir dessas informações iria se calcular os volumes de corte e aterro através das áreas multiplicadas pelas distâncias entre elas. Este seria um processo demorado e que pode ser acometido por falhas. Desta forma o ganho com o uso do BIM é considerável.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou contribuir para, o desenvolvimento do uso da metodologia BIM em obras de infraestrutura, que ainda é limitado, principalmente dentro do mercado de engenharia brasileiro. Através deste trabalho foi possível perceber que a adoção desta nova metodologia requer uma mudança em relação aos atuais métodos de trabalho, especialmente no sentido da integração entre as diferentes equipes envolvidas em um projeto de engenharia, e também no fato do domínio das novas tecnologias associadas a ela.

Entretanto, é importante salientar que o BIM não oferece uma fórmula mágica para a solução de todos os problemas existentes na engenharia atual, mas propõe uma integração entre todas as disciplinas envolvidas desde a concepção, até todo o ciclo de vida de um empreendimento visando a criação de um modelo 3D parametrizado, que representa um modelo virtual do empreendimento, reduzindo assim, erros e prevendo possíveis incompatibilidades envolvidas no projeto.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se a continuidade dos estudos de integração entre os modelos criados no AutoCAD Civil 3D, no Infraworks e também o uso de imagens de melhor resolução, como fotografias aéreas, para a confecção de superfícies do modelo tanto no AutoCAD Civil 3D como também no Infraworks. Pode-se também criar sequências cronológicas de execução do modelo em 3D explorando assim, outras dimensões do BIM.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK, University Brasil 2013. *Estudo de alternativas de traçado de estradas utilizando Autodesk Infraworks*. Disponível em <<http://www.scribd.com/doc/227473445/Infraworks-Tutorial>> Acesso em 21 maio 2014.

DNIT. *Relatório de Gestão do Exercício de 2011. Brasília, Distrito Federal, 2011*. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/institucional/relatorio-de-gestao/relatorio-de-gestao-2011-vf-25-04-impresso.pdf>> Acesso em 16, maio 2014.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. LISTON, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2ª ed. Hoboken: Wiley, 2011.

GRUBLER, ARNULF. *The Rise and Fall of Infrastructures: Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport*. Heidelberg, 1990.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. *The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology*. Bedford, 2012.

MANZIONE, LEONARDO. *Os desafios do BIM*. Revista Técnica. São Paulo: Pini, n. 196, p. 24, out. 2013.

MARBLE, D. F. (1984). *Geographic Information Systems and Land Information Systems: differences and similarities*. The Decision Maker and Land Information Systems: Papers and Proceedings from the FIG International Symposium, 1984, Edmonton, Alberta, Canada, Canadian Institute of Surveying.

NIBS. *National Institute of Building Sciences*. 2007. Disponível em: <www.nibs.org>. Acesso em: 22 mar. 2014.

PORTAL AUTODESK. **Site da Autodesk. 2014**. Disponível em: <www.autodesk.com>. Acesso em: 10 abr. 2014.

MODELAGEM E COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS COM O USO DO BIM

Emily Almeida Beltrão ¹

Emerson de Andrade Marques Ferreira ²

Resumo

“A grande quantidade de falhas encontradas em projetos, e a baixa qualidade dos mesmos são problemas significativos no setor da construção civil brasileira. A baixa qualidade dos projetos advém, dentre outros motivos, de uma compatibilização de projetos falha, que não ocorre com a eficácia necessária para solucionar os conflitos existentes. O uso do BIM pode levar a uma melhora neste processo. Este trabalho apresenta uma avaliação sobre a aplicação do BIM na modelagem e compatibilização de projetos, utilizando um projeto de instalações elétricas para tal. Inicialmente foi feita uma revisão da literatura sobre o processo de produção e compatibilização de projetos e sobre o BIM. Em seguida, desenvolveu-se um estudo de caso que consistiu na modelagem e compatibilização do projeto de instalações elétricas dos apartamentos parecidos a edifícios residenciais. As interferências encontradas foram expostas, classificadas e analisadas. O estudo identificou exigências e limitações para o processo de modelagem das instalações, e um conjunto de interferências encontradas durante a compatibilização do projeto. Mais de 90% das interferências foram identificadas pelo processo de identificação automática do BIM. O processo de modelagem do projeto proporcionou uma visão diferenciada das informações necessárias ao projeto e da coerência das soluções encontradas. A identificação das interferências ocorreu de forma rápida e eficaz, possibilitando uma análise das possíveis soluções, ainda na fase de projeto. Através do estudo, pôde-se perceber uma melhora proporcionada ao uso de projetos com a utilização do BIM.”

Palavras-chave » BIM. Modelagem. Compatibilização de Projetos. Instalações Elétricas.

¹ E-mail: emilyabeltrao@hotmail.com.

² E-mail: ferreira.eam@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil é um setor resistente a mudanças e inovações tecnológicas. Tal fato pode ser visto em seus sistemas produtivos, que sofreram pouca mudança. A etapa de projetos possui um processo de produção arcaico e passível de muitas falhas. Este trabalho apresenta uma avaliação sobre a aplicação do BIM na modelagem e compatibilização de projetos. As falhas existentes em projetos são, muitas vezes, devidas a falhas na compatibilização entre os mesmos. É neste cenário, que entra o BIM, fornecendo uma visão tridimensional da edificação e uma base de dados que contém as informações relacionadas à construção. A utilização de um único arquivo, que além de conter todas as informações do edifício é compartilhado por todos os envolvidos na execução do projeto, que facilita a comunicação entre os responsáveis por cada etapa, podendo conduzir a um aumento na qualidade do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância dos Projetos na Construção Civil

Os projetos de arquitetura e engenharia são a representação de informações técnicas e operacionais, sobre a realização de um determinado produto. No desenvolvimento do projeto é indispensável à análise das diversas situações relacionadas ao produto, visando garantir a melhor solução para os clientes. Qualquer equívoco nestas análises poderá levar a erros, e atrasos na etapa de execução. (Hammarlund; Josephson, 1992), apud (Melhado; Agopyan, 1995) mostram que as decisões tomadas nas fases iniciais do empreendimento possuem maior peso e principal participação na redução dos custos de falhas do edifício. A Curva de MacLeamy (ver Figura 1) evidencia a importância da etapa de projeto e estabelece uma comparação entre o desenvolvimento do projeto de forma tradicional e de forma integrada (metodologia BIM), com todos os profissionais trabalhando simultaneamente e em conjunto, com constante troca de informações. As curvas do gráfico mostram que, no processo de projeto integrado,

* HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. Qualidade: cada erro tem seu preço. Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachich. *Téchne*, n. 1, p.32-4, nov/dez 1992.

existe uma priorização da etapa de projeto, em que os principais custos são gastos nas etapas de concepção do projeto e a economia é muito maior, já que qualquer mudança necessária terá um custo muito menor do que se teria nas etapas finais do projeto.

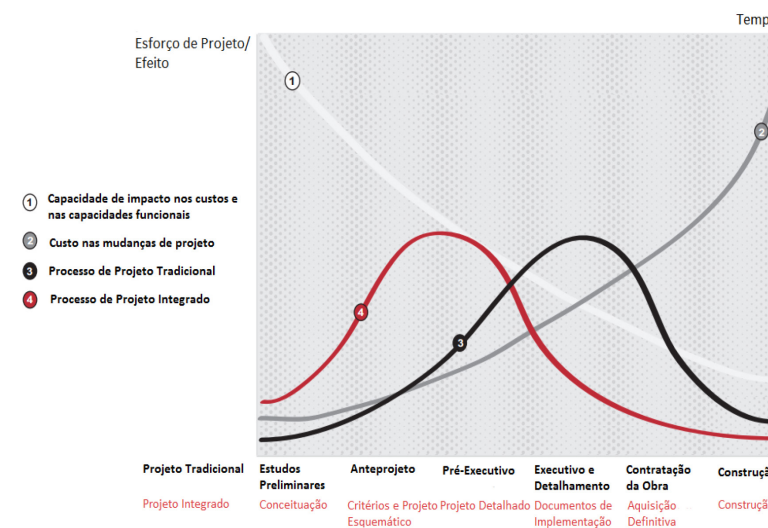


FIGURA 1 • Curva de MacLeamy.

2.2 Compatibilização de projetos

A compatibilização de projetos consiste na verificação das interferências existentes entre os diversos projetos de um empreendimento. Esta atividade realiza a sobreposição dos diferentes projetos de uma obra, relacionando as soluções encontradas em cada projeto, de forma a atingir a integração perfeita entre eles. Nascimento (2013) afirma que ainda persiste o uso de técnicas relativamente atrasadas para realização da sobreposição dos projetos, comparando prancha por prancha e detectando visualmente as incompatibilidades. Tal processo pode ser realizado com o auxílio do CAD 2D, o que não o torna menos difícil, cansativo e passível de falhas, já que proporciona uma visão espacial restrita. Atualmente, existem ferramentas que podem facilitar a sobreposição dos projetos, através da utilização de modelos 3D, como o *software Revit* da Autodesk. Por se tratar de um ambiente tridimensional e paramétrico, as interferências e erros são vistos com maior facilidade, rapidez e automação.

(Rodríguez; Heineck, 2003) afirmam que a compatibilização é uma atividade que deve ser realizada ao longo da produção do projeto. No BIM adota-se o processo de projeto simultâneo realizando compatibilizações em todas as etapas de desenvolvimento do projeto. A falta de compatibilização dos projetos é um dos principais motivos da baixa qualidade dos projetos entregues às obras. Interferências identificadas apenas na etapa de execução são responsáveis por atrasos e retrabalhos, que poderiam ser evitados com a compatibilização prévia dos projetos.

2.3 BIM

O BIM oferece sua maior diferenciação, por ser uma ferramenta, em que o mais importante não são os desenhos, mas a informação. Quando usados em conjunto, os diversos *softwares* BIM permitem a criação de um modelo 3D digital de um edifício, ao mesmo tempo em que fornece informações 4D (incorporando o planejamento), 5D (incorporando a estimativa de custos) e 6D (incorporando a manutenção do produto). O BIM permite o gerenciamento de informações do projeto de uma construção em todo o seu ciclo de vida. O uso deste *software*, visa levar à prática de projeto integrada, canalizando os esforços de todos os profissionais para a construção de um modelo único da edificação, que contém todas as informações necessárias ao projeto. Os profissionais devem trabalhar de forma simultânea e integrada, com constante troca de informações. Esta prática integrada entre as equipes do projeto é possível devido à integração da informação entre aplicativos computacionais utilizados por diferentes profissionais de projeto, a chamada interoperabilidade. De acordo com (Froese, 2003), interoperabilidade é a capacidade de que a informação flua de um aplicativo computacional para outro. Consiste no desenvolvimento e utilização de estruturas de informação comuns a toda a indústria do setor AEC. É possível, eliminar redundância de dados, perda de dados, falta de comunicação, entre outros problemas presentes no processo de produção de projetos.

No BIM, a partir do momento em que se desenha uma peça arquitetônica, toda a informação necessária para sua representação, quantificação, execução, planejamento

e orçamento da fase inicial do projeto até a conclusão da obra, se encontra associada aos elementos desta peça. Isto é possível por conta da modelagem paramétrica, que permite incorporar propriedades não geométricas e características próprias aos objetos representados. Através da modelagem paramétrica atribui-se parâmetros, determina-se o comportamento de objetos e estabelece-se o relacionamento entre as partes do modelo. Desta forma, ao modificar o modelo, todos os valores relacionados são automaticamente atualizados, facilitando o processo de desenvolvimento e modificações do projeto.

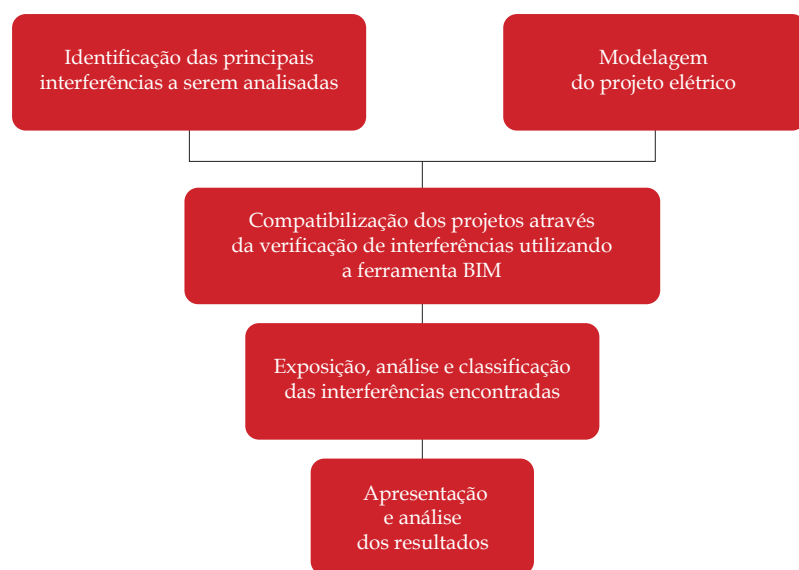
3 METODOLOGIA

Este trabalho foi iniciado com uma revisão bibliográfica. Foram apresentados conceitos do processo de produção e compatibilização de projetos e sobre BIM. O Quadro 1 expõe os objetivos deste trabalho, e como se pretende alcançá-los.

OBJETIVO GERAL			
ESTE TRABALHO TEM COMO OBJETIVO GERAL AVALIAR O USO DO BIM PARA MODELAGEM E COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIA		
	ATIVIDADES	FERRAMENTAS	RESULTADOS ESPERADOS
Conhecer os conceitos, usos e benefícios do BIM no setor da construção civil	Realizar um referencial teórico expondo conceitos, benefícios, aplicações e ferramentas oferecidos pelo BIM	Livros, artigos, monografias, teses e dissertações	Compreensão dos conceitos, aplicações e benefícios do uso da metodologia e tecnologia BIM
Aplicar a metodologia e tecnologia BIM para modelagem e compatibilização de um projeto de instalações elétricas	Desenvolver um modelo de projeto elétrico fazendo a modelagem do projeto na base CAD 2D para a base Revit MEP	<i>Software Revit e Autocad</i> e projeto fornecido pela construtora "X"	Demonstrar a aplicação do <i>software Revit MEP</i> na modelagem de projetos de instalações elétricas
	Compatibilizar os projetos de Instalações Elétricas, Arquitetura e Estrutura	<i>Software Revit</i>	Demonstrar a aplicação do <i>software Revit MEP</i> na compatibilização de projetos
Avaliar os resultados encontrados e as vantagens da utilização do BIM	Expor as interferências encontradas e avaliar o processo de modelagem e compatibilização de projetos com o uso do BIM	<i>Software Revit</i> e relatórios de interferências gerados	Apresentar as vantagens do processo de compatibilização de projetos com o BIM

QUADRO 1 • Exposição da metodologia utilizada na realização do trabalho.

Foi realizado um estudo de caso, para demonstrar a utilização do BIM no processo de modelagem e compatibilização de projetos. Foi feita a modelagem de um projeto elétrico e realizadas as verificações de interferências confrontando as especialidades de projetos duas a duas. Os conflitos encontrados foram expostos e exemplificados. As interferências foram analisadas e agrupadas de acordo com o tipo de cada uma, expondo os resultados ao final. O Fluxograma 1, a seguir expõe a sequência das etapas realizadas no estudo de caso.



FLUXOGRAMA 1 • Exposição da metodologia utilizada no estudo de caso.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem como objetivo demonstrar a aplicação do BIM na modelagem e compatibilização do projeto de instalações elétricas, e apresentar os benefícios da metodologia BIM em comparação com os métodos usados tradicionalmente.

Propõe-se a identificação e análise das interferências dos apartamentos modelos de um edifício residencial. Os projetos de arquitetura e estrutura utilizados foram modelados por estudantes da Universidade Federal da Bahia. O projeto de instalações foi modelado com o uso do *software Revit MEP*, 2015. Em virtude da disponibilidade de licenças educacionais para o mesmo. O projeto utilizado foi fornecido pela construtora “X”, e ainda se encontra em fase inicial de construção. Primeiramente, foi realizada a modelagem do projeto de instalações elétricas. Para o funcionamento perfeito da metodologia BIM, é essencial que o projeto elétrico seja desenvolvido diretamente através do *Revit*, não necessitando da etapa de modelagem do projeto. Entretanto, como o projeto utilizado foi fornecido na base CAD bidimensional, foi necessária a etapa de modelagem. Com o modelo pronto, foram feitas as verificações de interferências e gerados relatórios com a relação das interferências encontradas. Após a identificação das interferências foi feita uma análise e interpretação dos resultados encontrados.

4.1 Descrição do empreendimento

O empreendimento estudado se trata de um edifício residencial com uma torre de 13 pavimentos tipo, um *playground*, e 3 subsolos de garagem. O edifício, apresentado na Figura 2 a seguir, possui fachada de pastilha e pintura e área de lazer com piscina.

O pavimento tipo é formado por 5 apartamentos, 4 apartamentos nas quinas da edificação, com 3 quartos cada um, e 1 no centro da parte frontal da edificação, com 2 quartos, a área de elevadores e escadas se encontra no centro da parte traseira da edificação. O apartamento de esquina possui uma área aproximada de 100 m², e o apartamento central possui uma área aproximada de 80 m². Foram analisadas as interferências dos 2 apartamentos: 1 de esquina e 1 central. A seguir está representada uma vista tridimensional do edifício e a planta baixa do pavimento tipo (Figura 2).

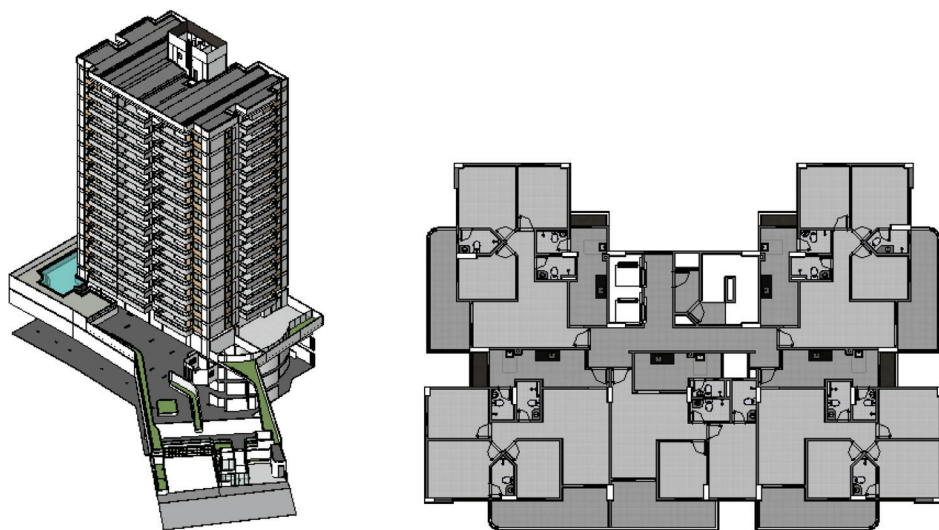


FIGURA 2 • Vista 3D do Edifício e Planta Baixa do Pavimento Tipo.

4.2 Modelagem do projeto elétrico

4.2.1 Inserindo os modelos necessários ao projeto no *Revit MEP*

No projeto de instalações elétricas em CAD bidimensional, isolou-se o projeto do pavimento tipo, de forma a utilizar um arquivo mais leve. Modificou-se a unidade padrão do projeto em CAD para metros e utilizou-se o comando “PURGE” para limpar o projeto. No modelo BIM também foi configurada a unidade para metro. Para importar o modelo CAD, utilizou-se o comando “Importar CAD”. Os modelos de arquitetura e estrutura foram inseridos no projeto como vínculos (depois de isolado o pavimentos tipo de cada projeto), através do comando “Vínculo do *Revit*”. Foi utilizado o comando “Alinhar”, alinhando os modelos através das faces do pilar. O resultado foi uma planta baixa do pavimento tipo com os traçados das tubulações do projeto elétrico, permitindo a modelagem tridimensional do projeto através do molde bidimensional.

4.2.2 Criando os circuitos elétricos

Inicialmente, realizou-se a inserção das tomadas em seus devidos locais, e alturas no caminho Sistemas → Elétrica → Dispositivo → Material Elétrico. Foi necessário carregar todas as tomadas do projeto, na aba “Inserir”, opção “Carregar Família”. As tomadas foram inseridas em seus devidos locais e as alturas especificadas no momento de inserção. Foram inseridas as entradas para outros dispositivos, como chuveiros elétricos, luminárias e interruptores. Os interruptores são inseridos no caminho Sistemas → Elétrica → Dispositivo → Iluminação. Para as luminárias o caminho é Sistemas → Elétrica → Luminária. A última peça a ser inserida foi o Quadro de Distribuição, no caminho Sistemas → Elétrica → Equipamento Elétrico. Ao inserir o Quadro de Distribuição, é necessário configurá-los para um sistema de distribuição para que possam ser usados com circuitos. Foi adotado o sistema 120/208 Y. Foram inseridos dois quadro de distribuição e nomeados de acordo com os apartamentos (“2 Quartos” e “3 Quartos”). Para criar os circuitos elétricos, foi selecionada uma peça por circuito, clicou-se na opção “Força”, e foram selecionadas as peças que compunham o circuito. Cada sistema deve ser associado ao seu respectivo quadro de distribuição na opção “Editar circuito” e, a seguir, “Selecionar painel”.

4.2.3 Executando o traçado dos conduítes

Selecionando o quadro de distribuição, e clicando com o botão direito do *mouse* em um das marcações que aparecem no quadro, escolhe-se a opção “Desenhar conduíte, a partir da face”. Para facilitar a conexão é possível criar um corte do local do quadro de distribuição. Para desenhar o conduíte seleciona-se a opção “Conduíte” na aba “Sistemas”. Após a criação de todos os sistemas, foi criada uma tabela dos quantitativos de conduítes no caminho Vista → Tabelas → Tabela/Quantidades. As vistas 3D e os cortes foram essenciais na visualização do traçado dos conduítes, sendo, por vezes, executado o desenho através da planta baixa, por vezes através do corte. A Figura 3, a seguir, apresenta o projeto elétrico modelado.

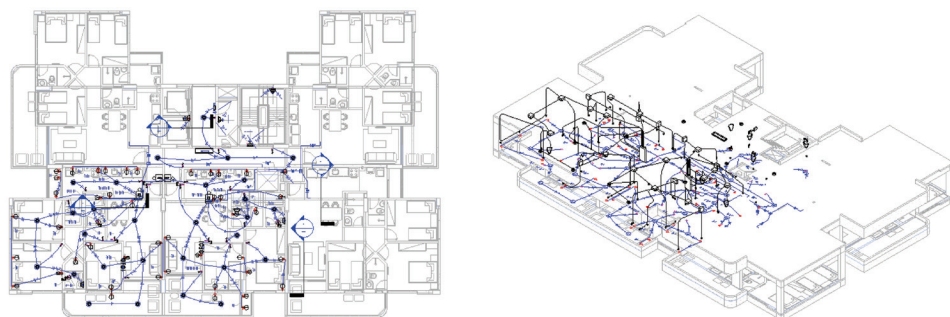


FIGURA 3 • Projeto Elétrico Modelado – Planta Baixa e Vista 3D.

4.2.4 Verificação das Interferências do Projeto Elétrico

Na aba Colaborar → painel Coordenação → Verificação de interferências, a caixa de diálogo “Verificar Interferência” permite a seleção do projeto, e dos itens que serão verificados. A verificação é direcionada para os elementos escolhidos, o que é essencial para otimizar o processo. Os itens selecionados estão expostos na Figura 4 abaixo.

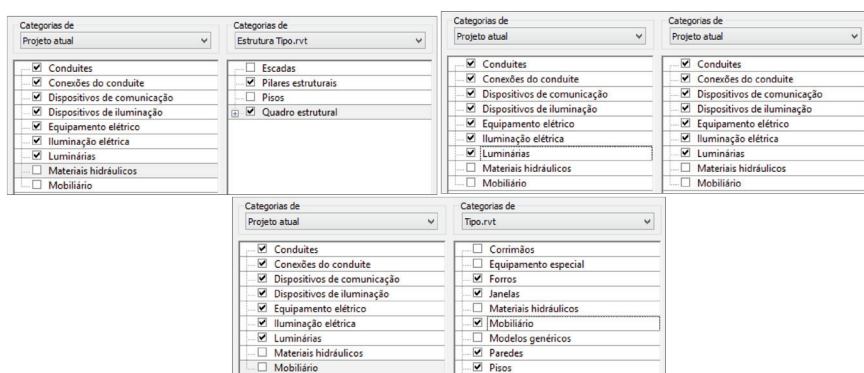


FIGURA 4 • Itens selecionados para Verificação de Interferências.

Abre-se a caixa de diálogo “Relatório de interferência” listando os elementos em conflito. Para visualizar os elementos conflitantes, seleciona-se o elemento na caixa de diálogo e clica-se em “Exibir”. O elemento conflitante é realçado na cor laranja.

4.2.5 Exposição e Análise das Interferências

Inicialmente, a verificação de interferências foi utilizada para visualizar erros na modelagem do projeto. O relatório pontuou interferências referentes a erros de conexão entre conduítes, que podem ocorrer devido a erros na modelagem ou falhas do *software*. Foi possível corrigir alguns erros e resumir o relatório de interferências aos conflitos reais.

4.2.5.1 Instalações Elétricas x Instalações Elétricas

Os problemas se concentraram em caixas de passagem que não suportavam a quantidade de conduítes projetada para passar pela mesma. Estas interferências poderiam ser evitadas com a utilização de caixas de passagem com mais entradas para os conduítes. Entretanto, tais interferências foram consideradas relevantes, já que elas chamaram atenção para alguns locais com grande quantidade de conduítes, que certamente provocariam problemas na execução e manutenção das instalações. Seria necessário, expor tais problemas aos projetistas e analisar a possibilidade de serem utilizados traçados alternativos. Outros conflitos foram referentes, a conduítes passando pelo mesmo local e conflitos de conexão entre os elementos, por falha do *software*, sendo estes últimos desconsiderados como conflitos reais. Um caso encontrado durante a modelagem foi referente a locais com elementos elétricos muito próximos, exigindo uma inclinação brusca com trechos muito curtos do conduíte. A figura a seguir mostra algumas das interferências encontradas (Figura 5).

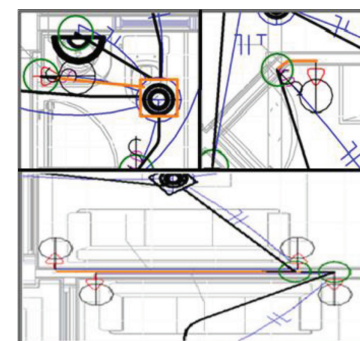


FIGURA 5 • Interferências Instalações Elétricas x Instalações Elétricas.

TIPO DE INTERFERÊNCIA	QUANTIDADE	RELAÇÃO COM O TOTAL
Conflito no traçado de diferentes conduítes	2	8%
Conflito nas caixas de passagem	19	73%
Inclinação brusca do conduíte em trecho curto	1	4%
Interferência desconsiderada	4	15%
Total de Interferências	26	100%

QUADRO 2 • Quantitativo de Interferências (Instalações Elétricas x Instalações Elétricas).

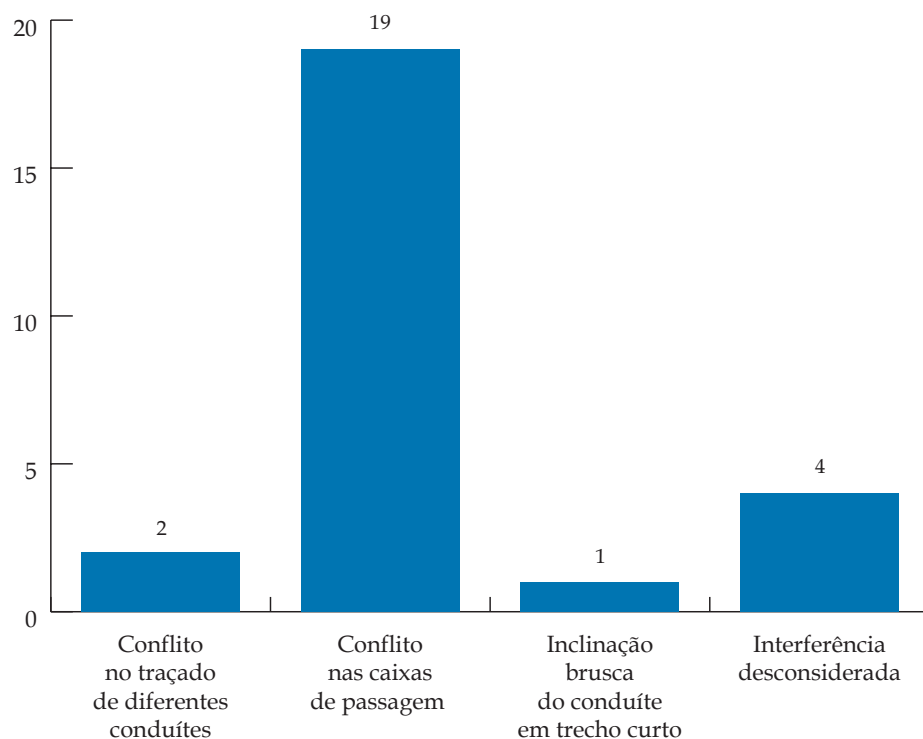


GRÁFICO 1 • Quantitativo das interferências (Instalações Elétricas x Instalações Elétricas).

Atrasos nos cronogramas das obras ocorrem devido, a conflitos entre conduítes, pois são problemas recorrentes, já que muitas atividades só podem ser executadas quando finalizadas as instalações necessárias. A metodologia de compatibilização BIM tem como objetivo sanar tais problemas, prevendo os possíveis conflitos e solucionando-os ainda na etapa de projeto.

4.2.5.2 Instalações Elétricas x Estrutura

Muitos conflitos foram reportados por conta da passagem dos conduítes através das vigas. Para evitar tais conflitos, é necessário o projeto dos furos para passagem de tubulações nas vigas. O traçado das instalações elétricas foi projetado partindo da laje e descendo pelas paredes até os pontos de uso. Por conta disto, todos os trechos de conduítes localizados na transição da laje do teto para as paredes foram identificados como interferências. Não foi necessário, que os conduítes contornassem as paredes e interceptassem os pilares, desta forma, não existiram conflitos referentes à passagem dos conduítes nos pilares. Foram reportados alguns conflitos de luminárias localizadas em locais de passagem de vigas. Alguns exemplos das interferências encontradas estão representados na Figura 6, a seguir.

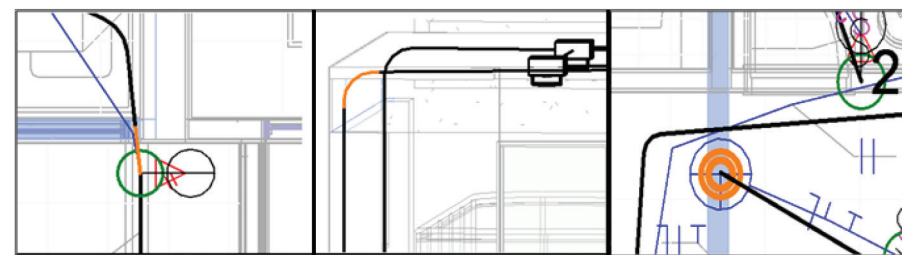


FIGURA 6 • Interferências Instalações Elétricas x Estrutura.

Os conflitos reportados no relatório foram contabilizados e classificados de acordo com o tipo de interferência, como mostrado no quadro, e no gráfico a seguir.

TIPO DE INTERFERÊNCIA	QUANTIDADE	RELAÇÃO COM O TOTAL
Passagem do conduíte na viga	58	97%
Luminária localizada na viga	2	3%
Total de Interferências	60	100%

QUADRO 3 • Quantitativo de Interferências (Instalações Elétricas x Estrutura).

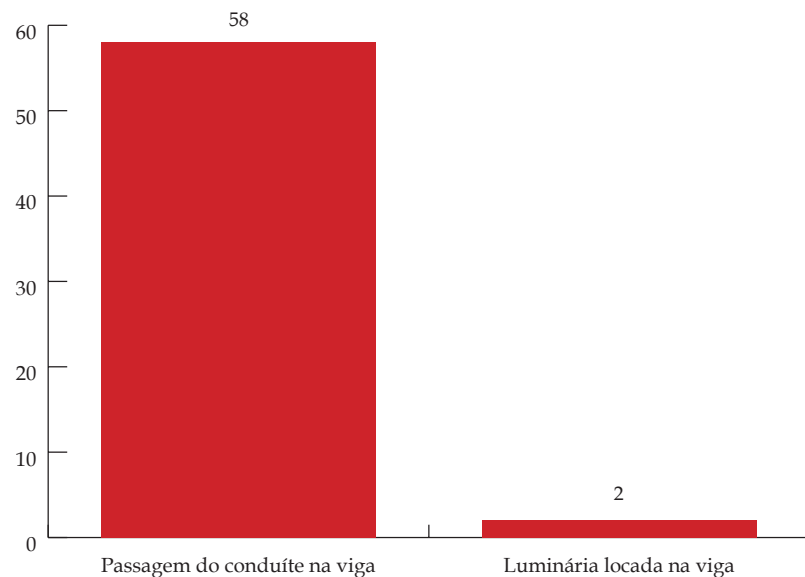


GRÁFICO 2 • Quantitativo das interferências (Instalações Elétricas x Estrutura).

Os principais conflitos encontrados foram referentes à passagem de conduítes nas vigas. Muitas obras, por não possuírem o dimensionamento prévio das passagens da tubulação nas vigas, executam a estrutura sem prever a passagem de tubulação. Em muitos casos, a estrutura é executada antes mesmo dos projetos de instalações serem finalizados, levando a um conflito inevitável entre estrutura e instalações. Com o uso da metodologia BIM no empreendimento, a compatibilização de todos os projetos ocorrerá ao longo do desenvolvimento do projeto, levando à diminuição da ocorrência de imprevistos em campo.

4.2.5.3 Instalações Elétricas x Arquitetura

Foram encontradas interferências de conduítes e dispositivo de iluminação próximos as portas. A Figura 7 apresenta algumas das interferências encontradas.

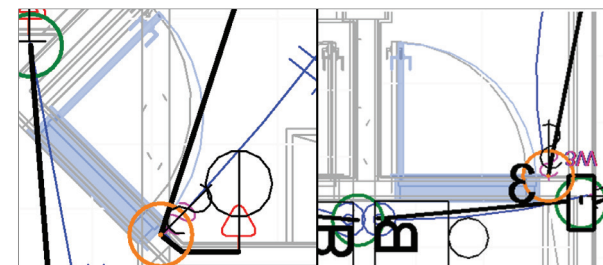


FIGURA 7 • Interferências Instalações Elétricas x Arquitetura.

Os conflitos reportados no relatório foram contabilizados e classificados de acordo com o tipo de interferência, como mostrado no quadro, e no gráfico a seguir.

TIPO DE INTERFERÊNCIA	QUANTIDADE	RELAÇÃO COM O TOTAL
Conduítes próximos a portas	2	67%
Dispositivo de iluminação próximo a porta	1	33%
Total de Interferências	3	100%

QUADRO 4 • Quantitativo de Interferências (Instalações Elétricas x Arquitetura).

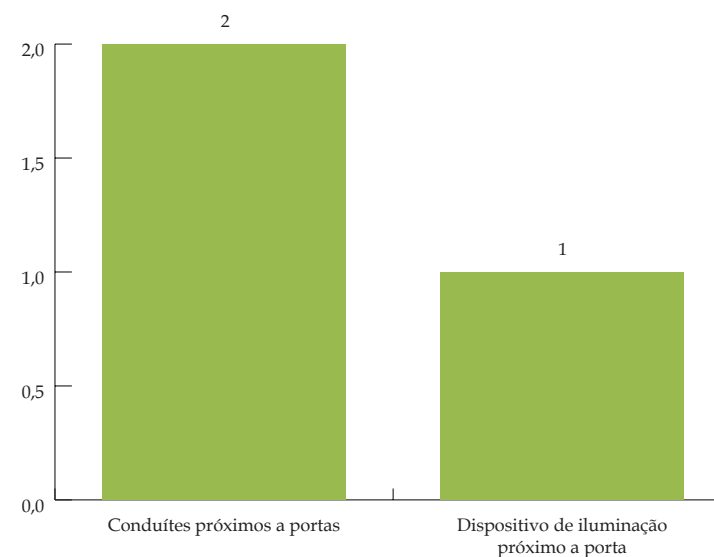


GRÁFICO 3 • Quantitativo das interferências (Instalações Elétricas x Arquitetura).

4.2.6 Análise dos resultados e comparação com o processo tradicional de compatibilização de projetos

O total de interferências das diferentes especialidades está representado através do quadro, e do gráfico a seguir.

VERIFICAÇÃO	QUANTIDADE TOTAL	RELAÇÃO COM O TOTAL
Instalações Elétricas x Instalações Elétricas	23	27%
Instalações Elétricas x Estrutura	60	70%
Instalações Elétricas x Arquitetura	3	3%
Total de Interferências	86	100%

QUADRO 5 • Quantitativo Total de Interferências.

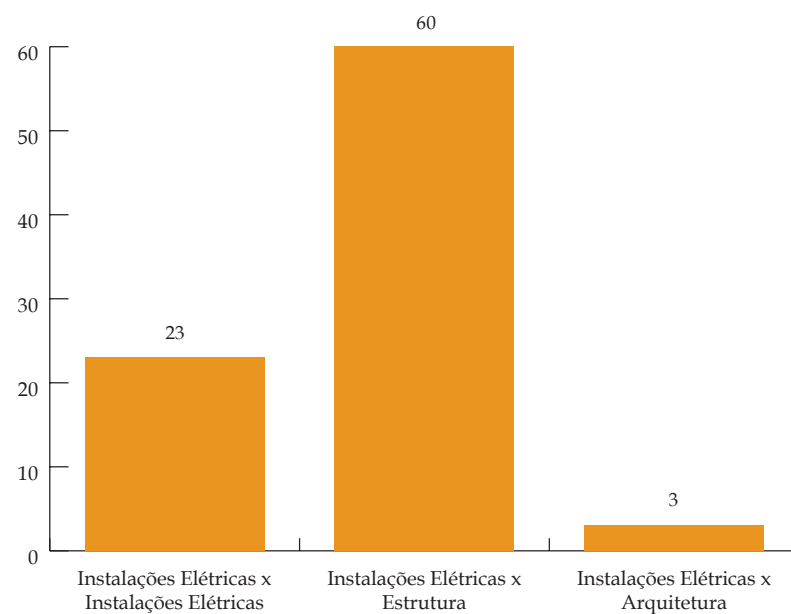


GRÁFICO 4 • Quantitativo de Interferências Total.

Através da modelagem e compatibilização dos projetos dos apartamentos tipo estudados, foi possível a verificação das interferências, que foram analisadas e quantificadas. Pôde-se perceber a importância dos cortes e vistas tridimensionais, que facilitaram o entendimento do projeto, por conta das amplas possibilidades de visualização do mesmo,

fato que não é possível em projetos em CAD bidimensional. Durante o desenvolvimento do estudo, percebeu-se que o próprio processo de modelagem exigiu um olhar diferenciado sobre o projeto, demandando informações mais completas e coerentes. A obtenção dessas informações no desenvolvimento do projeto é essencial para evitar que a falta das mesmas, seja sentida na etapa de execução da obra. Portanto, através do estudo realizado, pôde-se observar que o desenvolvimento do projeto através do BIM conduz a uma percepção melhor do projeto, e das informações necessárias para a sua boa compreensão em campo.

Nos projetos tradicionais de CAD bidimensional, a separação da informação em diferentes vistas (plantas, cortes, etc.) dificulta a detecção de interferências, aumentando o trabalho e o tempo da verificação. Com o uso do BIM a verificação de interferências é facilitada pela automação e boa visualização do projeto, portanto só foi possível a verificação de forma automatizada e rápida, através das ferramentas de verificação de interferências do *software*.

Além dos cortes e vistas tridimensionais, outras ferramentas BIM proporcionaram facilidades, como a geração de relatórios de interferência e tabelas de quantitativos. No processo tradicional, estes relatórios e tabelas seriam gerados a custo de muito trabalho e tempo despendido. Com o uso do BIM, estas atividades puderam ser executadas de forma automática, sem demandar trabalhos cansativos ou grandes períodos de tempo.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário o aprendizado do uso do *software* utilizado, sendo este um dos benefícios obtidos do estudo. À medida que o trabalho foi desenvolvido, o aprendizado pôde ser aprimorado, permitindo um melhor uso do *software*, com menores tempos de trabalho. O maior tempo despendido no estudo de caso ocorreu no processo de modelagem, não podendo ser tomado como parâmetro se considerado o processo de aprendizagem. Entretanto, o tempo despendido no processo de verificação de interferências foi curto, se mostrando um processo rápido e eficaz. Apesar do conhecimento prévio nulo do *software*, o estudo de caso demonstrou que os processos de modelagem e compatibilização foram beneficiados pelo uso do BIM, identificando as interferências de forma automatizada e eficiente. Portanto, associando a metodologia e tecnologia BIM à experiência dos profissionais da área, o processo de projetos será certamente beneficiado pelo uso do BIM.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados, e comparando-se com o método tradicional de compatibilização de projetos, pôde-se perceber o potencial da ferramenta BIM para uma compatibilização mais fácil, rápida e eficaz. O CAD 2D possui limitações de visualização de espaços, sendo mais difícil identificar as interferências através do mesmo. No BIM, o próprio processo de modelagem do projeto e a possibilidade de visualização do projeto por cortes e vistas tridimensionais, facilitam a identificação de conflitos e o processo de compatibilização dos projetos. A utilização do BIM tem se mostrado um grande avanço para o setor AEC. Para que se possa usufruir dos benefícios que esta ferramenta tem a oferecer, é necessária uma mudança na cultura e nos costumes enraizados nos profissionais do setor da construção civil. Desta forma, o BIM representará o avanço que o setor necessita para se tornar um setor mais moderno e competitivo, tendo-se a reduzir as falhas e otimizar os processos construtivos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FROESE, T. *Future directions for ifc-based interoperability*. Dept. of Civil Engineering, University of British Columbia. 2003.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. **Qualidade: Cada erro tem seu preço.** Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachich. *Téchne*, n. 1, p.32-4, nov/dez 1992.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, V. **O conceito de projeto na construção de edifícios: Diretrizes para sua elaboração e controle.** São Paulo, 1995.

NASCIMENTO, J. M. **A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil.** Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG Goiânia. Goiânia, 2013.

RODRIGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. **Construtibilidade no processo de projeto de edificações. Simpósio brasileiro de gestão e economia da construção, 3., 2003, São Carlos. Anais...** São Carlos: SIBRAGEQ, 2003. p. 355-366.

DESEMPENHO DO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO E CONTROLE

Camilla Rodrigues Rocha ¹
Jardel Pereira Gonçalves ²

Resumo

“O Programa de Gestão de Resíduos da Construção Civil – PGRCC é um importante documento previsto nas Legislações Ambientais no âmbito Federal, Estadual e Municipal. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA na resolução 307 estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de Resíduos da Construção Civil-RCC, os quais vêm sendo superficialmente cumpridos por aqueles que atuam no setor da construção civil, por motivos diversos. A falta de conhecimento, incentivos e principalmente de fiscalização ocasiona, a não atribuição de importância ao gerenciamento de RCC por parte das construtoras. O PGRCC torna-se, portanto, um documento obsoleto e sem utilidade funcional. O principal objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia para avaliação de desempenho PGRCC, através de ferramentas de avaliação e controle propostos, às quais foram aplicadas através de um estudo de caso realizado em um empreendimento habitacional de interesse social – EHIS localizado na cidade de Aracaju, estado de Sergipe. Como resultado, esse trabalho conclui que a implantação do PGRCC de forma monitorada e controlada garante uma correta destinação final dos resíduos, e um ganho social, econômico e ambiental, validando as ferramentas apresentadas. O trabalho permitiu que fossem gerenciados 1.826 m³ de resíduos. Com a aplicação das ferramentas e avaliação do desempenho do programa de gestão de resíduos, e assim, atingiu-se uma eficiência de segregação média de 82,97% e uma economia total de R\$ 61.934,50 em apenas 06 meses de implantação.”

Palavras-chave » Implantação do PGRCC. Desempenho.

¹ E-mail: camillarrocha@hotmail.com.

² E-mail: jardelpg@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil é um dos vetores importantes para a economia e desenvolvimento de um país, entretanto, aliado ao crescimento há uma crescente demanda de consumo de recursos naturais e energéticos, e também o aumento da geração de resíduos e dos impactos ambientais. No Brasil de uma forma geral, a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos possui uma ínfima presença de soluções adequadas constituindo um quadro grave dos países em desenvolvimento que, através das leis e normas não permite posturas condescendentes da sociedade.

Os resíduos de construção e demolição são parte dos resíduos sólidos urbanos que incluem também os resíduos domiciliares. No entanto, os resíduos de construção e demolição dificilmente são controlados, seja por empresas privadas ou públicas, de forma que há o desconhecimento de: Volumes gerados, impactos que eles causam custos sociais envolvidos, possibilidades de seu reuso, reciclagem, fazendo com que a dimensão do problema seja desconhecida, agravando o cenário em sua totalidade.

Essa realidade tem instituído que as normas e leis sejam cada vez mais acessadas, como forma de controle e supervisão das ações relacionadas ao gerenciamento de resíduos dentre outros.

Nesse sentido, os Programas de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC têm se tornado cada vez mais requerido e difundido nos canteiros de obra por se tratar de uma documentação de cunho legal, o qual é pré-requisito de etapas importantes para implantação de uma obra, como por exemplo, o Licenciamento Ambiental.

Ainda assim, a elaboração de um PGRCC difere da implantação de fato. Esse trabalho trata da avaliação do desempenho do programa de gerenciamento da construção civil, o qual é viabilizado através da implantação e manutenção das ferramentas de avaliação e controle.

O trabalho irá apresentar as ferramentas e os resultados obtidos com a sua aplicação.

O presente trabalho está focado em 01 (um) empreendimento residencial pertencente ao Programa Minha Casa, Minha Vida, situado na cidade de Aracaju, no estado de Sergipe.

2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os RCC representam um grave problema para as cidades brasileiras uma vez que causa a disposição irregular dos resíduos gerando problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, além de sobrecarregar os aterros.

O beneficiamento dos RCC através do reaproveitamento e da reciclagem reduz os impactos ambientais causados. Da mesma forma, ações que reduzam a geração dos resíduos no canteiro de obra diminuem os riscos ao meio ambiente (SCHNEIDER; PHILIPPI JUNIOR, 2004; SOUZA et al., 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (2010), o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 307/02 (2002) e a NBR 10.004 (1987) são as principais legislações que tratam sobre resíduos sólidos.

A resolução CONAMA Nº 307/02 classifica os resíduos oriundos da indústria da construção civil como:

- **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento entre outros), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, entre outros), produzidas nos canteiros de obras;

- **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

- **Classe C:** são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

- **Classe D:** são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O manejo dos RCC impacta em toda a cadeia da gestão dos resíduos uma vez que, está estritamente ligado à destinação final. Os resíduos são transportados internamente e externamente e, para o seu beneficiamento e segregação o canteiro de obra deverá

contar com os dispositivos necessários para garantir que o transporte e disposição interna no canteiro garanta o armazenamento temporário eficaz para que seja transportado externamente, e finalmente destinado de forma correta.

O manejo incorreto dos resíduos no canteiro inviabiliza etapas futuras. Também deve-se observar o manejo interno do resíduo primeiramente, priorizando a segregação dos resíduos e o armazenamento organizado dos mesmos (em fardos, em pilhas).

O fluxo externo deverá obedecer ao que a legislação traz, uma vez que uma das principais fontes de falha no processo é o transporte, não licenciado e a disposição final ilegal dos resíduos.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida pelas seguintes etapas: (a) revisão de literatura; (b) criação de ferramentas de avaliação e controle para PGRCC (c) implantação das ferramentas e (d) avaliação de resultados. Após a Revisão de Literatura criou-se as Ferramentas de Avaliação e Controle as quais foram aplicadas no Empreendimento 01, o qual se caracteriza como uma Habitação de Interesse Social “Minha Casa, Minha Vida” – MCMV, localizados na cidade de Aracaju. A coleta de dados do trabalho compreendeu o período de Outubro de 2013 à Abril de 2014. Os dados foram coletados por meio de visitas quinzenais de acompanhamento das obras, as quais tinham como objetivo verificar os resultados atingidos através da utilização das ferramentas de gerenciamento. Na Figura 02 é possível entender as etapas de implantação das ferramentas, através de um fluxograma. Inicialmente houve uma etapa inicial de planejamento que teve como característica a escolha do empreendimento, e o início da implantação das ferramentas. A segunda etapa, chamada “ação” refere-se ao treinamento dos colaboradores de campo, e a adequação do canteiro para acondicionar e controlar os resíduos gerados. Por fim, a última etapa “monitoramento” tem como objetivo estudar os resultados atingidos através do acompanhamento e check-list aplicados.

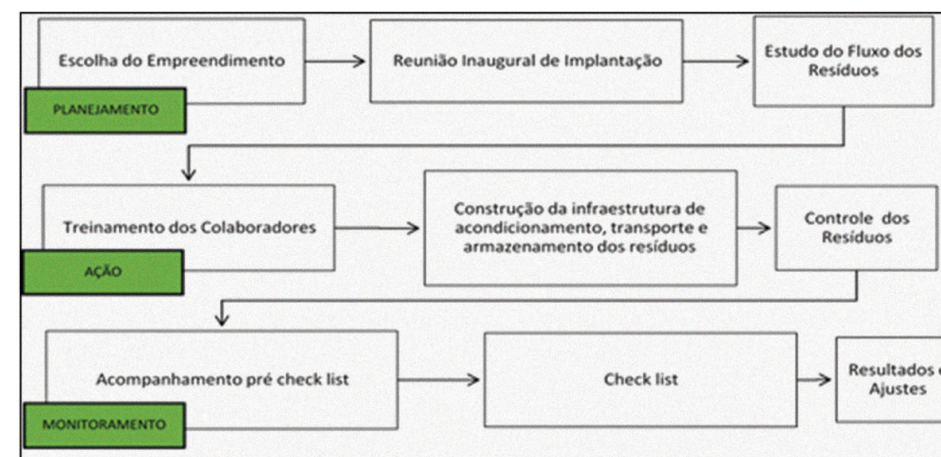


FIGURA 1 • Fluxograma das etapas de implantação das ferramentas.

4 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO E CONTROLE

As ferramentas de Avaliação e Controle tem como principal objetivo acompanhar a implantação e corrigir falhas de processo, para atingir os objetivos esperados do PGRCC. A autora do presente trabalho foi responsável por criar as ferramentas, treinar e auxiliar na implantação das mesmas, e agir na avaliação do programa de gerenciamento de resíduos implantado. Ao todo foram implantadas as ferramentas abaixo, a saber:

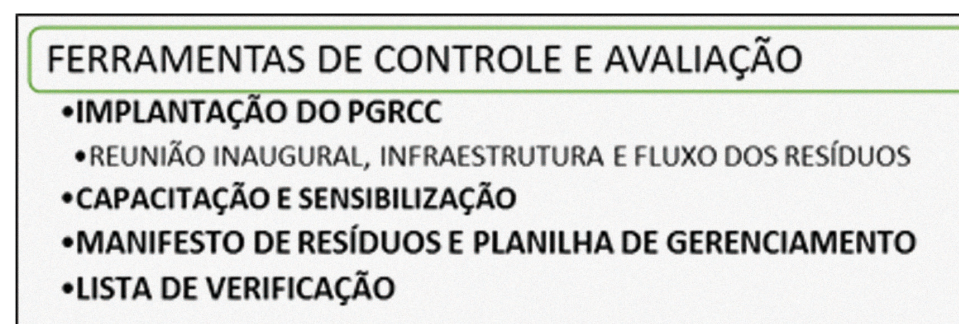


FIGURA 2 • Ferramentas de avaliação e controle.

4.1 IMPLANTAÇÃO

A Implantação do PGRCC é uma etapa importante para dar vida ao plano elaborado anteriormente. A implantação do PGRCC no empreendimento estudado foi realizada no início da obra. Essa etapa teve a duração média de 01 mês, e foi dividida em três, a saber: “Reunião Inaugural e Treinamento”, “Infraestrutura e Padronização” e “Fluxo de Resíduos”. A Reunião Inaugural e Treinamento é a etapa inicial da gestão de resíduos, e a mesma foi realizada em setembro/2013, com a participação de toda a equipe técnica da obra: engenheiros, estagiários, almoxarife, técnicos de segurança. O treinamento explanado foi realizado com o objetivo de capacitar todos, quanto às ferramentas a serem utilizadas e demais etapas.

Foi nomeado o Gestor de Resíduos da obra, pessoa que estaria à frente da aplicação das ferramentas, e de toda e qualquer atividade relacionada aos resíduos, juntamente com o engenheiro.

O planejamento da infraestrutura da gestão de resíduos foi realizado junto com o engenheiro da obra, pois foi decidido à locação das baias fixas e o dimensionamento de coletores, e tudo que fosse necessário para viabilizar a gestão dos resíduos. A baía foi locada de maneira que facilitasse a retirada de resíduos, e também que evitasse a contaminação dos mesmos com a água das chuvas.

Os fluxos dos resíduos foram realizados como forma de planejamento, e garantia da melhor forma de acondicionar, transportar e destinar cada resíduo.

O fluxo inicia com a segregação na fonte acontece nos pavimentos, próximo a cada atividade. Após essa etapa, os resíduos são armazenados temporariamente nos coletores disponibilizados no canteiro de forma a justificar um volume para que ao ser transportado internamente até as baias, as quais configuram o armazenamento final. O resíduo é transportado externamente para que seja dada a destinação final.

A destinação final é uma etapa chave da gestão. Os receptores finais devem ser licenciados para receber os resíduos, conforme a Legislação Municipal, Estadual e Federal.

Foram pesquisadas cooperativas atuantes na cidade e houve possibilidades de vender ou doar os resíduos.

No empreendimento priorizou a seguinte linha de ação: reutilização no canteiro, venda e doação. A compra de um serviço para retirada dos resíduos só seria feita em último caso. Seguindo essa linha de ação procurou-se fazer a prática mais sustentável e economicamente lucrativa para o empreendimento. Abaixo, na Figura 5 pode-se observar um exemplo do fluxo ocorrido no Empreendimento 01.



FIGURA 3 • Fluxograma dos resíduos do Empreendimento 01: (a) Armazenamento Temporário; (b) Transporte interno; (c) Armazenamento Final; (d) Transporte externo

4.2 CAPACITAÇÃO E SENSIBILIZAÇÃO

As ferramentas “Capacitação e Sensibilização” foram aplicadas após a Reunião Inaugural da Equipe Técnica, concomitantemente à implantação da infraestrutura requerida a todos os demais colaboradores do empreendimento, logo após admissão e muitas vezes de formas lúdicas, através do teatro, conforme Figura 4.



FIGURA 4 • Capacitação em forma de teatro para os colaboradores.

A responsabilidade da capacitação foi atribuída ao Gestor de Resíduos. A Figura 5 ilustra o ciclo que envolve a Capacitação e Sensibilização como o foco para implantar, corrigir e manter o PGRCC.

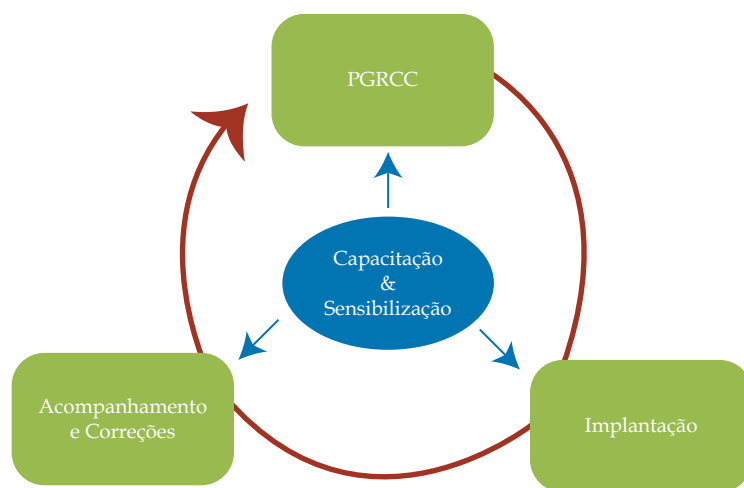


FIGURA 5 • Ciclo da capacitação e sensibilização.

4.3 MANIFESTO DE RESÍDUO E PLANILHA DE GERENCIAMENTO

O Manifesto de Resíduo é uma importante ferramenta de rastreio. Essa ferramenta traz informações importantes sobre o gerador, o transportado e o receptor final do

resíduo, além de caracterizá-lo quanto à descrição e volume destinado. Esse documento foi preenchido para todos os resíduos que são transportados. Trata-se de um documento controlado, uma vez que, o mesmo só tem validade se preenchido completamente, com as três assinaturas finais que atestam a responsabilidade quanto ao resíduo. Além disso, os manifestos de resíduos foram requisitados como condicionante para renovação de licenciamento ambiental do empreendimento. A Planilha de Gerenciamento de Resíduos funciona como a compilação dos dados dos manifestos, sendo uma importante ferramenta para controlar a data, quantidade, tipo, custo, economia, destinação dos resíduos. No Empreendimento 01 foi preenchido mês a mês, a planilha de gerenciamento com os dados referentes aos resíduos gerenciados. Todas as vezes que a obra vendeu ou doou os resíduos foi calculada a economia obtida, uma vez que as cooperativas recolheram os resíduos no canteiro, sem custos para obra, e quando a obra contratou um serviço para retirada de resíduos foi computado os gastos.

4.4 LISTA DE VERIFICAÇÃO

A Lista de Verificação - LV tem como principal objetivo o acompanhamento do gerenciamento de resíduos junto às obras. A planilha da LV pode ser vista na Figura 6. Ela é composta por 18 itens a serem avaliados. A meta mínima de conformidade foi definida pela construtora em 90%.

Cada item da LV é avaliado como: conformidade (C), não conformidade (NC), oportunidade de melhoria (OPM), observação (OBS) e não se aplica (NA).

O item é zerado quando é gerada uma NC, cai pela metade quando é uma OBS, e quando NA o item não soma, nem diminui a nota da obra. Os itens de nota máxima são atingidos na C e OPM, pois entende-se que a oportunidade de melhoria no item é positiva para melhoria contínua.

A LV foi aplicada durante os 06 meses de acompanhamento no Empreendimento 01 e, após a checagem dos itens fez-se uma reunião com todos os envolvidos para discutir todas as avaliações apontadas buscando a melhoria contínua.

GESTÃO DE RESÍDUOS		FORMULÁRIO 001
Lista de Verificação - LV		
Empreendimento:		
Engenheiro:		
Gestor de Resíduos:		Data: 04/04/14
Auditor:		
Itens		AVALIAÇÃO
1	Baias de Resíduos	NC
2	Armazenamento Temporário	NC
3	Padronização	NC
4	Sinalização	C
5	Segregação de resíduos	C
6	Coleta Seletiva	OPM
7	Destinação Final	OPM
8	Planilha de Gerenciamento e Indicadores	C
9	PGRCC	OBS
10	Documentação da Obra	C
11	Documentação de Parceiros e Fornecedores	C
12	Manifesto de Resíduo	OPM
13	Lista Mestra	C
14	Treinamento	OPM
15	Canteiro	OBS
16	Ecoeficiência	C
17	FISPQ	C
18	DOF	NA
RESULTADO		76,47%
Assinatura do Engenheiro:		
Assinatura Gestor de Resíduos:		
Assinatura Auditor:		

FIGURA 6 • Lista de Verificação.

5 RESULTADOS

De modo qualitativo pode-se relatar que o programa de gestão de resíduos foi responsável por uma melhor organização do canteiro, facilitando, sobretudo a manutenção da limpeza, além do cumprimento das legislações municipal, estadual e federal.

No período acompanhado foram gerenciados 1826 m³ de resíduos. Com a aplicação das ferramentas e avaliação do desempenho do programa de gestão de resíduos pode-se observar um grande avanço em vários itens, a citar:

- Eficiência de Segregação: A eficiência de segregação iniciou em 11,76% e no mês 6 chegou a 100%, com a total segregação de todos os resíduos. A eficiência de segregação média do período foi de 82,97%, ou seja, acima da meta (70%).

- Economia: A economia está estritamente relacionada com a eficiência de segregação, etapa da obra e destinação final. Nesse sentido, o mês de janeiro configurou-se como o mês em que houve maior lucro, pois foi gerado mais resíduos classe A e B, em que houve pouca geração de mix (resíduos misturados). Os resultados mais expressivos de economia são referentes ao solo. O Empreendimento 01 doou todo o solo gerado, para aterrar outro canteiro de obras da construtora localizado na cidade, o que gerou uma grande economia. Com o gerenciamento de resíduos realizado com as ferramentas apresentadas a obra economizou o total de R\$ 61.934,50. Ao todo foi gasto o valor de R\$ 37.093,06 para pagar os serviços comprados de fornecedores. Assim, conclui-se que a obra conseguiu pagar todos os serviços comprados, e ainda lucrou exatos R\$ 24.841,45 com a venda e doação de resíduos.

- Lista de Verificação: 50% das notas atingidas na Lista de verificação ficaram acima da meta (90%), e as demais notas ficaram próximas à meta. A média das notas foi de 84,35% de conformidade. Considera-se um avanço nesse item, porém a cada mês o volume de resíduos a serem gerenciados foi maior, elevando a possibilidade de falhas.

Esses resultados estão compilados na Planilha de Gerenciamento Figuras 7 e 8 e nos gráficos abaixo.

Empreendimento	EMPREENHIMENTO 01	INFORMAÇÕES GERAIS		Blocos	26 Blocos e 5 Torres
Construtora	-	Área Construída	69.954,77	Unidades	1382
Acompanhamento	6 MESES	Área Terreno	79.466,71	Andares	-
Última Atualização	mar/14				
STATUS	Em Andamento				

GERAÇÃO DE RESÍDUOS	out/13 Mês 1	nov/13 Mês 2	dez/13 Mês 3	jan/14 Mês 4	fev/14 Mês 5	mar/14 Mês 6	TOTAL
Solo			48	312	264	108	732
Entulho para agregado				30	12	83	125
Madeira			28	64	54	106	252
Sacaria Contaminada					10		10
Metal	5		20	42	40		107
Papel			2	1,5	7,5	1	12
Doméstico	9	21	45	22	21	21	139
Plástico	2		7	9	15	6	39
EPI				0,5	0,5	7	8
Resíduos de Blocos				33	8	10	51
Gesso				15	15	10	40
Mix	120	115	30	30	16		311
TOTAL (m²)	136	136	180	559	463	352	1826
EFICIÊNCIA DA SEGREGAÇÃO	11,76%	15,44%	83,33%	94,63%	96,54%	100%	82,97%
NOTA DA LISTA DE VERIFICAÇÃO	70%	71,67%	93,33%	93,33%	86,11%	91,67%	84,35%

FIGURA 7 • Desempenho do Empreendimento 01 no Programa de Gestão de Resíduos.

DESTINO	out/13 Mês 1	nov/13 Mês 2	dez/13 Mês 3	jan/14 Mês 4	fev/14 Mês 5	mar/14 Mês 6	TOTAL
Aterro	9	21	45	22	31	21	149
Reutilização			48	312	264	108	732
Usina de Reciclagem	120	115	30	75	43	93	476
Reciclagem	7		57	116,5	116,5	113	410
Higienização/Recuperação				0,5	0,5	7	8
Triturador Queixada				33	8	10	51
TOTAL (m³)	136	136	180	559	463	352	1826

ECONOMIA	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	TOTAL
Economia Total	R\$ 571,85	R\$ 834,75	R\$ 7.484,15	R\$ 30.393,00	R\$ 18.237,45	R\$ 4.413,30	R\$ 61.934,50
Gasto Total	-R\$ 8.380,75	-R\$ 9.517,68	-R\$ 1.539,55	-R\$ 5.151,78	-R\$ 8.034,00	-R\$ 4.469,30	-R\$ 37.093,06

Saldo Mês	-R\$ 7.808,90	-R\$ 8.682,93	R\$ 5.944,60	R\$ 25.241,22	R\$ 10.203,45	-R\$ 56,00	R\$ 24.841,45
Saldo Acumulado	-R\$ 7.808,90	-R\$ 16.491,83	-R\$ 10.547,23	R\$ 14.694,00	R\$ 24.897,45	R\$ 24.841,45	

Total de Resíduos Gerados	1.826 m³
Mix de Resíduos	311 m³
Eficiência da Segregação	82,97%

FIGURA 8 • Desempenho do Empreendimento 01 no Programa de Gestão de Resíduos.

A caracterização dos resíduos gerados e destinados pode ser observada nos gráficos das Figuras 9 e 10. Quanto à caracterização dos resíduos, também pode-se observar a predominância das classes A (Solo, entulho), B (madeira), além do doméstico (orgânico) e mix de resíduos (resíduos misturados).

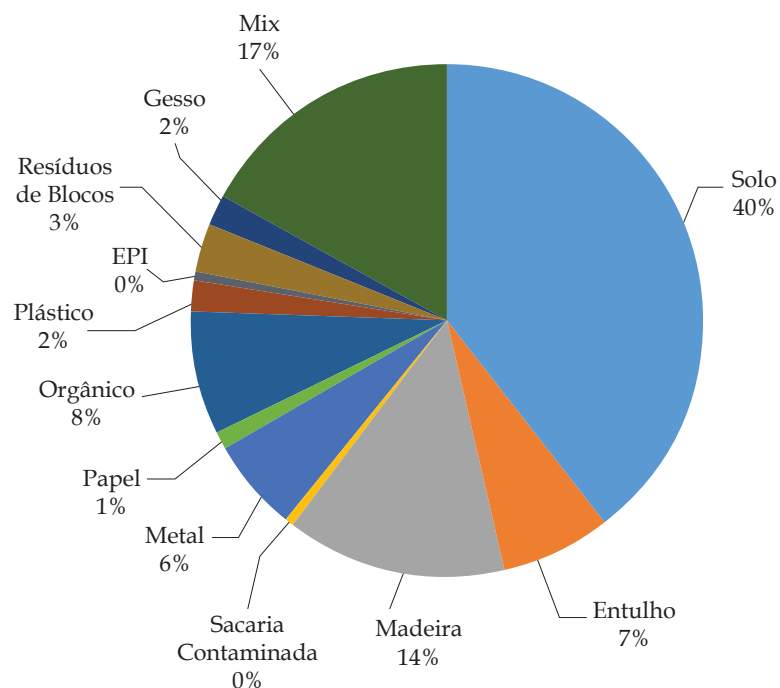


FIGURA 9 • Caracterização dos Resíduos Gerados.

Quanto à destinação dos resíduos pode-se observar que: 40% foram reutilizados e 46% reciclados (sendo que 22% foram reciclados através da destinação para cooperativas, e 26% através da usina de reciclagem); os resíduos que não foram aproveitados (sacaria e doméstico) representam 8% do total gerado; mesmo os resíduos misturados foram destinados para Usina de Reciclagem a qual fez a triagem para destiná-los segregados, compensando a falha de segregação do empreendimento.

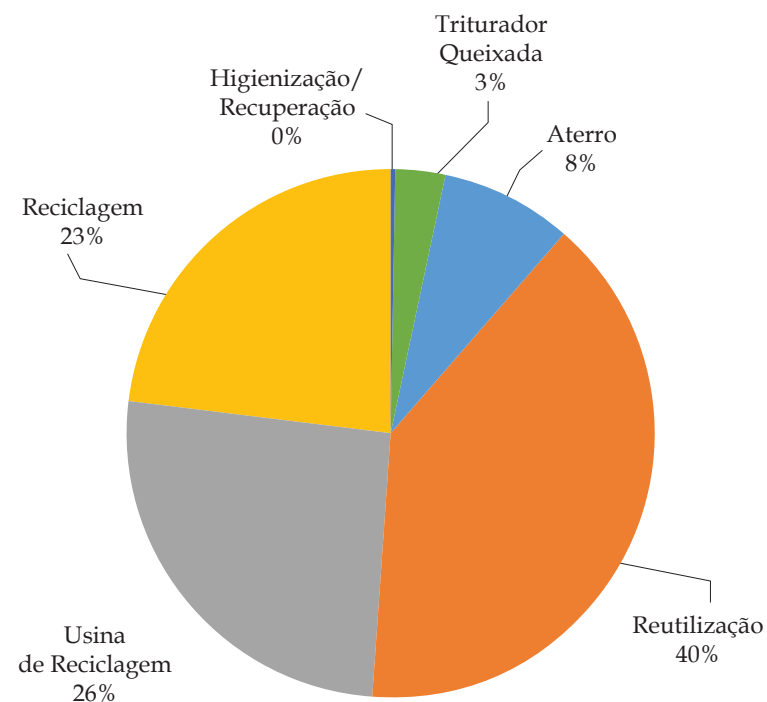


FIGURA 10 • Caracterização dos Resíduos Destinados

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado um conjunto de ferramentas aplicadas, de modo a avaliar o desempenho alcançado por um empreendimento no gerenciamento dos resíduos gerados. O padrão de acompanhamento e gerenciamento dos resultados qualitativos e quantitativos foram fundamentais para a obtenção dos resultados, principalmente quando a economia gerada.

A principal contribuição do trabalho foi a adequação dos procedimentos do gerenciamento de resíduos da construtora, a qual passou a enxergar o potencial de ganho em todos

os sentidos e padronizou esse modelo e, desde então, vêm implantando em todas as demais obras.

Houve uma mudança de paradigma muito grande dentro dos empreendimentos, que passará a enxergar a importância de gerenciar os resíduos, pois os mesmos contribuem para a melhoria dos canteiros em termos de organização, limpeza e custo. As ferramentas foram aplicadas em 26 canteiros de obras da construtora, realizando o gerenciamento de resíduos, e utilizando as mesmas ferramentas mencionadas, e assim conseguiu-se atingir bons resultados.

As obras estão se superando a cada resultado obtido, e de forma geral estão cumprindo com a implantação do PGRCC, o qual passou a ter vida nos canteiros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI JUNIOR, A. **Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo**. Revista Ambiente Construído, v.4, n.4, p21-32, out/dez, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. CONAMA, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: nov. 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. **Área de manejo de resíduos da construção civil e resíduos volumosos: Orientação para o seu licenciamento e aplicação da resolução**. CONAMA 307/2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987) – NBR 10.004 – **Resíduos Sólidos** – Requisitos.

DANOS TÉCNICOS E FINANCEIROS NA EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO VERTICAL: VISÃO DOS PEDREIROS, ENCARREGADOS E ENGENHEIROS

Camila Lima Leite ¹
Jardel Pereira Gonçalves ²

Resumo

Atualmente, construtoras lidam com prazos de execução curtos, falta de mão de obra, gestão ineficiente e necessidade de contar com processos de produção de alta produtividade e redução contínua de desperdícios. Como resultado, muitas manifestações patológicas e perdas tem sido observadas no sub-sistema revestimento de argamassa. Este artigo analisa a percepção da mão de obra em relação aos danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical. Para tanto, foram aplicados questionários a pedreiros, encarregados e engenheiros em cinco obras da cidade de Salvador, com o intuito de identificar os principais problemas de execução do revestimento e as causas do seu baixo desempenho. Os temas abordados foram: características gerais, danos técnicos, danos financeiros e motivação. Os resultados das entrevistas indicaram como principal problema no processo a falta de conhecimento técnico da mão de obra, inclusive de mestres e engenheiros. A conclusão fundamental resultante deste estudo foi o reconhecimento da necessidade de uma preparação adequada dos recursos humanos e do desenvolvimento de uma metodologia eficiente para execução e acompanhamento do sistema de revestimento vertical. Dessa maneira, foi proposta uma cartilha como documento educacional de nível médio (pedreiros) como alternativa para minimizar os problemas encontrados neste estudo.

Palavras-chave » Manifestações patológicas. Danos financeiros. Mão de obra.

¹ E-mail: camillarrocha@hotmail.com.

² E-mail: jardelpg@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O alto grau de competitividade entre as empresas da construção e o aumento da exigência em termos de qualidade do produto final são responsáveis pela busca constante de melhorias pelas construtoras em seus processos de produção. Apesar do crescimento das técnicas de produção e dos novos materiais empregados no revestimento vertical, a produção deste ainda permanece muito dependente da mão de obra, a qual continua exercendo grande influência na produtividade e qualidade do serviço. Isto se torna um problema diante do fato de que as técnicas de aplicação destas ainda esbarram no empirismo, o que reflete um índice cada vez maior de manifestações patológicas relacionadas principalmente à forma de execução do serviço (SILVA, 2006). Outro problema encontrado nos canteiros de obras relaciona-se às perdas, sejam elas geradas por superprodução, incorporadas ao revestimento ou eliminadas na forma de resíduos. Estas podem gerar danos financeiros, reduzindo o lucro das construtoras e, conseqüentemente, levando à diminuição da competitividade das mesmas.

Sendo assim, surge a necessidade de um estudo amplo das principais causas dos frequentes danos técnicos e danos financeiros enfrentados pelas construtoras. Para isso, é preciso avaliar diversos aspectos relacionados ao processo de execução do revestimento vertical, na busca de soluções que contribuam para combater as causas que levam ao desempenho abaixo do esperado.

2 REVESTIMENTO VERTICAL EXECUTADO EM ARGAMASSA

Os sistemas de produção de revestimento à base de argamassa podem ser divididos conforme o processo de produção de argamassa: Argamassa preparada na obra ou industrializada; e conforme o processo de produção do revestimento: Aplicação manual ou aplicação mecânica (projeção). Tanto os sistemas com aplicação manual quanto os sistemas com aplicação mecânica permitem o uso de argamassa preparada em obra, argamassa industrializada em sacos ou silos. Porém, cada combinação interfere de modo diferente nas atividades de produção, na escolha dos equipamentos, na definição da mão de obra e na adequação do canteiro de obras. As argamassas industrializadas

e a aplicação mecânica do revestimento vertical tem sido utilizadas em grande número de obras.

De acordo com a NBR 13529/1995 a argamassa industrializada é definida como um produto proveniente da dosagem controlada, de aglomerante, agregado miúdo e, eventualmente, aditivo e adição em estado seco e homogêneo, ao qual o usuário somente necessita adicionar a quantidade de água requerida. Já em relação à produção do revestimento com aplicação mecânica verifica-se que a característica fundamental encontra-se na etapa de projeção de argamassa. No sistema mecânico, a projeção da argamassa é feita com auxílio de bombas convencionais, e não com a colher de pedreiro como no sistema manual.

De acordo com *Beling* (2006), na construção civil, as empresas têm como opções duas estratégias de contratação: pela mão de obra própria ou pela terceirização dos serviços. É importante lembrar que independente da forma de contratação da mão de obra, para se atingir um desempenho adequado é necessário orientar a equipe envolvida no processo, através da conscientização e do treinamento dos procedimentos técnicos.

3 GESTÃO DA MÃO DE OBRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A problemática do setor da construção civil está relacionada principalmente à mão de obra, no que se refere à falta de conhecimento técnico acerca dos materiais e equipamentos utilizados, à falta de conhecimento técnico acerca da execução do serviço e à falta de treinamentos. Também é possível citar a falta de orientação, a desmotivação e a desvalorização como fatores que contribuem para as dificuldades enfrentadas nos canteiros de obras. Diante dessa situação, temas como capacitação, treinamento e motivação ganharam grande espaço no mercado de trabalho.

Segundo *Filippi* (2003), “capacitação é o processo de desenvolvimento de novas habilidades e/ou conhecimentos relacionados à área de atuação ou vivência pessoal de um indivíduo, que serão úteis em suas atividades e em qualquer local de trabalho, pois trarão novas competências aos beneficiados com esse processo”. A construção civil brasileira apresenta um descompasso entre a capacidade da mão de obra disponível e as exigências do mercado. Esta problemática está relacionada principalmente ao fato

de que as habilidades e conhecimentos do trabalhador são adquiridos no próprio canteiro de obras, em decorrência das relações de trabalho entre operários mais qualificados e operários menos qualificados, conforme indicado por Grandi (1985 apud COSTA et al., s.d.).

Outro conceito que ganhou espaço e está intimamente ligado ao processo de capacitação é o treinamento. De acordo com Chiavenato (2009), treinamento é o processo educacional através do qual as pessoas aperfeiçoam conhecimentos, habilidades e competências em função de objetivos definidos. Ou seja, é um processo aplicável quando o indivíduo, apesar de já capacitado para realizar determinada função, necessita de uma orientação de forma que melhor desempenhe essa função.

Por fim, trata-se do conceito de motivação. De acordo com Maximiniano (2011), “o desempenho das pessoas no trabalho depende, em parte, de sua motivação, e o desempenho da organização depende do desempenho das pessoas.” As teorias mais conhecidas sobre a motivação são relacionadas com as necessidades humanas. É o caso da Teoria de *Maslow* e a Teoria dos Dois Fatores de *Herzberg*. De acordo com Fidelis (2007 apud CHAGAS, 2010), Maslow idealizou uma pirâmide que representa as necessidades humanas em sequência, e à medida que as necessidades mais baixas da hierarquia vão sendo satisfeitas dão lugar às mais altas, não mais motivando o comportamento do homem. Já a teoria de Herzberg demonstra que há dois fatores que influenciam a motivação das pessoas no trabalho: os higiênicos e os motivacionais. A presença dos fatores higiênicos não traz satisfação, mas sua ausência gera insatisfação. Já os fatores motivacionais, quando presentes, elevam a satisfação. E, se ausentes, não geram insatisfação, mas provocam ausência de satisfação.

Não há estudos que associem a deficiente gestão da mão de obra à geração de danos técnicos e financeiros. Dessa forma, este trabalho avalia a percepção da mão de obra (pedreiros, encarregados e engenheiros) em relação às causas da geração de danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical.

4 ESTUDO – DANOS TÉCNICOS E FINANCEIROS NA EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO VERTICAL

Para atingir os objetivos do estudo foi desenvolvido um programa experimental desenvolvido em etapas conforme representado no Quadro 1.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	• Estudo sobre dois temas - argamassa e gestão da mão de obra através de livros, monografias, teses, normas e sites.
ELABORAÇÃO DO MÉTODO	• Levantamento de dados em 5 obras na cidade de Salvador; • Elaboração de questionários para pedreiros, engenheiros e encarregados; • Blocos de perguntas relacionadas a características gerais, técnica aplicada, danos financeiros e motivação; • Questionários aplicados através de entrevistas.
DEFINIÇÃO DAS OBRAS	• Obra X - aplicação do questionário piloto; • Obras A, B e C - argamassa industrializada fornecida em silos, aplicação mecânica, obras A e B mão de obra própria e obra C mão de obra terceirizada; • Obras D e E - argamassa industrializada fornecida em silos, aplicação manual, obra D mão de obra própria e obra E mão de obra própria e terceirizadas.
VALIDAÇÃO DO MÉTODO	• Aplicação do questionário piloto na obra X; • Falhas verificadas, questionário reformulado e definição do questionários final.
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	• Tabulação e análise dos dados obtidos a partir da aplicação dos questionários nas obras A, B, C, D e E.
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	• Identificação dos principais danos técnicos e financeiros na visão dos pedreiros, encarregados e engenheiros; • Definição das causas da geração de danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical.
CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	• Proposta de um documento de educacional nível médio como alternativa para minimizar os problemas encontrados nesse estudo.

QUADRO 1 • Fluxograma do estudo.

4.1 Apresentação e análise de resultados

Esse item busca realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos a partir dos dados coletados nos questionários aplicados a pedreiros, engenheiros e encarregados das obras A, B, C, D e E. Os questionários encontram-se no trabalho desenvolvido por Leite (2014).

4.1.1 PEDREIROS – CARACTERÍSTICAS GERAIS

A faixa etária média dos pedreiros entrevistados ficou em torno de 37,9 anos de idade, e com experiência na empresa de aproximadamente 2,5 anos.

4.1.2 PEDREIROS – TÉCNICA APLICADA

De acordo com a NR 18 (2009), todos os empregados em obras de construção civil devem receber treinamento admissional e periódico. Apesar de exigido em norma, constatou-se

que 27,3% dos entrevistados não receberam nenhum tipo de treinamento para exercer sua profissão. Apesar da maior parte da mão de obra adquirir sua formação profissional e suas habilidades dentro do próprio canteiro de obras, de maneira completamente informal, 95,2% dos entrevistados afirmam que realizam seu trabalho da melhor forma possível. Dessa maneira, pode-se começar a entender porque problemas como elevados índices de desperdício, baixa produtividade e deficiente qualidade dos produtos recaem sobre o trabalhador na obra. Tais problemas são reflexo da falta de capacitação e treinamento da mão de obra necessários para o serviço que executam.

4.1.3 PEDREIROS – DANOS FINANCEIROS

Os retrabalhos ocorrem quando um serviço precisa ser refeito, já que não foi executado da maneira correta, gerando desperdício de materiais, atraso no cronograma e danos financeiros. Sendo assim, o ideal é que a execução dos serviços seja feita por profissionais capacitados, de modo a adotar as técnicas e normas adequadas.

Partindo para análise de desperdícios de materiais nas obras analisadas, 63,6% dos entrevistados afirmam que, a ação que mais gera desperdício de material é o sarrafeamento do revestimento de cima para baixo; 22% citaram a projeção em excesso de argamassa; 17% não identificaram ações; e 6% citaram o entupimento do mangote. Todas as ações indicadas seriam facilmente evitadas caso fosse utilizada a técnica correta de execução e caso os serviços fossem devidamente instruídos e acompanhados.

Dos entrevistados, 41% consideram que o responsável pelas perdas é o pedreiro; 27% o encarregado/mestre; 5% a construtora; 14% consideram que não há responsável; e 9% não conseguiram identificar o responsável. Já em relação aos danos financeiros, para 18% os responsáveis são os pedreiros; para 9% o encarregado; para 9% o engenheiro; para 5% a obra; para 23% a construtora; para 14% a empreiteira; para 9% não há responsável; e 14% não conseguiram identificar o responsável. A grande dispersão entre os dados coletados demonstra dificuldade dos pedreiros em identificar quais os responsáveis pelas perdas e danos financeiros da obra.

4.1.4 PEDREIROS – MOTIVAÇÃO

A motivação, a valorização e a satisfação do trabalhador são fatores que podem contribuir para o bom desenvolvimento das tarefas executadas no canteiro. É necessário estimular o trabalho e valorizá-lo, para que dessa forma a equipe trabalhe com dedicação e satisfação, o que afetará diretamente a produtividade, a execução do serviço e a qualidade do produto acabado.

Nas obras A, B, C, D e E, a maioria dos operários afirmou se sentir motivada, valorizada, gostar da sua profissão e enxergar possibilidades de crescimento na empresa. Entretanto, ainda há uma menor parcela que não se encaixa nesse perfil e, certamente, a insatisfação destes operários afeta a qualidade do serviço executado.

4.1.5 ENGENHEIROS – CARACTERÍSTICAS GERAIS

A faixa etária média da engenharia ficou em torno de 27,8 anos de idade e com experiência na empresa de aproximadamente 4,5 anos.

Problemas como atrasos, absenteísmo, preguiça e descomprometimento dos operários foram apontadas pela engenharia das obras A, B, D e E como as principais atitudes cometidas pelos pedreiros que comprometem a obra. Os dados obtidos através da aplicação dos questionários para pedreiros indicaram a existência de funcionários desmotivados, desvalorizados, insatisfeitos com a profissão e sem perspectivas de crescimento dentro da empresa, prováveis causas do descomprometimento detectado pela engenharia.

O engenheiro da obra C apontou a adição posterior de água na argamassa como a atitude dos pedreiros que mais compromete a obra. Nesta obra, 50% dos pedreiros afirmaram que a adição de água na argamassa não gera manifestações patológicas e nem danos financeiros, o que prova que esta é uma atitude que de fato ocorre frequentemente, e que os pedreiros nem mesmo sabem que tal compromete a qualidade do revestimento.

4.1.6 ENGENHEIROS – TÉCNICA APLICADA E DANOS FINANCEIROS

Nas obras A, B, C e E, a engenharia afirmou que havia política de treinamento para funcionários da empresa e para funcionários terceirizados, e os serviços eram acompanhados diariamente. Apesar da engenharia das quatro obras afirmarem que treinam suas equipes, os dados coletados a partir do questionário aplicado a pedreiros indicam que 27,4% dos entrevistados não foram treinados, o que demonstra contradição dos dados coletados.

Os engenheiros entrevistados identificaram os principais erros executivos geradores de danos técnicos, danos financeiros e perdas, conforme Quadro 2.

DANOS TÉCNICOS	DANOS FINANCEIROS	PERDAS
ERROS EXECUTIVOS – Visão dos engenheiros		
Sarrafeamento e Desempolamento incorretos	Sarrafeamento e Desempolamento incorretos	Sarrafeamento incorreto
Cura incorreta	Cura incorreta	Entupimento de mangote
Colocação incorreta de telas de reforço	Desperdício de materiais	Produção em excesso de argamassa
Execução incorreta de juntas de dilatação	Desaprumo da alvenaria - Revestimento de grande espessura	Armazenamento incorreto de materiais
ERROS EXECUTIVOS – Visão dos Encarregados		
Produção em excesso de argamassa	Sarrafeamento incorreto	Produção em excesso de argamassa
Não identificados - Obras A E C	Desaprumo da Alvenaria Revestimento de grande espessura	Execução incorreta de alvenaria

QUADRO 2 • Erros executivos geradores de danos técnicos, danos financeiros e perdas: visão dos engenheiros e encarregados.

Para evitar tais erros é imprescindível que a engenharia de fato treine e conscientize seus operários. A inexistência de treinamentos ou mesmo a ineficiência dos treinamentos aplicados, pode ser constatada através dos dados coletados, uma vez que apenas 28,6% dos entrevistados afirmam que a colocação incorreta das telas de reforço não geram danos técnicos e financeiros; 46,4% afirmam que a cura incorreta não gera danos; 53,5% dos entrevistados afirmam que a adição posterior de água a argamassa não gera danos; e 69% dos entrevistados acreditam que o sarrafeamento incorreto também não gera danos. Ou seja, a mão de obra empregada não possui conhecimento técnico suficiente que os faça entender que tais ações são erros executivos e, que as mesmas comprometem a qualidade do revestimento.

4.1.7 ENCARREGADOS – CARACTERÍSTICAS GERAIS

A faixa etária média dos encarregados ficou em torno de 40,0 anos de idade e com experiência na empresa de aproximadamente 7,0 anos.

De acordo com os encarregados das obras A e B, as atitudes dos pedreiros que mais comprometem a obra é a execução do revestimento de forma incorreta, o que ocorre por falta de capacidade técnica, por falta de atenção ou muitas vezes devido à pressão pela alta produtividade. Nessas situações, a indicação é que o serviço seja refeito, o que gera retrabalhos e perdas. Porém, deve-se evidenciar que tais atitudes poderiam ser evitadas se fosse empregada uma mão de obra qualificada e treinada; se as informações entre os engenheiros, encarregados, empreiteiros, operários fossem transmitidas corretamente e se os serviços fossem acompanhados com rigor pela engenharia.

Já o encarregado da obra C identificou a falta de comprometimentos dos pedreiros como a ação que mais compromete a obra. Como já tratado anteriormente, tal atitude pode ser reflexo da desmotivação, desvalorização e insatisfação de parte da mão de obra entrevistada.

4.1.8 ENCARREGADOS – TÉCNICA APLICADA E DANOS FINANCEIROS

Todos os encarregados entrevistados afirmaram que treinam e acompanham suas equipes. Todavia, os dados coletados nas obras A, B e C indicaram que apenas 83% dos operários afirmam ter recebido treinamentos e orientações diárias sobre o que deve ser feito, o que demonstra uma incompatibilidade das informações fornecidas.

Os encarregados entrevistados também identificaram os principais erros executivos geradores de danos técnicos, danos financeiros e perdas, conforme Quadro 2.

A produção em excesso de argamassa é consequência da falta de planejamento da engenharia, a qual é responsável por definir o volume correto de argamassa a ser projetado e por passar a informação para encarregado, mestre e empreiteiros. Já a execução incorreta de alvenaria, levando a um revestimento de grandes espessuras e o sarrafeamento incorreto, são consequência da adoção de uma mão de obra desqualificada.

Além disso, pôde ser constatada a partir das informações coletadas, a mais absoluta incapacidade técnica de mestres e encarregados, os quais não conseguiram identificar erros executivos que geram danos técnicos. Fatalmente, os serviços executados de maneira incorreta nessas obras não estão sendo identificados, uma vez que o responsável pelo acompanhamento não possui conhecimento técnico suficiente para identificá-los, e assim evitá-los.

4.2 Discussão de resultados

Com a finalização da análise de resultados das obras, partiu-se para uma análise cruzada dos resultados encontrados. Além dos dados coletados a partir das perguntas, havia ao final de cada questionário um quadro – Problemas na execução – onde os entrevistados identificavam na visão deles quais ações geravam danos técnicos e danos financeiros. Esses quadros encontram-se no trabalho desenvolvido por Leite (2014).

Os dados coletados a partir do quadro “Problemas na execução” nas cinco obras de estudo foram então confrontados gerando um *ranking* com os dez principais problemas causadores de danos técnicos, e os dez principais problemas causadores de danos financeiros na visão dos pedreiros, engenheiros e encarregados separadamente. Posteriormente, gerou-se um *ranking* global com os dez (1º ao 10º) principais problemas na visão de todas as classes conjuntamente. O valor em percentual representa o número de entrevistados sobre a amostra total que considera que o problema na execução exposto gera danos

técnicos e/ou danos financeiros. As Tabelas 1 a 3 apresentam os *rankings* gerados a partir da confrontação dos dados coletados.

PROBLEMAS VISÃO PEDREIROS			PROBLEMAS VISÃO ENGENHEIROS			PROBLEMAS VISÃO ENCARREGADOS		
		%			%			%
Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	1º	100,0%	Adição posterior de água na argamassa	1º	100,0%	Falta de aderência com a base (chapisco)	1º	100,0%
Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	2º	86,7%	Excesso de argamassa/ espessura	1º	100,0%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	1º	100,0%
Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	3º	78,6%	Falta de aderência com a base (chapisco)	1º	100,0%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	1º	100,0%
Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	4º	73,3%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	1º	100,0%	Excesso de argamassa/ espessura	4º	66,7%
Cura deficiente ou sem cura	5º	64,3%	Cura deficiente ou sem cura	5º	83,3%	Adição posterior de água na argamassa	5º	33,3%
Falta de aderência com a base (chapisco)	6º	60,0%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	5º	83,3%	Cura deficiente ou sem cura	5º	33,3%
Adição posterior de água na argamassa	7º	53,3%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	7º	33,3%	Desempeno excessivo	5º	33,3%
Excesso de argamassa/ espessura	8º	46,7%	Desempeno excessivo	8º	16,7%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	5º	33,3%
Desempeno excessivo	9º	28,6%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	8º	16,7%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	5º	33,3%
Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	10º	20,0%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	10º	0,0%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	5º	33,3%

TABELA 1 • Priorização dos problemas de execução geradores de danos técnicos na visão dos pedreiros, engenheiros e encarregados.

PROBLEMAS VISÃO PEDREIROS		%	PROBLEMAS VISÃO ENGENHEIROS		%	PROBLEMAS VISÃO ENCARREGADOS		%
Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	1º	100,0%	Adição posterior de água na argamassa	1º	100,0%	Excesso de argamassa/ espessura	1º	100,0%
Excesso de argamassa/ espessura	2º	73,3%	Excesso de argamassa / espessura	1º	100,0%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	1º	100,0%
Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	3º	64,3%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	1º	100,0%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	1º	100,0%
Falta de aderência com a base (chapisco)	4º	57,1%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	4º	83,3%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	1º	100,0%
Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	4º	57,1%	Falta de aderência com a base (chapisco)	5º	66,7%	Falta de aderência com a base (chapisco)	5º	66,7%
Adição posterior de água na argamassa	6º	53,3%	Cura deficiente ou sem cura	5º	66,7%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	5º	66,7%
Cura deficiente ou sem cura	7º	42,9%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	5º	66,7%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	5º	66,7%
Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	7º	42,9%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	5º	66,7%	Adição posterior de água na argamassa	8º	33,3%
Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	7º	42,9%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	9º	33,3%	Cura deficiente ou sem cura	8º	33,3%
Desempeno excessivo	10º	14,3%	Desempeno excessivo	10º	16,7%	Desempeno excessivo	8º	33,3%

TABELA 2 • Priorização dos problemas de execução geradores de danos financeiros na visão dos pedreiros, engenheiros e encarregados.

PROBLEMAS RANKING GLOBAL			
%	DANOS TÉCNICOS	%	DANOS FINANCEIROS
87,0%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada	83,3%	Excesso de argamassa/ espessura
79,2%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar	78,3%	Inexistência de juntas de dilatação ou execução inadequada
75,0%	Falta de aderência com a base (chapisco)	66,7%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada
66,7%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar	62,5%	Adição posterior de água na argamassa
65,2%	Cura deficiente ou sem cura	60,9%	Falta de aderência com a base (chapisco)
62,5%	Adição posterior de água na argamassa	60,9%	Deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar
62,5%	Excesso de argamassa/ espessura	60,9%	Não respeitar o tempo da argamassa “puxar” para sarrafejar

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

PROBLEMAS RANKING GLOBAL			
%	DANOS TÉCNICOS	%	DANOS FINANCEIROS
41,7%	Posicionamento do bico projetor na angulação errada ou na distância errada	52,2%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão
26,1%	Desempeno excessivo	47,8%	Cura deficiente ou sem cura
16,7%	Sarrafeamento pra baixo, deixando o excesso de argamassa cair no chão	17,4%	Desempeno excessivo

TABELA 3 • Ranking global dos dez principais problemas geradores de danos técnicos e danos financeiros.

Primeiramente, era de se esperar que os percentuais encontrados na pesquisa fossem todos de 100% ou o mais próximo possível, uma vez que todos os problemas relacionados são geradores de danos técnicos e, conseqüentemente, de danos financeiros. Entretanto, ao se observar as tabelas é possível constatar que o resultado obtido foi muito diferente do desejado. Tanto para danos técnicos, quanto para danos financeiros, existem pedreiros que consideram que ações como não respeitar o tempo da argamassa puxar para sarrafejar, deixar a argamassa endurecer demais sem sarrafejar, cura deficiente, adição posterior de água na argamassa, dentre outras, não geram danos. A situação se torna ainda mais séria quando se constata que não apenas os pedreiros, mas também encarregados e engenheiros, consideram que ações como cura deficiente, não respeitar o tempo da argamassa puxar para sarrafejar, dentre outras, não geram danos técnicos e nem danos financeiros. Todos esses percentuais retratam de forma clara a falta de conhecimento técnico de operários, encarregados, mestres e engenheiros, o que reflete de forma negativa na execução do revestimento.

Outro aspecto relevante constatado é a diferença de prioridade para os envolvidos. O que é prioridade para pedreiro, não é para encarregado e não é para engenheiro. Da mesma forma que o que é prioridade para engenheiro, não é para pedreiro e nem para encarregado. Isto demonstra que cada um enxerga o sistema de uma maneira, o que dificulta ainda mais a execução de forma padronizada e com qualidade.

4.3 Contribuições do trabalho

A partir da análise das Tabelas 1, 2 e 3, contendo os principais problemas na visão dos pedreiros, engenheiros e encarregados, da experiência em campo e do estudo desenvolvido pôde-se perceber que a falta de conhecimento técnico da mão de obra, consequência da

falta de capacitação e treinamento desta, é de fato a causa dos danos técnicos e financeiros presentes na execução do revestimento vertical.

Dessa maneira, o presente trabalho buscou a elaboração de um documento educacional de nível médio, o qual visou possibilitar a transmissão de conhecimentos técnicos básicos no próprio canteiro de obras, de maneira informal, porém eficiente. Espera-se, com esse material, oferecer informações suficientes, contribuindo para uma melhor atuação dos envolvidos e consequentemente para a execução de um produto de melhor qualidade.

Os temas em questão foram escolhidos de acordo com os *rankings* globais dos dez principais problemas de execução causadores de danos técnicos e financeiros apontados pelos próprios pedreiros, engenheiros e encarregados. Além destes, outros temas também foram abordados diante da relevância que apresentaram durante o desenvolvimento do estudo. O Quadro 3 apresenta os temas das histórias que constituíram a cartilha para pedreiros.

1) Responsabilidades (construtora, empreiteira, mão de obra)	2) Planejamento do serviço
3) Comunicação ineficiente	4) Relação com o encarregado e com a empresa
5) Importância do EPI	6) Treinamento
7) Espessura do revestimento	8) Adição posterior de água na argamassa
9) Sarrafeamento e tempo de puxar da argamassa	10) Cura

QUADRO 3 • Temas das histórias que compõem a cartilha.

Após definição dos temas e elaboração do roteiro das mesmas, partiu-se para desenvolvimento dos personagens e das ilustrações. Para essa etapa, foi necessária a contratação de um profissional que tivesse conhecimento e técnica adequados para elaboração da parte ilustrativa da cartilha.

Para a cartilha, foram desenvolvidos quatro personagens principais, representados na Figura 1. Sérgio, o engenheiro; Braúlio, o pedreiro politicamente incorreto, com pouco conhecimento técnico e desmotivado; Jéerson, o pedreiro com algum conhecimento técnico, porém responsável e motivado; e Inácio, um encarregado desenvolvido com o intuito de fornecer as informações técnicas necessárias para cada história.

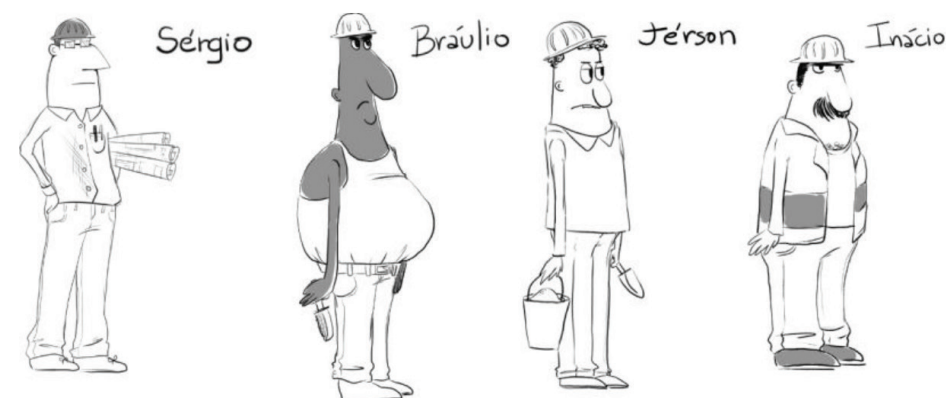


FIGURA 1 • Personagens da cartilha.

O Anexo A apresenta a capa da cartilha e uma das histórias desenvolvidas. Salienta-se que a cartilha está em processo de impressão para posterior distribuição nos canteiros de obras. A cartilha completa está apresentada no trabalho desenvolvido por Leite (2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos desenvolvidos neste trabalho, verificou-se que a maior parte dos pedreiros recebeu treinamento e reconhece a importância deste. Entretanto, ao partir para análise das tabelas a falta de conhecimento técnico da mão de obra foi o fator que apresentou maior relevância, o que demonstra a completa ineficiência dos treinamentos realizados e a falta de capacitação da mão de obra empregada. Já em relação aos encarregados e engenheiros todos reconhecem a importância da execução de treinamentos e capacitação da mão de obra, e afirmam que buscam meios de promover o aperfeiçoamento das técnicas. Por outro lado, os mesmos culpam a mão de obra que eles próprios afirmam treinar pela existência de erros executivos que geram danos técnicos e danos financeiros. Além disso, vale ressaltar que, a partir da análise das tabelas, tornou-se evidente também a falta de conhecimento técnico por parte dos encarregados e engenheiros.

Após essas conclusões buscou-se então, a elaboração de uma cartilha que colabore com a difusão de conhecimentos técnicos básicos acerca do revestimento vertical dentro dos canteiros de obras. Entretanto, sabe-se que esta é uma solução pontual e que, para garantir a redução dos danos técnicos e financeiros, é preciso investir na capacitação, qualificação e treinamento da mão de obra envolvida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. P. **Viabilidade econômica da projeção mecânica utilizando argamassa industrializada**. 2012. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.

BELING, A. **Implicações decorrentes da opção em contratar mão de obra terceirizada em uma empresa de construção civil**. 2006. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHAGAS, B. J. C. **Gestão de pessoas na construção civil: Implantação de Programa de Monitoramento Comportamental e Valorização Profissional em Obra Pública em Feira de Santana – BA**. 2010. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana.

CHIAVENATO, I. **Recursos humanos: O capital humano das organizações**. 9.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

COSTA, S. T. F. L. *et al.* **A construção civil e o estresse como uma realidade**. [s.l.:s.n.,s.d].

FIDELIS, G. J. **Gestão de recursos humanos**. 3.ed. São Paulo: Érica, 2007.

FILIPPI, G. A. **Capacitação e qualificação de subempreiteiros na construção civil**. 2003. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRAND, S. L. **Desenvolvimento da indústria da construção no Brasil: mobilidade e acumulação do capital e força de trabalho**. 1985. Tese (Doutorado em Filosofia, Letras e Ciências Humanas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

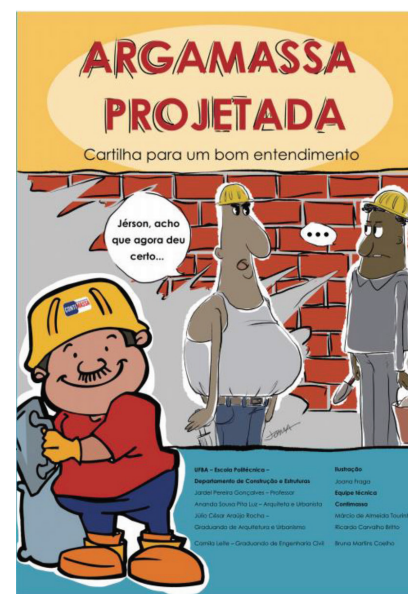
LEITE, C. L. **Danos técnicos e financeiros na execução do revestimento vertical**. 2014. 198f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MAXIMINIANO, A. **Introdução à administração**. 8.ed. São Paulo: Atlas, 2011.

NR. NORMA REGULAMENTADORA MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil**. 2009.

SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas do revestimento em argamassa**. 2006. 239f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ANEXO A – CARTILHA – CAPA E HISTÓRIA SOBRE ESPESSURA DO REVESTIMENTO



ANÁLISE DOS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE FACHADA UNITIZADA DE UMA EDIFICAÇÃO

José Carlos Mendes Cortes Júnior ¹
Jardel Pereira Gonçalves ²

Resumo

“As exigências das normas térmicas aceleraram a evolução dos materiais e das técnicas construtivas, o que vem resultando em mudanças de concepção de projeto, e levam a forma como construímos a outro patamar. Neste patamar, a qualidade da produção está atrelada ao prazo de entrega, ao custo do empreendimento e a responsabilidade socioambiental. É o cenário perfeito para o surgimento de novas tecnologias construtivas, que se adaptam ao novo contexto, e cumprem essas exigências. O exemplo disso, é sobre o que trataremos neste trabalho, é a execução de Fachada Unitizada em uma edificação. Esse sistema oferece rápida e fácil execução, acabamento diferenciado e, quando bem dimensionado, proporciona maior conforto térmico e acústico. Esses e outros aspectos já foram comprovados em países como Estados Unidos e, no Brasil, está em contínuo processo de expansão.

A fachada de uma edificação é, além de obviamente imprescindível para a vedação, o primeiro elemento de acabamento a ser visto pelo público externo. Dito isto, e entendendo a necessidade do mercado atual pela busca do conhecimento, relativamente, o novo sistema, o objetivo deste trabalho foi de demonstrar o processo de execução de uma Fachada Unitizada. As premissas do sistema e possíveis interferências e manifestações patológicas decorrentes do processo foram para atingir os objetivos realizados na análise do processo em uma obra que utilizou esse sistema, onde puderam ser evidenciadas dificuldades no processo de logística, proteção dos módulos durante a etapa de execução, e interferências com outros projetos da edificação.”

Palavras-chave » Fachada Ventilada. Unitizada. Execução. Interferências. Materiais.

¹ E-mail: jccortes@outlook.com.

² E-mail: jardelpg@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

É sabido, que a evolução tecnológica muito se deve à inquietação do ser humano na busca de maiores níveis de praticidade, conforto e estética. No século XX, a evolução tecnológica avançou como nunca antes, e durante esse período, outro conceito foi adicionado aos demais: a sustentabilidade.

A partir disso, novas tecnologias puderam ser criadas e tiveram sua eficiência comprovada, como a utilização do sistema de Fachadas Unitizadas, um tipo evolutivo das fachadas ventiladas e cortina de vidro, amplamente utilizadas em países como Estados Unidos e Alemanha. Esse sistema foi introduzido no Brasil de forma gradual, e com um intervalo de aproximadamente 20 anos em defasagem dos países pioneiros.

A primeira obra no Brasil executada com o sistema de Fachada Ventilada data da década de 60, com a utilização de perfis de aço que cumpriam o papel estrutural e passavam um efeito verticalizado às edificações. Na época, o novo sistema conquistou o mercado brasileiro por apresentar diversas vantagens como vedação, praticidade, leveza e acabamento diferenciado. Já nos anos 70, os perfis passaram a ser de alumínio extrudado. A inovação tecnológica não ficou apenas na adoção de um material mais leve e com maior trabalhabilidade. Na década de 80, respondendo às demandas dos arquitetos, novas tecnologias foram introduzidas ao sistema, que passou a utilizar o silicone estrutural (*Structural Glazing*) para a fixação dos vidros. Antes do silicone, a fixação era feita através do encaixilhamento do vidro nos perfis de alumínio, resultando em enormes dificuldades no processo de manutenção por quebra. A utilização do sistema *Structural Glazing* no processo de fixação melhorou a vedação, e também intensificou a homogeneidade estética.

A década de 90 foi marcada pela chegada dos painéis em alumínio, o chamado ACM – alumínio composto.

A Fachada Unitizada, sistema mais avançado hoje em termos de revestimento de fachadas, chegou ao Brasil por volta dos anos 2000, com destaque para a obra sede do *Bank Boston* em São Paulo, primeira obra brasileira com o sistema. “A adoção dessa tecnologia elevou o nível e a qualidade das obras brasileiras, pois o caixilho chegava pronto na obra para ser instalado, com gaxetas, borrachas, acessórios e vidros colados, através de um processo de fabricação” (CARDOSO, 2004). Esse sistema também assegurava

a velocidade de execução de revestimento, podendo ser montado ainda durante a fase de subida da estrutura, impactando positivamente sobre o prazo de entrega da obra.

Paralelamente, as questões ambientais se tornaram sumariamente importantes em todos os âmbitos da sociedade. Na construção civil essa problemática é ainda mais evidente pela quantidade de impactos que estão relacionados à realização de um empreendimento. A construção sustentável está diretamente ligada à redução do impacto da edificação desde o momento da sua construção até o momento de sua utilização. Nesse cenário, a evolução dos materiais utilizados nas fachadas ventiladas foi significativa, principalmente na adoção de vidros insulados. Com as novas tecnologias, o sistema adaptou-se aos países de clima tropical, e agora proporciona não só as vantagens citadas anteriormente, como também conforto térmico e acústico, proporcionando o bem-estar do usuário, e redução no consumo energético, utilizado para climatização.

Portanto, observa-se a necessidade de melhor estudar as técnicas utilizadas na montagem de fachadas de vidro com foco no sistema unitizado, suas classificações estéticas, seus principais materiais e processos de fabricação e interferências no momento de instalação. Para isso, foi realizado um estudo em uma obra localizada em Salvador com intuito de descrever com maior fidelidade as premissas e soluções adotadas na execução desse sistema.

2 SISTEMAS DE FACHADA DE VIDRO

As fachadas de vidro possuem dois sistemas de instalação e que são conceitualmente distintos em seu processo produtivo. O primeiro, também chamado de sistema *Stick*, foi o precursor dos sistemas de fachadas de vidro pelo mundo e, de forma simplificada é o sistema que tem sua fabricação em obra. O segundo, chamado de *Unitized* ou de Unitizado, é uma evolução do *Stick* e traz o conceito da construção enxuta para o mercado. Diferencia-se na forma, em que os materiais chegam à obra, em módulos prontos e produzidos em fábrica.

Essas fachadas dotadas, predominantemente, de vidro, também são conhecidas como fachadas cortina de vidro. Segundo (ROSSO, 2007), hoje o termo fachada-cortina define uma esquadria de alumínio que é instalada por fora da estrutura do prédio e compreende, no mínimo, dois pavimentos, representando neste trecho o revestimento e a vedação do edifício, que pode ser de vidro, cerâmica, alumínio e granito.

De acordo com Mônica Marcondes, (em SAYEGH, 2008), em primeiro lugar, a envoltória deve ter a função básica de proteger o interior do edifício. Para tanto deve apresentar alta estanqueidade à água, poeira e ruídos, aliada à rigidez, durabilidade e baixo custo de manutenção. Em um segundo momento, pode ser exigido da envoltória o fornecimento de luz, calor ou ventilação.

2.1 Sistemas Construtivos

Desde a primeira obra a utilizar o conceito de fachada ventilada, até os dias atuais já se passaram mais de 50 anos, e neles a evolução do sistema de montagens e materiais foi imensa. Essa evolução pode ser vista na Figura 1. O primeiro sistema a ser utilizado foi o *Stick*, o qual se baseava em fixar colunas metálicas no edifício e posteriormente instalar os vidros e as guarnições, sendo fabricado em quase sua totalidade na obra.

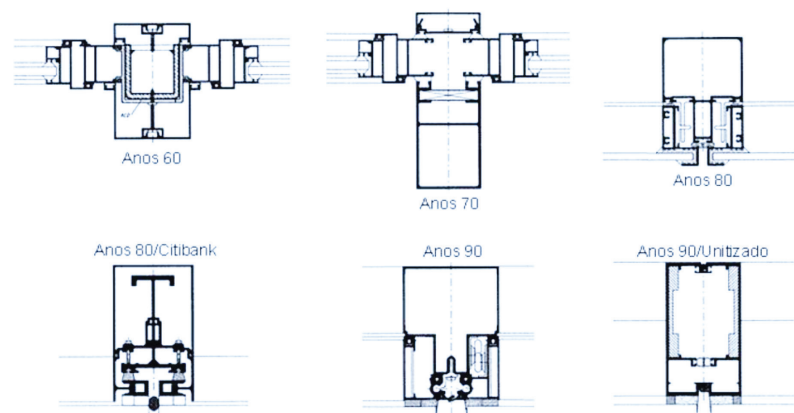


FIGURA 1 • Desenvolvimento dos sistemas de Fachada no Brasil (FINESTRA, 2005)

O sistema deu um salto tecnológico nos anos 90, com a chegada do sistema *Unitized* (Unitizado). O sistema unitizado possibilita o controle de qualidade dos módulos, uma vez que sua montagem é executada fora da obra, em fábricas. Os módulos chegam às obras prontas, ou seja, com todos os materiais já instalados como vidros, gaxetas e guarnições. Com isso, existiram ganhos significativos em produtividade de instalação e na qualidade

final do serviço. A seguir abordaremos de forma mais aprofundada os conceitos e técnicas do sistema *Stick* e do *Unitized*.

2.1.1 SISTEMA STICK

No sistema *Stick*, a fachada é montada toda pela parte externa do edifício com a utilização de andaimes, quando o prédio possui poucos andares, e com balancins, quando o prédio possui uma altura suficiente para inviabilizar o uso dos andaimes. A primeira etapa de execução dessa fachada é o serviço de descida de prumadas externas. A partir delas, é possível saber como está o alinhamento vertical das bordas das lajes naquele local e, com essa informação, analisar se a distância entre a fachada e a face da laje, estabelecida em projeto, poderá ser executada sem maiores interferências. Em seguida, é realizada a marcação dos pontos de ancoragens e, conseqüentemente, dos eixos das colunas verticais. A partir da instalação das colunas, dá-se início às instalações das travessas horizontais, criando também, um efeito de grid na fachada. Com as colunas e travessas instaladas, alinhadas e apuradas, dá-se início a montagem das folhas de vidros e, caso faça parte do escopo do projeto, chapas de ACM, cerâmicas ou granitos.

O *Stick* foi o primeiro sistema de execução de fachadas ventiladas, e até hoje é o mais utilizado devido às suas características técnicas, facilidade e rapidez de execução. Porém, a depender do porte do empreendimento, área total, o sistema acaba não sendo tão vantajoso, dando lugar ao *Unitized*, ou seja, a vantagem da utilização do sistema é inversamente proporcional ao aumento da área da fachada e proporcional ao prazo de entrega. Isso se deve ao fato de que nesse sistema, os módulos devem ser fabricados *in loco*, diferindo do unitizado que os módulos chegam prontos à obra. Em contra partida, o transporte do material utilizado na fachada *Stick* é mais barato devido às dimensões de suas peças (ROSSO, 2007)

Segundo (Rosso, 2007), há três subdivisões do sistema *Stick*: o Tradicional, Cortina de Vidro e o *Structural glazing*. O *stick* tradicional é caracterizado pela forte marcação das colunas verticais na fachada do edifício. Os perfis ficam visíveis na fachada e sobressalentes em relação ao plano do vidro, que é fixado através de presilhas e parafusos cobertos com tampas de acabamento, como pode ser visualizado na Figura 2.



FIGURA 2 • Fachada *Stick* Tradicional.

A Cortina de vidro recebeu essa denominação devido ao fato de ter inovando transferindo as colunas verticais para dentro da estrutura da fachada, aumentando área de vidro externa e melhorando a sensação de homogeneização estética do sistema. Dessa forma, como a fixação dos vidros se dá através do encaixilhamento nos perfis extrudados, ainda são necessárias pequenas “capas” de alumínio com função de acabamento no entorno das folhas de vidros, localizadas na área externa da fachada.

Neste caso, a diferença de nível entre o plano de vidro e a marcação de alumínio é pequena, conferindo uma aparência de *grid* (Figura 3). Entretanto, se compararmos com o sistema tradicional, a cortina de vidro é significativamente mais “limpa”.

Dos métodos de fixação do sistema *Stick*, o *Structural glazing* foi apontado como uma das evoluções mais positivas deste mercado. A premissa adotada aqui é objetivada por duas questões: melhorar a vedação entre vidros e alumínio, e aumentar a uniformidade estética da fachada. Por isso, no método *structural glazing*, os vidros são colados com silicone estrutural ou com fita estrutural adesiva de dupla face VHB (*Very High Bond*) diretamente nos perfis de alumínio do quadro, mantendo a estrutura de caixilharia oculta na face interna (Figura 4).



FIGURA 3 • Vista de um edifício com Cortina de vidro (ARCHIEXPO, 2014)

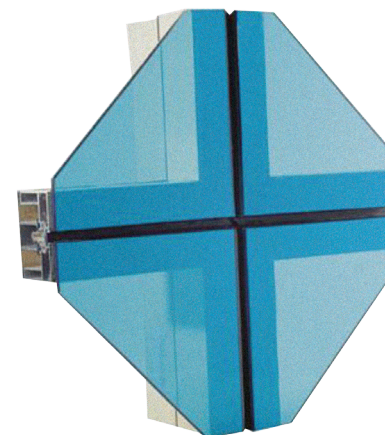


FIGURA 4 • Detalhe da junta de vidros em fachada Structural Glazing (REVISTA TECNOLOGIA E VIDRO, 2009)

2.1.2 SISTEMA UNITIZADO

A necessidade de criar um sistema mais simples em que prerrogativas como planejamento, redução de desperdício de materiais, velocidade de execução e qualidade fossem atendidos, fez com que o *Unitized* surgisse. Segundo, (CARDOSO, 2004) o

conceito do sistema unitizado vem do próprio nome. *Unitized* quer dizer unir, juntar as partes das colunas, ou seja, bipartir a coluna em duas, em projeto, dividindo a esquadrias em módulos.

Atrelado a esse tipo de montagem, a maneira como o material chega à obra também mudou. Nesse sistema, os módulos chegam prontos, com vidros fixados, silicões aplicados, sistema de vedação EPDM e gaxetas. (CARDOSO, 2004) afirma também, que o ganho em velocidade de instalação é nítido, se pensarmos que com a adoção desse sistema, a requadrção necessária no momento da instalação do vidro não será mais realizada.

A primeira etapa de instalação dos módulos é a colocação das ancoragens na borda da laje. O papel das ancoragens é, além de suportar estruturalmente os módulos, servir como instrumento de nivelamento. Havendo algum problema de nivelamento na laje, o sistema possui um range de tolerância aceitável, podendo ser utilizados calços para vencer o desnível. O prumo da fachada, também é possibilitado devido a rasgos oblongos que a ancoragem possui, permitindo o ajuste da distância entre a face da viga de bordo e a face interior da fachada. Com isso garantido, começa-se o içamento do módulo, que é retirado do interior do pavimento e levado até a área externa do prédio para posterior encaixe na ancoragem (Figura 6). Os módulos são encaixados de cima para baixo e montados e baixo para cima, dessa maneira, o ataque de montagem da fachada deve iniciar do primeiro pavimento mais baixo, até o último mais alto. Essa forma de montagem favorece a instalação da fachada durante a execução da estrutura do prédio. Segundo, (Cardoso, 2004), no *Bank Boston*, enquanto a estrutura estava no 23º pavimento a equipe estava montando os módulos do 21º pavimento, possibilitando avanço dos serviços internos do edifício.

Por conceito, os módulos já possuem todos os materiais envolvidos e necessários para a vedação de um determinado vão. Dessa forma, em muitos casos, a instalação manual do módulo é inviável devido ao peso do conjunto. Embora, seja necessária a utilização de equipamentos robustos para o içamento que devem ser dimensionados de acordo com o peso, capacidade de carga que a laje suporta, pois geralmente esses equipamentos também são pesados, e espaço livre para movimentação. O esquema de montagem pode ser visto na Figura 7.

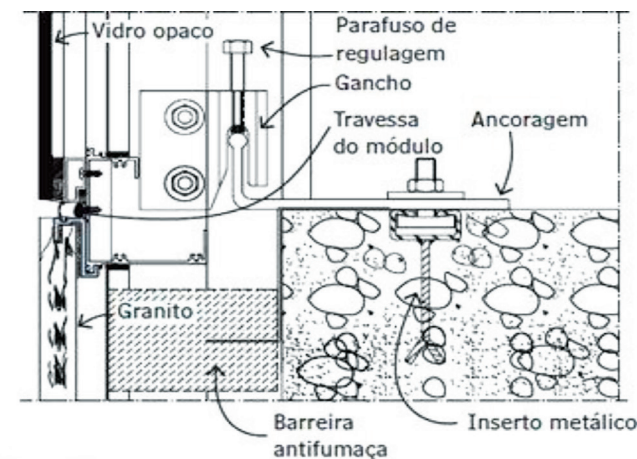


FIGURA 5 • Detalhe de encaixe do módulo na ancoragem da laje (CORSINI, 2013)

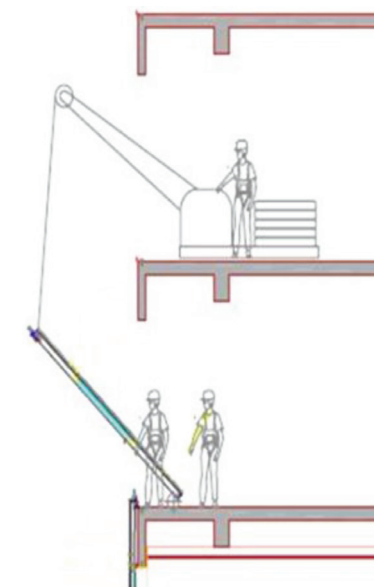


FIGURA 6 • Esquema de instalação do Sistema Unitizado

Por fim, coloca-se a manta de silicone na parte superior do módulo para contribuir na vedação do sistema. No sistema unitizado, possíveis vazamentos ficam restritos a apenas o módulo patológico, sem que haja transmissão para outros pavimentos, possibilitando a rápida correção individual (CARDOSO, 2004). Na Figura 8 pode-se

visualizar os detalhes do sistema de vedação com a utilização de gaxetas em EPDM na junção dos perfis.

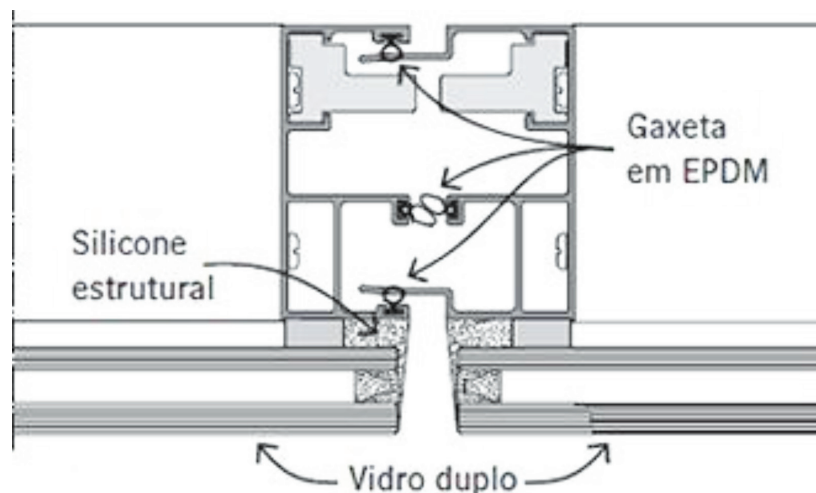


FIGURA 7 • Corte do perfil ilustrando o sistema de vedação (CORSINI, 2013).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para a realização do estudo do empreendimento, foram executadas etapas de obtenção de dados técnicos com os projetistas e dados referentes aos procedimentos em campo.

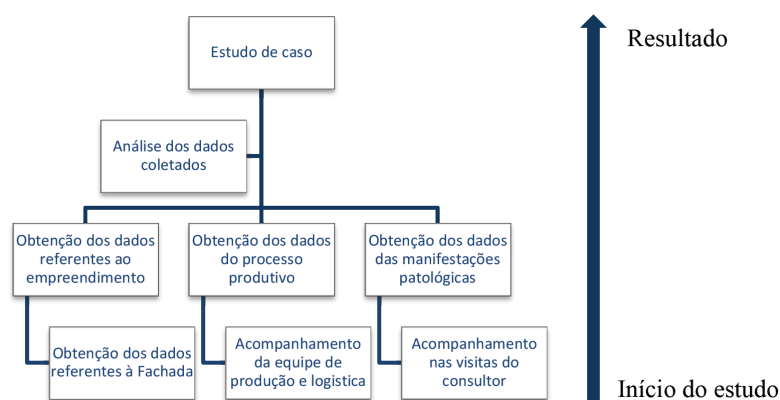


FIGURA 8 • Etapas de obtenção dos dados para o estudo de caso.

4 CARACTERIZAÇÃO DA FACHADA ESTUDADA

O empreendimento escolhido para estudo é do tipo empresarial, e a fachada possuía três tipos de materiais mais representativos, vidros, cerâmicas e alumínio. Os módulos possuem toda a parte de caixilharia em alumínio extrudado. As folhas de vidro são do tipo *float* prata e as cerâmicas extrudadas, na cor terracota. Ao total, a torre possui 4.775 módulos distribuídos em 25 pavimentos de montagem, começando pelo primeiro pavimento e finalizando dois pavimentos acima da área técnica, espaço denominado de coroamento. Dado exposto, cada pavimento possui 191 módulos.

Os módulos em geral tem a altura do pé direito do pavimento tipo, 3,75 m, e cobre a metade superior do pavimento inferior, e a metade inferior do pavimento superior. Em relação às dimensões dos módulos, a altura varia de acordo com o pavimento de montagem e a largura é definida pela tipologia do mesmo. No primeiro pavimento, os módulos tem altura de 2,15 m. Já nos demais, a altura é 3,75 m. Para esta obra existem ao total 38 tipos de módulos diferentes na fachada.

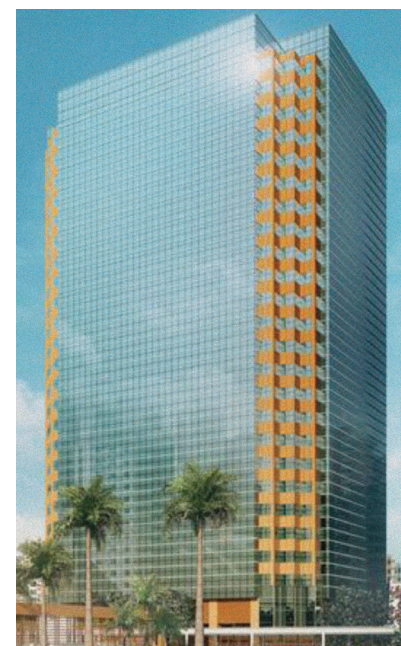


FIGURA 9 • Fachada principal do Edifício.

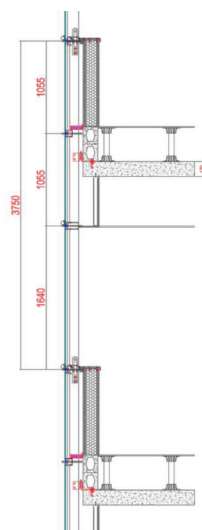


FIGURA 10 • Módulo do pavimento tipo com 3,75 m.

Para as esquinas, o projeto arquitetônico exigia detalhes em cerâmica em conjunto com o vidro. As cerâmicas possuem altura de 24 cm, 24 mm de espessura, e largura definida pelo módulo. As cerâmicas são fixadas nos módulos através de presilhas localizadas nos montantes do caixilho.

Os módulos das fachadas retas possuem, em suas junções de montantes, duas câmaras para evitar a passagem de água, vedadas com guarnições de EPDM – Ethylene Propylene Diene Monomer. Para os módulos de esquinas, que possuem encontro de montantes angular a 45°, há três câmaras também vedadas com EPDM

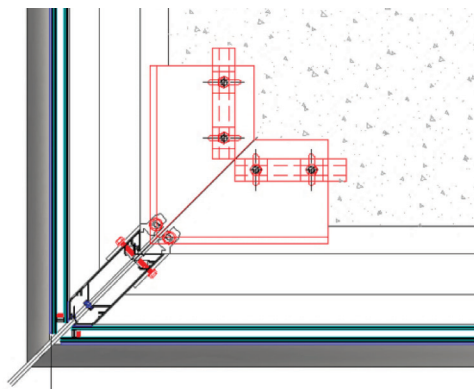


FIGURA 11 • Módulos de esquina com perfis a 45°.

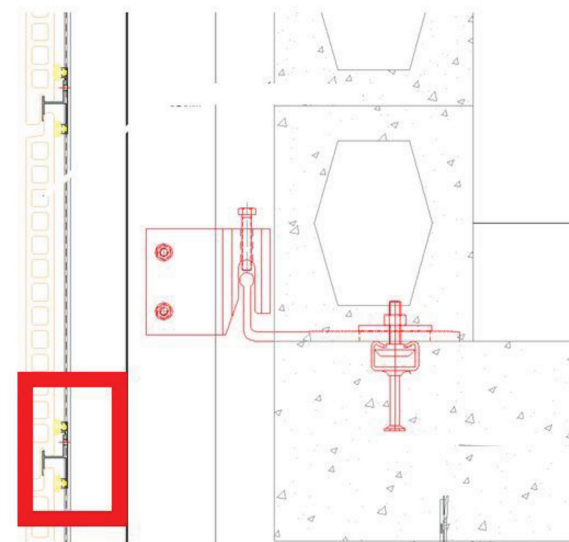


FIGURA 12 • Detalhe da ancoragem metálica da cerâmica

5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E INTERFERÊNCIAS

Ao longo do estudo, foram detectadas algumas interferências durante o processo. Neste capítulo, serão abordadas as principais interferências encontradas na obra, e que vieram a impactar na execução do serviço causando por vezes, manifestações patológicas.

Em virtudes dos fatos, foram constatados módulos com defeitos em seus montantes e alguns com quebras de vidros. Foi percebido, que os empenamentos nos montantes eram provenientes de três causas. A primeira era na forma como os módulos eram amarrados no palete para transporte até a obra. Devido aos esforços gerados na movimentação durante o transporte, a fita forçava e amassava os montantes.

A segunda e terceira causas do empenamento dos perfis de alumínio estavam diretamente ligadas à etapa de armazenamento. Foi verificado, que os módulos eram colocados em cima apenas de dois apoios de madeira e organizados em pilha maior que a permitida, quatro ao total. Com isso, o vão criado entre os apoios não fornecia estabilidade suficiente e, devido à fragilidade do perfil, somado com o peso da pilha, o módulo sofria o empenamento.



FIGURA 13 • Módulo empenado durante o transporte



FIGURA 14 • Módulo empenado pelo armazenamento

Para o problema dos vidros que estavam quebrando, foram feitas melhorias na embalagem dos módulos. Inicialmente eram embalados apenas em plásticos, depois, foi adicionado às embalagens isopor ao longo das bordas do módulo, uma manta de isopor embalando o módulo por completo e adicionado madeiras nos locais onde as cintas de amarração passavam. As madeiras solucionaram dois problemas, o empenamento dos perfis e quebra dos vidros.

Outra interferência encontrada na execução da fachada é relativa a uma das vantagens explicitadas no sistema, que é a subida da fachada vis a vis o avanço físico da estrutura.

O sistema de EPC – Equipamento de Proteção Coletiva contra queda adotada para a torre consistia de uma bandeja primária, localizada no primeiro pavimento, telas de *nylon* do tipo mosquiteiro na periferia das lajes prontas, e para as lajes ainda em execução e desforma, SLQA – Sistemas Limitadores para Quedas em Altura, tudo de acordo com a NR 18 – Norma Regulamentadora das Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Mesmo contendo esses sistemas de proteção, foi constatada a queda de alguns resíduos sobre a fachada, gerando algumas patologias. Em vista dessa situação, foram criadas proteções de madeira que simulavam capacetes e serviam para a proteção dos módulos durante o processo de montagem da esquina, com a utilização do módulo com cerâmica foi verificada a colocação de cerâmicas trocadas na fachada. Houve situações, em que a equipe de montagem utilizou cerâmicas com cortes a 90° no local, onde era necessária a instalação da de 45°.



FIGURA 15 • Proteção dos módulos

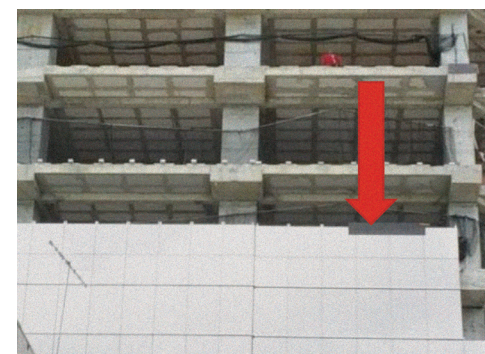


FIGURA 16 • Início da instalação dos capacetes

Com a quebra de alguns vidros durante o processo de instalação, a equipe seguia o serviço deixando o espaço do módulo vacante para ser instalado depois, porém, como os módulos são encaixados sob pressão, durante o processo de instalação do módulo faltante a equipe tinha dificuldades de instalar e, em alguns momentos, essas instalações não previstas geravam manifestações patológicas nas gaxetas em EPDM. As guarnições eram mordidas, ou até arrancadas pelo atrito dos perfis no momento da instalação.

Outra interferência que deve ser observada quando se opta por executar a fachada unitizada antes de finalizar a estrutura do edifício, é a existência da grua nas proximidades do prédio e seus braços de ancoragens.

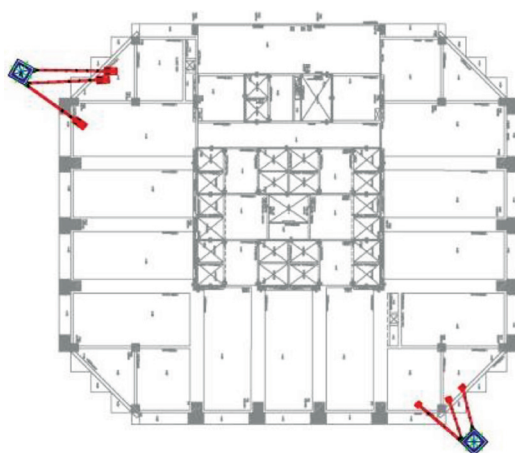


FIGURA 17 • Localização da grua nas esquinas do edifício.



FIGURA 18 • Corte do perfil de alumínio para passagem do braço da grua.

Devido à posição escolhida, os braços de ancoragem e suas patolas tiveram que ser alocadas nas esquinas. Foi feita a compatibilização com o projeto de locação dos módulos da fachada, com o objetivo de evitar, que o braço da grua passasse pelas ancoragens da fachada e, consequentemente, pelos montantes dos módulos.

Pôde ser observado, porém, que mesmo com a compatibilização dos projetos a locação das patolas variava também, de acordo com o momento do equilíbrio estático da grua. Por isso, em alguns pavimentos a compatibilização pôde ser executada, e em outros houve a necessidade de realocá-los.

Portanto, em alguns pavimentos a compatibilização com o projeto de fachada não foi totalmente atendida, uma vez que houve situação dos braços da grua passando pela ancoragem dos módulos da fachada. Com isso, o braço passava por cima do montante de alumínio, havendo a necessidade de cortá-lo e ancorá-lo novamente.

6 DIRETRIZES PARA PLANO DE PRODUÇÃO DE FACHADA UNITIZADA

Neste capítulo, serão apresentadas diretrizes para a elaboração de um plano de produção de uma Fachada Unitizada. O objetivo central dessas diretrizes é orientar a execução do plano de produção, para que ele seja detalhado de forma efetiva, de acordo com os aspectos estudados neste trabalho, visando investigar suas interferências e aumentar a qualidade final do produto.

A primeira ferramenta sugerida é a utilização de indicadores, por fornecer embasamento quantitativo a respeito das conformidades, durante o processo executivo do serviço. Para que o levantamento dos resultados provenientes desses indicadores forneçam informações relevantes, é necessário que a determinação dos indicadores seja feita em cima de embasamento teórico e prático, a fim de buscar um maior detalhamento das etapas do processo produtivo, evitando assim, informações passíveis de dúvidas. A obra estudada possuía parceria com uma empresa de consultoria que analisava esses aspectos de acordo com a NBR 10.821 – Esquadrias externas para Edificações e a NBR 15.575 – Norma de Desempenho. O segundo passo para a realização de um plano de produção efetivo é a compatibilização com os projetos que interferem diretamente no serviço a ser planejado.

Os exemplos de projetos que devem ser compatibilizados previamente, temos: projetos de mureta da periferia, paginação do piso, projetos de instalações e projetos de forro e estrutura. Todo e qualquer serviço, que tenha contato direto com a fachada deve ter seu projeto analisado e compatibilizado.

O terceiro passo tem por objetivo detalhar todas as etapas do serviço, a fim de prever possíveis interferências, e servir de insumo para um planejamento mais eficaz de acordo com o que foi obtido no estudo realizado, será exposto a seguir *check-list* simplificado que visa entender as etapas do processo de forma detalhada.

- Como será o transporte dos módulos da fábrica até a obra, suas proteções e quem serão os responsáveis?
- Como será o transporte vertical e horizontal dos módulos, onde e como eles devem ser armazenados no pavimento?
- Qual a velocidade de instalação pretendida versus a demanda de armazenamento?
- Quais serviços serão impactados com o armazenamento de módulos no pavimento?
- Quais são as necessidades para início de serviço de instalação?
- Quais serão as tolerâncias para garantir a qualidade do serviço na instalação das ancoragens, instalação dos módulos, armazenamento dos módulos etc. (ver com consultor)?
- Há a possibilidade de montar uma central de troca de vidros em obra para facilitar o reparo dos módulos, evitando o envio até a fábrica?

As questões levantadas nesse trabalho serão de suma importância para a equipe que irá executar o serviço, porém é necessário aprimorar e buscar outras questões, a fim de contribuir para um *check-list* mais detalhado, e cada vez mais completo. É aconselhável a participação de todos os envolvidos no processo de montagem da fachada, são eles: o fabricante, a montadora, a construtora e o consultor.

E por fim, para a execução do serviço, a elaboração de plantas bem detalhadas é imprescindível. O objetivo dessa planta é mostrar de forma objetiva o serviço, através

da utilização de desenhos técnicos, que serão executados em uma determinada área. Por isso, ela deve conter a identificação da área a serem instaladas, suas particularidades, identificação e posição dos módulos, plano de ataque e levantamento de materiais.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo aprofundar o entendimento acerca, do método construtivo de uma Fachada Unitizada, ilustrando toda a execução do serviço e as interferências ao longo do processo. Através do estudo realizado, foram apresentadas as principais conclusões obtidas.

O maior problema enfrentado pela equipe da produção foram aspectos relacionados à logística de entrega, proteção dos módulos e compatibilização com outros serviços. O acompanhamento de uma equipe capacitada no manuseio dos módulos, e responsável pelos cuidados no armazenamento foi imprescindível.

A sugestão de um plano de produção específico para a execução de Fachada Unitizada visa adequar o processo produtivo aos novos conceitos da Construção Civil, baseados na construção enxuta. É importante a adoção dessas ferramentas, em especial o *check-list*, para um melhor entendimento e gerenciamento de implantações de novas tecnologias em edificações, buscando atingir sempre a qualidade do serviço em menor prazo e menor custo. Focado em eliminar atividades que não agregam valor e alertar para possíveis gargalos futuros, o plano de produção ajuda também na mitigação das interferências e nas possíveis patologias provenientes do processo produtivo.

É proposto, que projetos futuros foquem na implementação do plano de produção, a fim de obter resultados quantitativos e qualitativos, a respeito da ferramenta, avaliando os indicadores em conjunto com o setor de qualidade e, se possível, analisando os custos com o setor financeiro.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARCHIEXPO. *Curtain wall (aluminum and glass)*. **ArchiExpo - The Online Architecture and Design Exhibition**, 2014. Disponível em: <<http://www.archiexpo.com/prod/feal-croatia-ltd/curtain-walls-aluminum-glass-57866-129597.html>>. Acesso em: 04 Abril 2014.

CARDOSO, A. B. **Esquadrias de Aluínio no Brasil**. 1ª. ed. São Paulo: ProEditores, v. I, 2004.

CORSINI, R. Módulos Rápidos. *Téchne*, 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/191/artigo288022-2.aspx>>. Acesso em: 12 Maio 2014.

FIGUEROLA, V. *Structural Glazing*. *Téchne*, 2005. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/96/artigo287363-1.aspx>>. Acesso em: 14 Abril 2014.

FINESTRA. Sistemas de Fachadas - **Desenvolvimento tecnológico marca a evolução do setor**. **FINESTRA**, São Paulo, n. 41, p. 52-57, Abr/Maio/Jun 2005.

REVISTA TECNOLOGIA E VIDRO. Passo a passo - Ed.3: Caixilharia para Vidraceiros (ParteII). **Revista Tecnologia e Vidro**, 2009. Disponível em: <<http://www.vidros.inf.br/passo-a-passo-ed3-caixilharia-para-vidraceiros-parteii>>. Acesso em: 01 Junho 2014.

ROSSO, S. Cortinas de Vidro. *Téchne*, 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/122/artigo286403-1.aspx>>. Acesso em: 14 Março 2014.

JÚNIOR, J. C. M. C. **Análise dos aspectos construtivos de uma Fachada Untizada de uma edificação**. UFBA. Salvador, p. 84. 2014. (.).

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO COM USO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

João Antônio Rosa dos Santos Carrilho ¹
Emerson de Andrade Marques Ferreira ²

Resumo

“Na maior parte dos setores econômicos, os avanços da tecnologia da informação proporcionaram formas efetivas de gerenciar os negócios das empresas, e assim, alcançar melhores níveis de desempenho. Diante desse cenário, a indústria da construção civil, frequentemente conhecida como conservadora com relação à adoção de novas tecnologias vem passando por mudanças significativas. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a aplicação da tecnologia da informação, com uso de dispositivos móveis para gestão da qualidade na construção civil visando otimizar a coleta, e processamento de dados da qualidade, uma vez que essas atividades exigem grande demanda de tempo e de recursos humanos, tornando o setor da qualidade burocrático, e pouco eficiente. Para atingir este objetivo foi desenvolvido um sistema, no qual os dados são coletados por um dispositivo móvel através do preenchimento de FVS (Fichas de Verificação de Serviços), e enviados em tempo real para um *website*, que se comunica com o dispositivo através de um aplicativo. No *website*, são gerados indicadores de desempenho apresentados em painéis de controle que auxiliam no planejamento de melhorias para os processos produtivos. As avaliações dos resultados obtidos apontaram as vantagens, limitações e potencialidades do sistema proposto e indicaram que o mesmo é viável, devido principalmente a sua versatilidade e adaptabilidade a qualquer realidade de empresa e/ou obra, e ao aumento da velocidade e da qualidade do fluxo das informações, contribuindo para a tomada de decisões.”

Palavras-chave » Tecnologia da Informação. Painéis de Controle. Gestão da Qualidade. Dispositivo Móvel.

¹ E-mail: joaoacarrilho@gmail.com.

² E-mail: ferreira.eam@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria da construção civil vem passando por mudanças significativas, geradas principalmente pelo desenvolvimento da sociedade, pelas inovações tecnológicas, e pelo crescente grau de competição existente entre as empresas. Visando aumentar seus níveis de desempenho, muitas empresas começaram a investir mais intensamente na gestão da qualidade e na tecnologia da informação.

A tecnologia da informação agiliza os processos das obras tornando-os menos burocráticos e mais dinâmicos. A gestão da qualidade, por sua vez, propicia um constante desenvolvimento dos índices de produtividade, fornecendo insumos para treinamento das equipes, diminuindo o número de retrabalhos e conduzindo a empresa a excelência na execução dos seus processos produtivos.

Neste contexto, o desenvolvimento e consolidação tanto da gestão da qualidade, como da tecnologia da informação passam a cumprir um papel fundamental na indústria da construção civil, pois agregam valor ao produto, tornando-o diferenciado dentre os demais.

Este trabalho se justifica principalmente, porque em uma obra, quando os gestores se deparam com fortes pressões externas no cumprimento de prazos e entrega de resultados, um dos primeiros setores a ser afetado é o setor da qualidade. Isso ocorre, porque, culturalmente, outros setores como o de produção, sempre foram considerados mais importantes. Além disso, o fato da grande demanda de tempo e de recursos humanos necessários para coletar os dados, processá-los, e por fim avaliar a execução dos serviços faz com que muitas vezes, o setor seja negligenciado.

Com isso, a ideia deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento de métodos mais eficientes para coleta e processamento de dados da qualidade, já que hoje em dia no Brasil grande parte das empresas utilizam métodos tradicionais, principalmente em papel, o que traz uma série de dificuldades como perdas de informações e lentidão na coleta e processamento dos dados, prejudicando a tomada de decisões.

2 GESTÃO DA QUALIDADE

2.1 Conceitos da qualidade

A qualidade é considerada universalmente como algo que, afeta a vida das organizações e das pessoas de uma forma positiva. Um serviço com qualidade vai ao encontro, ou se supera as expectativas de seus usuários.

Segundo, a NBR ISO 9000 (2000), qualidade é o “grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz os requisitos”. Segundo, (JURAN, 1992), qualidade é “adequação ao uso”. Analisando este conceito, pode-se afirmar também, que qualidade significa mudança. A empresa que pretende implementá-la, deve ter a vontade de mudar, caso contrário, perderá competitividade devido a sua defasagem perante ao mercado.

2.2 Controle da qualidade

Na busca de garantir a melhoria contínua dos processos de uma empresa, é que existem as ferramentas para o controle da qualidade. Segundo, (GITLOW, 1993), existem sete ferramentas para o controle da qualidade: diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto e histograma, ficha de verificação, gráfico de dispersão, fluxograma, carta de controle e estratificação.

Dentre elas, foram utilizadas neste trabalho, as seguintes ferramentas: o diagrama de Pareto, que permite determinar quais problemas resolver, e qual a prioridade, a ficha de verificação que consiste em um conjunto de itens que devem ser verificados em um processo, e o fluxograma, uma ferramenta bastante útil para auxiliar na visualização das etapas de um processo.

2.3 Indicadores de desempenho

Segundo, (BANDEIRA, 1997), medir o desempenho de fato, somente se justifica, quando existe o objetivo de aperfeiçoá-lo.

Não se pode controlar o que não se mede, da mesma forma que é impossível gerenciar o que não se controla, por isso, a importância dos indicadores. Contudo, é preciso interpretar esses indicadores, extraindo um retrato da atuação da empresa, e utilizando-os de fato como um apoio para a consecução do planejamento estratégico, no sentido de indicar se a organização está seguindo, ou não à trajetória previamente traçada.

Com o intuito de apresentar, estas e outras informações de maneira clara e organizada para que se possa ter uma visão holística do desempenho da organização, uma das soluções mais utilizadas são os painéis de controle e os *scorecards*.

2.4 Painel de controle e *scorecard*

O painel de controle ou *dashboard* é utilizado na apresentação de dados transformados em informações formatadas e organizadas, de acordo com necessidades específicas. Estas informações podem ser imagens, gráficos estáticos ou exibições de dados altamente interativas, possibilitando ao seu usuário classificar, filtrar, aumentar ou diminuir o nível de detalhamento dos dados (BARRETO, 2013). Dentre os tipos de informações que podem ser exibidas em um *dashboard*, estão os *scorecards*.

Um *scorecard* mede o desempenho em relação às metas. Geralmente, o mesmo exibe indicadores gráficos, que expressam visualmente o sucesso ou a falha geral de uma organização em seus esforços para atingir uma meta específica. (BARRETO, 2013)

Tais ferramentas estão ficando cada vez mais complexas e poderosas, graças à evolução e aprimoramento da tecnologia da informação.

3 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

3.1 Sistemas de informação

De acordo com (LAUDON; LAUDON, 2004), sistemas de informação podem ser definidos tecnicamente como um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informação com a finalidade de dar suporte à tomada de decisões e controle em uma organização.

No que se refere ao grau de sofisticação da tecnologia utilizada pelo sistema, (RICCIO, 2001) reforça, que quanto mais avançada for a tecnologia empregada pelo sistema, mais sofisticado ele se torna e, provavelmente, mais eficiente. O mesmo autor lembra ainda que a determinação dos níveis tecnológicos ideais para um sistema de informação é função de inúmeros fatores, tais como: Disponibilidade financeira, tipo de empresa, cultura interna, e principalmente da importância do sistema para a empresa.

Um dos tipos de sistemas de informação mais utilizados atualmente são os ERP (*Enterprise Resource Planning*).

3.2 Sistemas ERP

Os ERP têm sido, desde a década de 90, um dos principais focos de atenção da utilização da tecnologia da informação pelas organizações. Adquiridos na forma de pacotes comerciais de *softwares* utilizam uma base única de dados, que permite a integração, em tempo real, de todos os sistemas de informações transacionais, e dos processos de negócios da organização como um todo, e não apenas de departamentos isolados como nos pacotes tradicionais. Esses sistemas oferecem às organizações

a capacidade de modelar todo o panorama de informações, que possui e de integrá-lo de acordo com suas funções operacionais. (JAMIL, 2001).

Um dos *softwares* ERP disponível no mercado é o *Microsoft SharePoint*.

3.3 SharePoint

Segundo, a (MICROSOFT, 2013), o *SharePoint* é “um serviço baseado em nuvem para empresas de todos os portes”. Ele pode ser definido como uma ferramenta que auxilia na criação e manutenção de páginas *intranets* e *extranets* sem que haja a necessidade de um conhecimento aprofundado em programação. Outra característica importante é a possibilidade de sincronização e integração com diversos outros softwares da Microsoft como o Word, Excel, Outlook e OneDrive.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho teve seu método de pesquisa dividido em três etapas. Na primeira delas, foi feita uma revisão bibliográfica sobre a gestão da qualidade e a tecnologia da informação. Durante esta etapa, foram estudados alguns *softwares* que poderiam ser utilizados na etapa seguinte, e o escolhido foi o *Microsoft SharePoint*, por demonstrar possuir o maior potencial em atender as exigências do trabalho dentre os programas estudados.

Na segunda etapa foi criado um *website* desenvolvido especialmente para este trabalho, com seu conteúdo focado na coleta e processamento de dados da qualidade. A terceira etapa, por sua vez, consistiu na simulação da utilização desse sistema, através da inserção de dados arbitrários, e também dados coletados em uma obra da cidade de Salvador. O objetivo desta etapa foi o de testar e avaliar os recursos e a funcionalidade do sistema, bem como estabelecer procedimentos para coleta, processamento e auditoria desses dados.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Apresentação do sistema proposto

O sistema proposto neste trabalho, visa otimizar a coleta e processamento de dados da qualidade e funciona da seguinte forma:

- No *website* desenvolvido no *Microsoft SharePoint*, foram elaboradas FVS de três serviços: alvenaria, emboço e revestimento interno cerâmico. Através do aplicativo *SharePlus*, os dados são coletados por dispositivos móveis, que têm como sistema operacional o iOS;
- Quando for possível ter acesso à rede, esses dados são enviados para o website, ou seja, os dados podem ser coletados sem a necessidade de conexão com a internet;
- Através da sincronização desses dados com o Microsoft Excel, os gráficos gerados neste programa são exibidos em tempo real no website em painéis de controle específicos. Tais informações visam auxiliares, os gestores da obra na tomada de futuras decisões.

A Figura 1 apresenta de forma esquemática e simplificada esta estrutura.

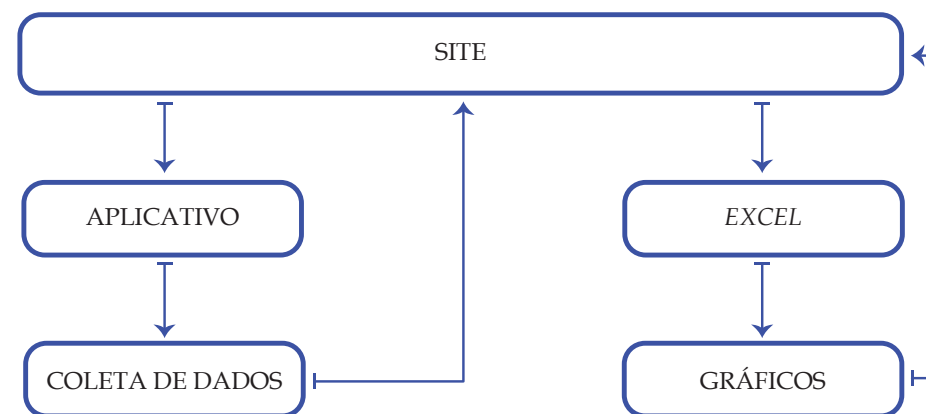


FIGURA 1 • Estrutura simplificada do sistema.

Os gráficos que seriam gerados foram definidos, após sugestões de engenheiros entrevistados durante o trabalho, e reuniões com o orientador. Os mesmos foram divididos em três níveis: empresa (nível 1), obra (nível 2) e setores da obra (nível 3). É importante destacar, que é possível restringir o acesso a essas informações somente a pessoas autorizadas, por exemplo, pode-se habilitar o acesso a todos os níveis somente para os diretores da empresa, enquanto as informações de cada obra podem ser habilitadas apenas para os engenheiros daquela obra. Outra informação interessante é que, a depender das necessidades dos gestores, outros gráficos além dos apresentados neste trabalho podem ser elaborados.

5.2 Simulação e avaliação de recursos e funcionalidade

Durante esta etapa, foram preenchidas arbitrariamente trinta FVS de cada serviço estudado neste trabalho, (alvenaria, emboço e revestimento interno cerâmico) com o objetivo de gerar maior variabilidade de dados. Além disso, também foram coletados dados em uma obra da cidade de Salvador, durante o mês de junho de 2014, visando utilizar o sistema em uma obra real e avaliar sua funcionalidade e praticidade durante a coleta de dados. Para distinguir melhor as FVS preenchidas arbitrariamente das FVS coletadas em campo, as primeiras farão parte da 'Obra A', e as coletadas em campo da 'Obra B'.

A partir dessa utilização foram testados recursos como: o armazenamento de dados, a sincronização entre o *Microsoft SharePoint* e o *Microsoft Excel*, a captura e armazenamento de fotos, a utilização de filtros, dentre outros.

A Figura 2 mostra a tela exibida no aplicativo durante o preenchimento de uma FVS e a Figura 3 a página inicial do *website* desenvolvido neste trabalho.

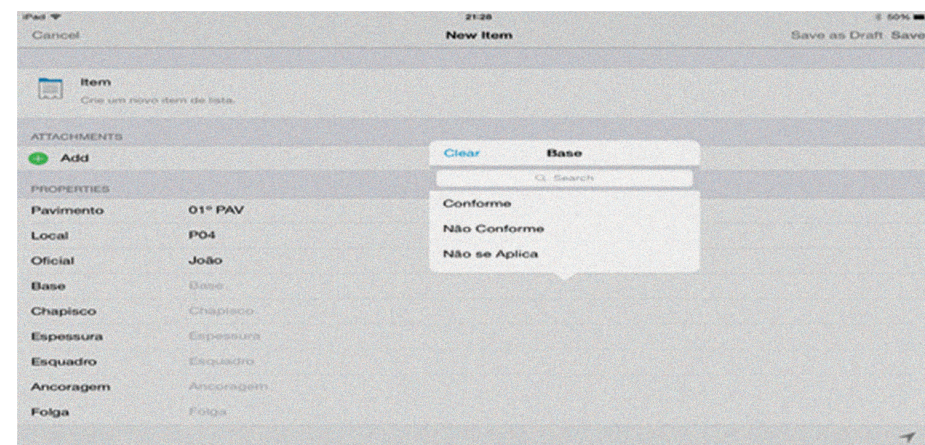


FIGURA 2 • Tela do aplicativo.



FIGURA 3 • Página inicial do *website*.

A seguir serão mostrados os gráficos elaborados neste trabalho, e suas respectivas análises.

Os gráficos do nível 3, referem-se aos serviços executados em cada setor da obra. Para otimizar a demonstração das análises, que podem ser feitas, a partir da interpretação dessas informações, que serão apresentados apenas os gráficos gerados após a inserção arbitrária dos dados nas FVS de alvenaria, uma vez que todos os serviços possuem os mesmos gráficos, e que os dados coletados em campo tiveram uma variabilidade menor, o que prejudicaria esta avaliação.

5.2.1 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES POR CRITÉRIO - ALVENARIA (PARETO)

O objetivo deste gráfico é ordenar as não conformidades em ordem decrescente de ocorrência, e mostrar o percentual acumulado dessas ocorrências. Neste exemplo, é possível perceber que os critérios 'Meio Ambiente', 'Chapisco', 'Base', 'Terminalidade' e 'Transpasse' correspondem a 50% de todas as não conformidades do serviço de alvenaria, com isso, treinamentos e campanhas de conscientização para a execução desses critérios com mais atenção tendem a trazer melhorias mais significativas na qualidade deste serviço.

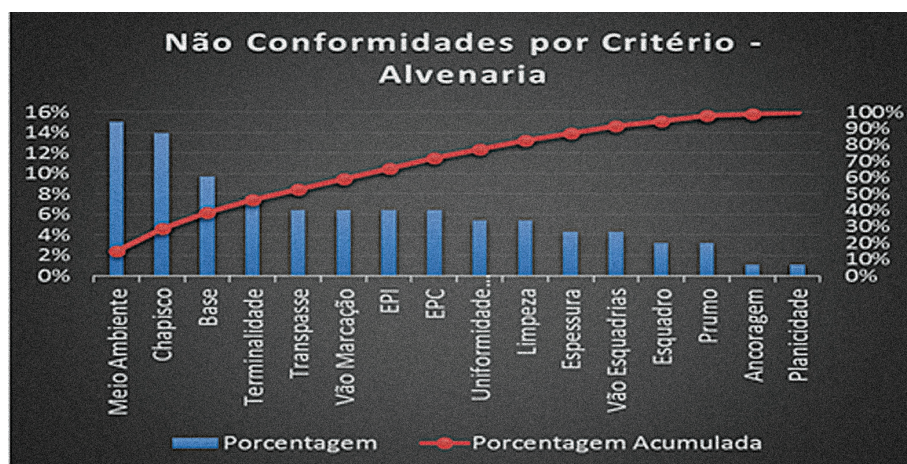


FIGURA 4 • Gráfico de não conformidades por critério (Pareto).

5.2.2 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES POR PAVIMENTO

Este gráfico é especialmente útil em obras com pavimentos tipo, e seu objetivo é avaliar se ao longo dos pavimentos as não conformidades estão diminuindo, evidenciando assim, o efeito aprendizagem. Neste exemplo, é possível verificar que este efeito está ocorrendo, uma vez que as não conformidades estão diminuindo, a medida, em que se avança para os pavimentos mais altos.

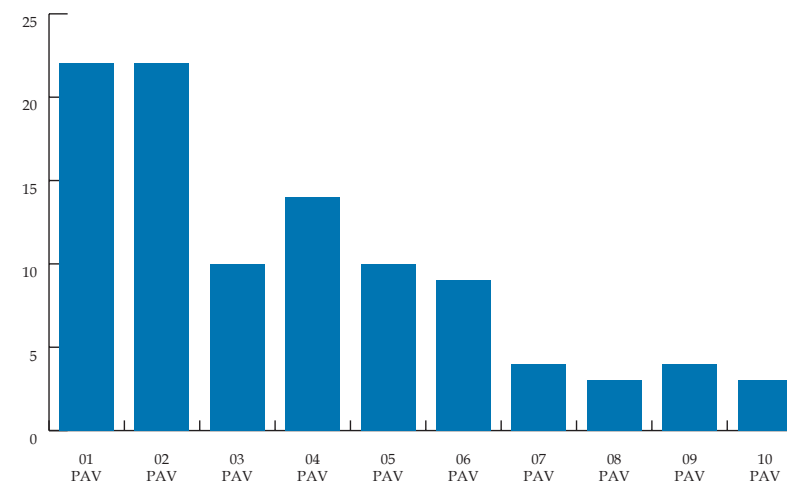


FIGURA 5 • Gráfico de não conformidades por pavimento.

5.2.3 GRÁFICO DE CONFORMIDADES X NÃO CONFORMIDADES POR OFICIAL

O objetivo deste gráfico é apresentar o desempenho de cada oficial na execução do serviço, mostrando o percentual de conformidades, e não conformidades de cada um. Em uma obra pequena, pode-se analisar o desempenho de cada profissional (pedreiro, carpinteiro, etc.), porém em uma obra muito grande pode ser mais interessante avaliar o desempenho dos líderes da produção (mestres, encarregados, cabos de turma). A estrutura do sistema pode ser facilmente adaptada a qualquer uma das situações citadas.

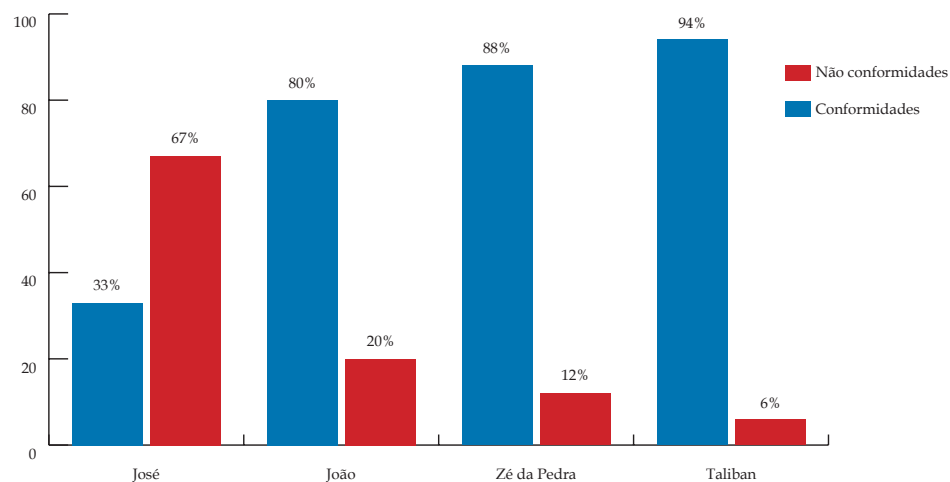


FIGURA 6 • Gráfico de conformidades x não conformidades por oficial.

Neste exemplo, ao se analisar o gráfico acima, podemos constatar rapidamente que o oficial José possui o pior desempenho na execução de suas atividades. Essa informação é bastante interessante, uma vez que através dela é possível investigar, qual o motivo para o baixo desempenho dos oficiais, e com isso tomar a melhor decisão em relação a essa situação.

5.2.4 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES POR PERÍODO

O objetivo deste gráfico é apresentar percentualmente, as não conformidades ao longo de um determinado período. Sendo assim, é possível identificar se as medidas que possivelmente foram tomadas para melhorar a qualidade na execução do serviço estão obtendo o resultado desejado.

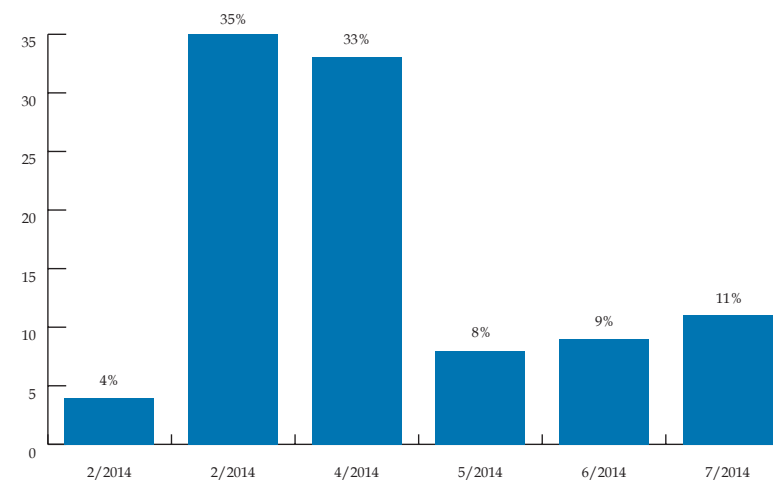


FIGURA 7 • Gráfico de não conformidades por período.

Os gráficos do nível 2, ou nível obra, englobam todos os setores da obra. Como os dados coletados em campo, que apresentaram uma variabilidade menor, o que prejudicaria esta avaliação, sendo apresentados os gráficos obtidos após a inserção dos dados nas FVS da 'Obra A'.

5.2.5 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES RELATIVAS POR SERVIÇO

O objetivo deste gráfico é comparar percentualmente as não conformidades dos serviços de toda a obra. Como o número de FVS preenchidas em cada serviço pode ser diferente, os percentuais representam o total de não conformidades em relação ao total critérios avaliados em cada serviço, com isso, a análise das informações não é prejudicada.

Neste exemplo, pode-se verificar que o serviço que está com o melhor desempenho em relação à execução dos seus critérios, com qualidade é o serviço de alvenaria, a partir daí pode-se analisar quais são as causas do baixo desempenho dos demais serviços, se estão relacionadas a um problema de logística, a profissionais pouco qualificados, etc. Uma ferramenta importante que pode ser usada neste momento é o diagrama de causa e efeito.

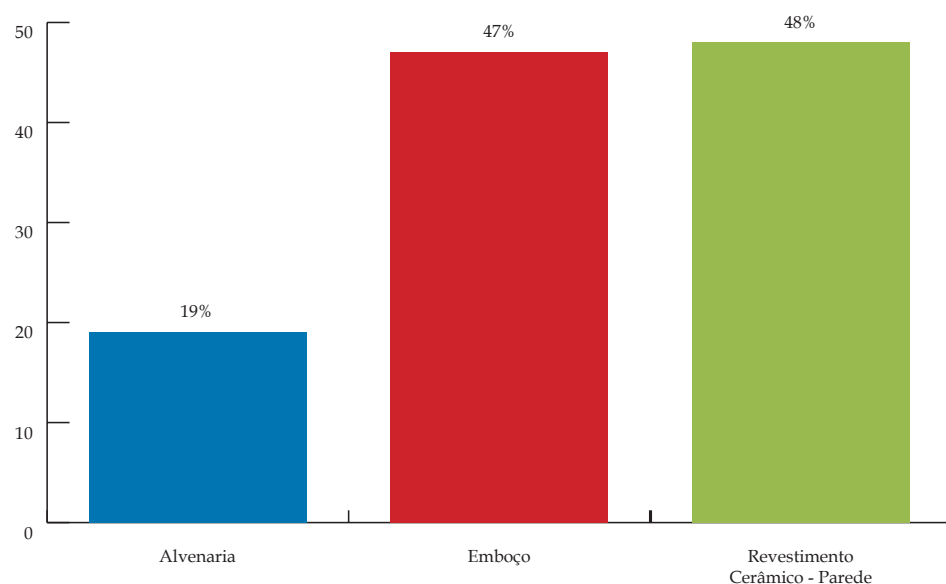


FIGURA 8 • Gráfico de não conformidades relativas por serviço.

5.2.6 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES RELATIVAS POR SETOR

O objetivo deste gráfico é comparar percentualmente as não conformidades de todos os serviços em cada setor da obra. Como o número de FVS preenchidas em cada setor pode ser diferente, os percentuais representam o total de não conformidades em relação ao total de critérios avaliados, em cada setor, com isso, a análise das informações não é prejudicada.

Neste exemplo, pode-se perceber que o setor 2 possui um desempenho melhor que os outros dois setores, com base nesta informação, pode-se investigar o que está acontecendo em relação as práticas executadas em cada setor, uma vez que o esperado é que o desempenho de cada setor seja similar.

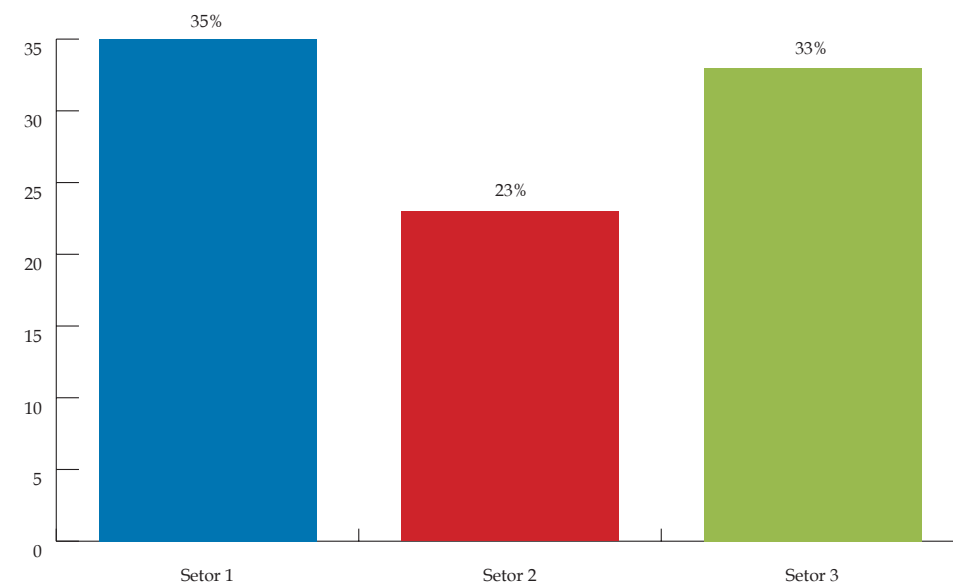


FIGURA 9 • Gráfico de não conformidades relativas por setor.

O gráfico do nível 1, ou nível empresa, tem como objetivo comparar o desempenho entre as obras da organização, verificando se existe uma uniformidade nesse desempenho. Outra função importante é analisar, se as práticas adotadas em uma obra tiveram mais resultados positivos, que as adotadas em outra, e assim procurar institucionalizar essas boas práticas para que passem a ser realizadas em todas as obras da organização.

5.2.7 GRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES RELATIVAS POR SERVIÇO

Analisando o gráfico abaixo pode-se perceber facilmente que neste exemplo a 'Obra B' possui um desempenho bem melhor que a 'Obra A'.

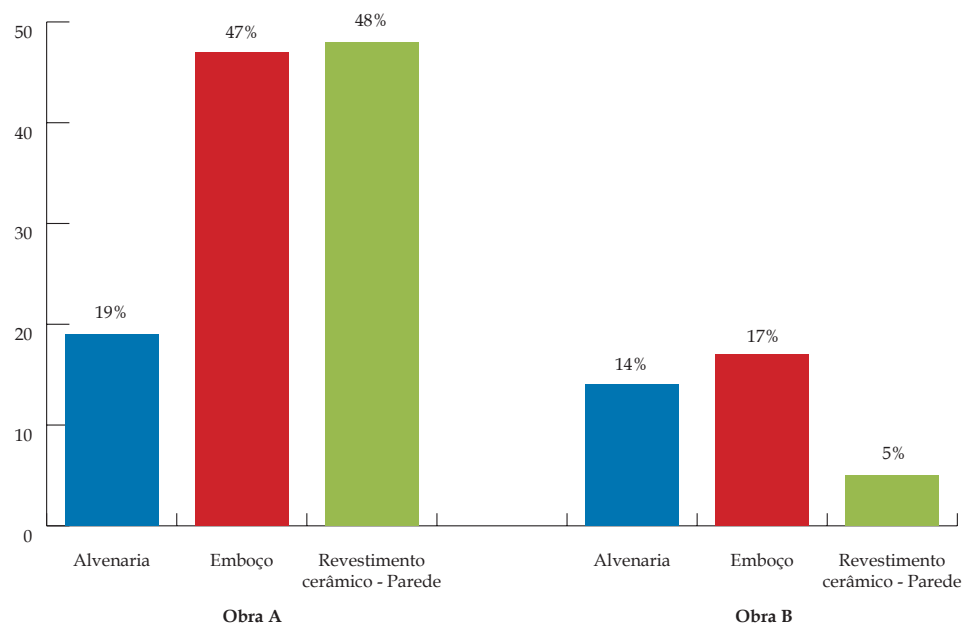


FIGURA 10 • Gráfico de não conformidades relativas por serviço - Empresa.

5.3 Procedimentos de coleta, processamento e auditoria.

Nesta etapa foram definidos como devem ocorrer os procedimentos de coleta, processamento e auditoria dos dados das FVS.

5.3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS

O procedimento de coleta dos dados engloba as fases de inspeções, e reinspeções, que podem ocorrer devido a presença de não conformidades. A Figura 11 apresenta o fluxograma deste procedimento.

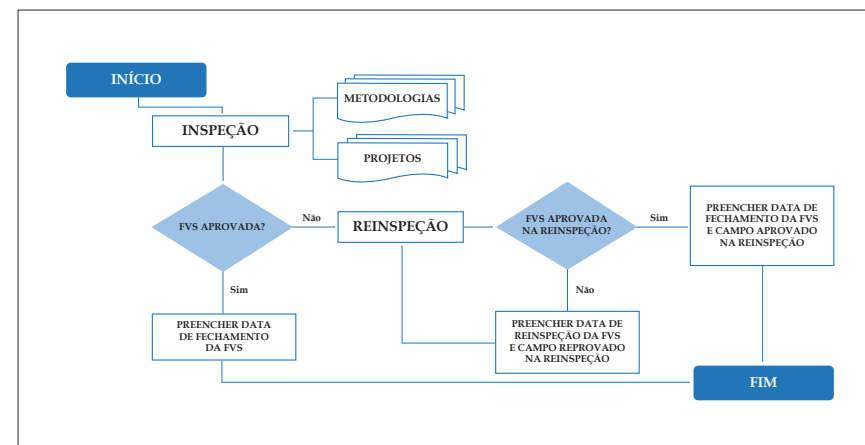


FIGURA 11 • Fluxograma do procedimento de coleta dos dados.

Para auxiliar na avaliação dos critérios, o usuário pode, dentro do próprio aplicativo, acessar metodologias de como inspecionar os serviços (tolerâncias, métodos de verificação, etc.). Além disso, o usuário também pode acessar os projetos da obra armazenados no *website* através do AutoCAD 360, por exemplo, sanando assim, possíveis dúvidas que possam surgir.

Caso existam critérios não conformes, devem-se relatar os comentários e sugestões pertinentes no campo 'Observações'. Existe também a possibilidade de tirar fotos do local inspecionado.

5.3.2 PROCEDIMENTO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS

Com o fim do procedimento de coleta dos dados, tem início o seu processamento. Quando for possível ter acesso à internet, os dados devem ser sincronizados com o website, atualizando assim, as informações do sistema. Depois bastam sincronizar a planilha que contém os gráficos, com esses novos dados, e assim os gráficos serão atualizados automaticamente. A Figura 12 mostra, o fluxograma deste procedimento.

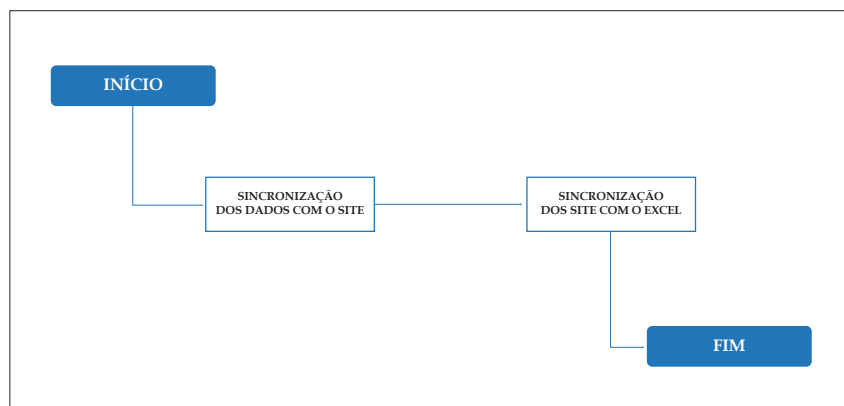


FIGURA 12 • Fluxograma do procedimento de processamento dos dados.

5.3.3 PROCEDIMENTO DE AUDITORIA

A função da auditoria é verificar se os dados estão sendo coletados da maneira correta, ou seja, avaliar se o responsável ou equipe responsável pela coleta estão bem treinados, validando os dados coletados. A ideia é que o responsável pelo setor de qualidade da obra realize as auditorias. Para isso, ele deverá selecionar uma amostragem que considerar adequada de FVS e checar, em campo, se ela foi preenchida corretamente. A Figura 13 mostra, o fluxograma simplificado deste procedimento.

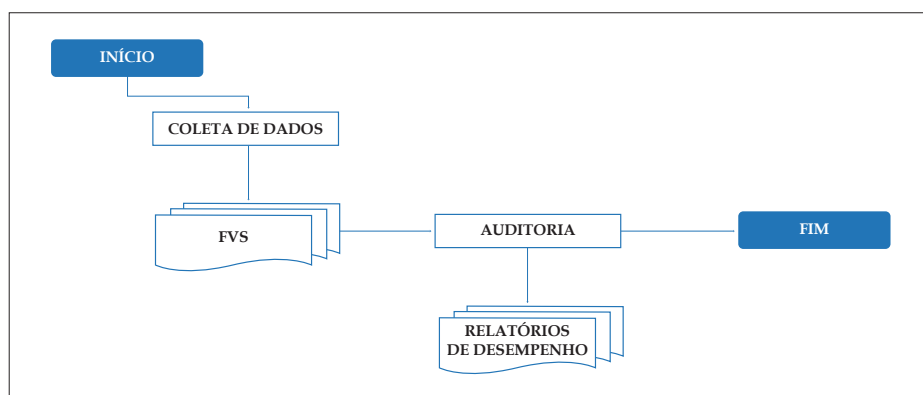


FIGURA 13 • Fluxograma do procedimento de auditoria dos dados.

A partir das auditorias, relatórios podem ser gerados, e através deles, os gestores da obra podem concluir se os dados das FVS são confiáveis, e se os responsáveis ou equipe responsáveis pela coleta estão bem treinados. Caso o relatório aponte, que muitos erros estão sendo cometidos na avaliação dos critérios, revisões nas metodologias de inspeções e treinamentos podem ser realizados, com o objetivo de guiar o processo rumo a excelência.

5.4 Discussão dos resultados

A avaliação do sistema proposto neste trabalho foi realizada com base nos seguintes critérios:

I) Fluxo de informações

A utilização do sistema proposto agilizou o fluxo de informações dentro da obra, possibilitando, que decisões sejam tomadas mais rapidamente na resolução de possíveis problemas encontrados. Além disso, devido ao processamento automático dos dados coletados, informações atualizadas chegam quase que simultaneamente aos gestores, que podem visualizá-las mesmo não estando na obra.

II) Aplicabilidade

Pode-se concluir que o sistema proposto neste trabalho é bastante aplicável, devido principalmente a sua versatilidade e adaptabilidade, uma vez que a estrutura e o conteúdo do sistema podem ser facilmente alterados para a realidade das empresas e/ou obras. Outra característica importante é a possibilidade de coletar os dados *offline*, recurso muito interessante, principalmente em obras mais afastadas dos grandes centros urbanos.

III) Investimento

O custo do dispositivo utilizado neste trabalho é um dos mais altos, quando comparado a outros do mercado, porém o aplicativo *SharePlus*, também está disponível para o sistema operacional *Android*, que possui dispositivos com preços mais acessíveis. Além disso, o sistema proposto neste trabalho possui um valor de assinatura mensal até doze vezes menor quando comparado a outros sistemas com recursos semelhantes como o *Autodoc* e o *Mobuss*. É importante destacar também, que o tempo necessário para coletar e processar os dados é muito mais baixo em comparação com o método tradicional, o que possibilita que uma menor quantidade de pessoas esteja envolvida nesse processo, aumentando sua eficiência e reduzindo os custos.

IV) Armazenamento e Backup

Todas as informações são armazenadas virtualmente, o que evita o acúmulo de papéis. Contudo, a busca por determinadas informações torna-se muito mais fácil e dinâmica em comparação com o método tradicional, onde as fichas são armazenadas em arquivos físicos que, mal organizados, podem dificultar este processo. Apesar de todos os dados ficarem armazenados na “nuvem”, eles não estão cem por cento seguros, por isso a importância de realizar o *backup* dos dados. É possível realizá-lo em discos externos, em outra nuvem, e também em *desktops*, assegurando dessa forma, a integridade dos dados.

V) Inspeções

Devido à praticidade inerente ao uso de dispositivos móveis, foi possível perceber um aumento na velocidade da coleta dos dados em comparação com o método tradicional. Dessa forma, a possibilidade de acessar os projetos no próprio dispositivo, evita que projetos antigos sejam utilizados, pois os projetos mais atuais podem ser carregados no aplicativo antes das inspeções. Em contrapartida, durante a utilização do sistema em campo, verificou-se que em locais abertos a visualização da tela fica prejudicada, fazendo com que o usuário tenha um pouco mais de dificuldade para realizar a inspeção, porém nada que atrapalhe significativamente o preenchimento das FVS.

VI) Visão Sistêmica

Os dados coletados no método tradicional não são vistos de maneira ampla, o que normalmente ocorre é a análise quase que individual das FVS, e seu

posterior armazenamento. A compilação dos dados no método tradicional exige bastante trabalho braçal para digitalizar as FVS, e posteriormente trabalhar suas informações, o que demanda tempo e consequentemente custos. O sistema proposto neste trabalho permite, que se tenha uma visão sistêmica da qualidade através dos gráficos que são exibidos no *website*. Embora, o sistema também possibilita a visualização destas informações no nível empresa, com isso os gestores podem comparar o desempenho de diferentes obras de uma mesma organização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos critérios descritos no item anterior, pode-se concluir que a aplicação da tecnologia da informação com uso de dispositivos móveis para a gestão da qualidade na construção civil é bastante viável e vantajosa. A possibilidade do trabalho colaborativo que a tecnologia da informação oferece é muito importante para reduzir o retrabalho, aumentar o fluxo, e qualidade das informações entre os setores, auxiliar na tomada de decisões e consequentemente desenvolver um produto de maior qualidade.

Recomenda-se para estudos futuros a utilização da tecnologia da informação para os setores de planejamento e produção, uma vez que a realização deste trabalho foi visualizado com um enorme potencial de melhorias, para alguns processos desses setores.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 9000: **Sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro, 2000a.

BANDEIRA, A.A. **Rede de indicadores de desempenho para gestão de uma hidrelétrica**. 1997. 210 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BARRETO, T. *Dashboards e Scorecards*. Disponível em: <[http:// http://tatibarreto.wordpress.com/category/modelagem-de-processos-de-negocio/](http://http://tatibarreto.wordpress.com/category/modelagem-de-processos-de-negocio/)>. Acesso em: 23 abr. 2014.

GITLOW, H.S. **Planejando a qualidade, a produtividade e a competitividade**. Tradução Mauro Paganotti. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1993. 190 p.

JAMIL, G.L. **Repensando a TI na empresa moderna: atualizando a gestão com a tecnologia da informação**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001. 547 p.

JURAN, J.M. **A qualidade desde o projeto: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. Pioneira, São Paulo, 1992.

LAUDON, K.C.; LAUDON, J.P. *Management information systems: managing the digital firm*. 8th ed. New Jersey: Pearson, Prentice Hall, 2004a.

MICROSOFT. **O que é SharePoint?** Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/O-que-é-o-SharePoint-97b915e6-651b-43b2-827d-fb25777f446f?ui=pt-BR&rs=pt-BR&ad=BR>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

RICCIO, E.L. **Efeitos da tecnologia da informação na contabilidade – estudo de casos de implementação de sistemas empresariais integrados - ERP**. 2001. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ANÁLISE DOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO

Roseneia Rodrigues Santos de Melo ¹
Dayana Bastos Costa ²

Resumo

“O crescimento da construção civil brasileira, e a alta competitividade enfrentada pelo setor tem levado as empresas, a buscar e gerenciar de forma mais eficiente seus recursos, a fim de assegurar sua posição no mercado. Diante do contexto atual, diversos autores têm procurado compreender os fatores que afetam a produtividade, e, a partir de então, tentar propor práticas que proporcionem uma utilização eficiente da mão de obra. As ineficiências dos processos têm sido comumente associadas à baixa qualidade da mão de obra, entretanto, observa-se que essas causas podem ser justificadas pela deficiência nos processos de Gestão. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é contribuir com uma análise de dados comparativos, acerca da eficiência da produção e da produtividade para os processos construtivos forma e armadura, tanto de estrutura convencional, como de paredes de concreto. Para tanto, foram realizados levantamentos dos indicadores nas obras através da parceria com a Comunidade da Construção da Bahia, onde foi criado um grupo de *Benchmarking* com as empresas visando selecionar e implantar indicadores de produtividade, para processos construtivos à base de cimento, bem como trocar boas práticas. Com base nos dados, constatou-se por meio do cálculo de Eficiência da Produção, uma elevada ociosidade nos processos de forma e armação em ambos os processos estruturais analisados. Os resultados encontrados busca dar suporte na tomada de decisões, tornando-as mais precisas, a fim de equiparar a capacidade de produção disponível com a necessidade para cada serviço.”

Palavras-chave » Indicadores de Produtividade. Capacidade de Produção. Eficiência da Produção.

¹ E-mail: roose_engcivil@hotmail.com.

² E-mail: dayanabcosta@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da construção civil brasileira tem refletido em avanços econômicos e sociais importantes. (FORMOSO et al., 1999) confirmam que, o crescente grau de competição entre as empresas da indústria da construção civil no país vem exigindo mudanças substanciais na gestão de seus empreendimentos.

Para (LIM; ALUM, 1995), o setor da construção civil é visto como um setor de baixa produtividade, devido à baixa tecnologia utilizada nos processos construtivos, e pela falta de qualificação da mão de obra.

A produtividade nos processos construtivos ainda é um tema muito pesquisado pela comunidade acadêmica e, com isso, a necessidade de investigar os fatores que levam a variabilidade da produtividade, a fim de buscar melhores indicadores (YEUNG et al., 2013).

A partir da implementação do processo de medição de desempenho busca-se medir o desempenho dos processos, a fim de justificar as anormalidades, além da possibilidade de utilização dos dados para tomadas de decisões (COSTA, 2003). Desse modo, os indicadores de desempenho são vistos como parte integrante do ciclo de controle estratégico, ajudando os gerentes a identificar o seu desempenho, explicitar os *tradeoffs* entre lucro e investimento e, por fim, ajudar a reconhecer e intervir em casos de crise nos negócios (NEELY et al., 1994).

Para (PROVERBS et al., 1998), os índices de produtividade estão entre os dados mais importantes na indústria da construção, tendo entre suas aplicações planejamento, programações e controle de custos. Segundo o referido autor, muitas empresas construtoras têm realizado um banco de dados com os índices de produtividade de cada tarefa, sendo estes, ajustados e recalculados para cada novo projeto, levando em consideração as condições específicas do local que poderiam impactar na produtividade.

Os índices de produtividade são essenciais para dimensionar equipes, realizar o planejamento e acompanhar o custo da obra. No entanto, com a baixa produtividade e a grande variação do fluxo de trabalho, os índices utilizados para o planejamento e controle do custo, nem sempre condizem com os índices encontrados em campo. Segundo, (CHRISTIAN et al., 1995) apud (PROVERBS et al. 1998), essas diferenças são causadas principalmente pela espera e tempos ociosos, resultado de uma gestão imprópria ou inadequada.

(BALLARD et al., 1998) concentra sua atenção no planejamento e controle como ferramenta para melhorar a confiabilidade do fluxo de trabalho. (THOMAS, 2003), também corrobora com esta afirmação e argumenta que confiabilidade diz respeito, a um estado de consistência, confiabilidade e previsibilidade, ou seja, melhorar a confiabilidade gera um fluxo mais consistente, confiável e previsível. A fim de buscar as causas da baixa produtividade e reduzir a variabilidade enfrentada pelo setor, o *Benchmarking* tornou-se uma importante função de pesquisa no mercado nacional e global da construção (ABDEL-RAZEK et al., 2007).

O objetivo deste artigo é contribuir com uma análise de dados comparativos, acerca da eficiência da produção e da produtividade para os processos construtivos, de forma e armadura, tanto de estrutura convencional como de paredes de concreto.

Este trabalho faz parte do Projeto de Indicadores da Comunidade da Construção, cuja finalidade foi desenvolver e implantar um sistema de indicadores de produtividade e perdas para processos construtivos à base de cimento, por meio da mobilização do setor e a criação de um Clube de *Benchmarking*. No total, 12 obras participaram dos dois ciclos do projeto que ocorreram em 2011-2012 e 2013-2014, com a coleta de 17 indicadores focados em produtividade e perdas de processos construtivos, totalizando o levantamento de 881 resultados. A base de dados conta com indicadores de produtividade para estrutura convencional (forma, armadura e concretagem), perdas de concretagem, produtividade do sistema estrutural de paredes de concreto (forma, armadura e concretagem), produtividade de alvenaria de vedação com bloco de concreto e cerâmico e produtividade de revestimento de argamassa aplicado manualmente, ou por projeção. Dois outros trabalhos de conclusão de curso foram desenvolvidos, a partir deste projeto, quais sejam (GUIMARÃES, 2012) e (TORRES, 2014).

2 ESTUDOS SOBRE PRODUTIVIDADE

Apesar dos avanços tecnológicos, abundância de materiais de construção, ferramentas e meios financeiros disponíveis de empreiteiros locais, os custos de construção estão constantemente em ascensão e a duração de conclusão dos projetos aumenta substancialmente (JARKAS et al., 2012).

Dentro do contexto mundial, as causas da baixa produtividade enfrentada pelo setor têm gerado estudos recentes em diversos países como: Nova Zelândia (FUEMANA et al., 2013); Kuwait (JARKAS et al., 2012); Egito (ABDEL-RAZEK et al., 2007); Estados Unidos (LIU et al., 2011) e Brasil (ARAÚJO, 2000; GUIMARÃES, 2012; PINHO, 2012; TORRES, 2014). Para (FUEMANA et al, 2013) apud (TASKFORCE, 2009), os seis fatores chave que afetam a produtividade na Nova Zelândia são apresentados a seguir.

a) Inovação: os métodos de construção tendem a ser relativamente tradicionais, com pouca inovação, ou o uso de novos métodos.

b) Regulações: é visto como limitador da atividade de construção, aumentando os custos e sufocando a inovação.

c) Capacidade de gestão: poucas empresas são capazes de investir em gestão e desenvolvimento de liderança. Além disso, as empresas têm dificuldade em encontrar gestores qualificados, sendo forçadas a formar seus próprios gerentes, por meio de experiência de trabalho.

d) Habilidades: o crescimento econômico acarretou no aumento dos trabalhadores não qualificados para o setor, atingindo baixos níveis de aprendizagem.

e) Alta rotatividade de trabalho: ocorre devido à dificuldade encontrada pelo setor em mostrar aos trabalhadores uma continuidade de carreira ou ver as vantagens no desenvolvimento do comércio e competências profissionais.

f) Prática sobre contratos: o método de contratação amplamente utilizado na indústria da Nova Zelândia é o tradicional menor preço. O conceito de valor, em oposição ao custo, é pouco compreendido, e o risco de alocação é gerido, exigindo contratos com preço fixo, em vez de práticas de gestão mais sustentáveis.

Segundo, (JARKAS et al, 2012) analisa em seu trabalho 45 fatores que afetam a produtividade, classificando estes fatores em (a) tecnologia, (b) pessoas, (c) gestão e (d) fatores externos. De acordo com o levantamento realizado com empreiteiros, estes grupos de fatores têm importância de 70,69%, 60,54%, 54,91% e 54,05%, respectivamente.

(JARKAS et al, 2012) identifica ainda em seu trabalho 10 fatores mais impactantes sobre a produtividade da mão de mão, e dentre eles, cinco são de caráter gerencial (falta de supervisão de trabalho, proporção de trabalho subcontratado, falta de incentivos, falta de liderança, inspeção rigorosa), como pode ser observado na lista a seguir:

- a)** clareza das especificações técnicas;
- b)** mudança durante a execução;
- c)** nível de coordenação entre as disciplinas de projeto;
- d)** falta de supervisão de trabalho;
- e)** proporção de trabalho subcontratado;
- f)** nível de complexidade do projeto;
- g)** falta de sistema de incentivos;
- h)** falta de liderança do gerente de construção;
- i)** inspeção rigorosa pelo engenheiro;
- j)** demora nas respostas de pedidos de informação.

De acordo com (JARKAS et al, 2012), a supervisão direta do trabalho é necessária para evitar falhas e não conformidades, assim, minimizar retrabalho e os atrasos associados às atividades da mão de obra. Além dos quatro fatores mencionados anteriormente, outros fatores de gestão não foram considerados relevantes para a variação da produtividade, como local inadequado para armazenamento de materiais, horas extras, tamanho e composição da equipe, planejamento irrealista e expectativa de desempenho, interferência entre as atividades e escassez de materiais (JARKAS et al., 2012).

Os fatores identificados na Nova Zelândia e os dados apresentados pelo estudo de Jarkas et al. (2012), mostram que boa parte dos fatores identificados se aplicam no contexto brasileiro. Além disso, estes estudos mostram o impacto da falta do planejamento e controle da produção sobre a produtividade. Assim, apesar dos avanços tecnológicos, percebe-se que a indústria da construção, ainda precisa de investimento e aprimoramento em técnicas de gestão.

O estudo de (ARAÚJO, 2000) realizado em São Paulo retrata a produtividade nos processos de estrutura, destacando-se forma, armadura e concretagem. Este estudo focou ainda, nos fatores que potencialmente influenciam na produtividade destes processos, buscando evidenciar ainda os pontos de melhorias.

O estudo de (GUIMARÃES, 2012), e o estudo de (PINHO, 2012) foram desenvolvidos no âmbito da Comunidade da Construção de Salvador e de Recife, respectivamente, a partir de uma coleta padronizada de dados nestas duas cidades. A motivação deste trabalho foi avaliar a produtividade das obras em processos construtivos a base de cimento em um contexto brasileiro modificado pelo crescimento significativo do setor da construção

no período de 2008 a 2012, e que sofreu grande impacto na produtividade das obras, devido à contratação de mão de obra pouco qualificada, falta de material e pouca adoção de práticas de gestão, devido à expansão ocorrida. Os dados do estudo de (GUIMARÃES, 2012) contemplam a base de dados de indicadores de produtividade apresentados no presente artigo, referente processo de estrutura convencional (pilar, viga e laje) nos serviços de armação, forma e concretagem em três dos empreendimentos de edificações residenciais.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada neste trabalho consistiu em um levantamento de dados da base dos indicadores de produtividade de estrutura convencional, e paredes de concreto do Projeto de Indicadores da Comunidade da Construção. A metodologia utilizada para a realização deste artigo foi dividida em três partes: (a) coleta dos dados, (b) definição dos indicadores a serem analisados; e (c) a análise e discussão dos resultados.

3.1 Coleta de Dados

A coleta dos indicadores de produtividade em estrutura convencional ocorreu em 9 obras para o serviço de forma, e 8 obras para o serviço de armação, sendo todas situadas na cidade de Salvador - Bahia. Dentro da variabilidade amostral foi possível observar que algumas características são predominantes nas obras de estrutura convencional estudada, como: o tipo de empreendimento, sendo 100% empreendimentos residenciais; quanto à tipologia estrutural, 62,5% dos empreendimentos possuem estrutura reticulada vigada; para o processo de forma, as obras utilizaram peças constituídas por chapas de compensado plastificado, ou resinado e sistema de escoramento e reescoramento formado por torres metálicas, 77% das obras utilizavam mão de obra terceirizada para a execução das formas; para o processo de armação, todas as obras utilizavam o serviço de pré-montagem dos elementos (pilar, viga e laje) e 75% das obras utilizavam mão de obra terceirizada para a execução do processo de armação.

A coleta dos indicadores de produtividade em estrutura em parede de concreto ocorreu em 2 obras, sendo elas situadas na cidade de Salvador localizada no estado da Bahia. Ambos empreendimentos eram do tipo residencial, no entanto, o empreendimento E.11 era considerado de padrão econômico, e o empreendimento E.12 era considerado Padrão “Minha Casa, Minha Vida” (na faixa 0 – 3 salários mínimos). Em seu processo construtivo, ambos os empreendimentos utilizavam forma de alumínio, com sistema de escoramento e reescoramento formado por torres metálicas, e telas de aço soldadas para paredes e lajes. A obra E.11 utilizava mão de obra própria para os serviços de forma e armação, enquanto a obra E.12 utilizava mão de obra própria apenas para o serviço de armação.

3.2 Indicadores Adotados

Neste trabalho, a produtividade foi medida por meio do indicador RAZÃO UNITÁRIA DE PRODUÇÃO (RUP), que expressa a relação de Homens Hora por Quantidade de Serviço para um período de duração de um pavimento tipo, conforme Eq. 1.

$$RUP = \frac{Hh}{Qs}$$

Onde, H = mão de obra direta vinculada ao processo que se está calculando produtividade.

» **h** = hora efetivamente trabalhada de mão de obra direta.

» **Qs** = quantidade de serviço para qual se está calculando a RUP.

Em relação à análise dos resultados obtidos, quanto menor o valor da RUP mais eficiente é o processo de produção.

O estudo da capacidade da produção do processo teve como objetivo identificar a quantidade de serviço que poderia ter sido realizado pela equipe do processo construtivo (forma ou armação), em função da média do número de trabalhadores disponível (por função), e do tempo de ciclo médio para realização.

Como foi considerado o tempo de ciclo médio de realização da tarefa, e a média do número de trabalhadores para aquele serviço, entende-se que estão sendo consideradas algumas perdas inerentes ao processo, tais como: Transportes, inspeção, preparação

da atividade e, portanto, esta capacidade pode ser entendida como efetiva do processo, a Eq. 2 representa o cálculo da capacidade de produção adotada.

$$\text{Capacidade da Produção} = \frac{\sum Hh_{\text{disponíveis}} \times \sum Qs}{\sum Hh_{\text{Trabalhadas}}}$$

Onde, Hh disponíveis = Horas homens disponíveis para a realização do serviço.

» **Qs** = Quantidade de serviço, para a qual está se calculando a Capacidade da Produção

» **Hh trabalhadas** = Horas homens despendidas para a realização da quantidade de serviço.

A eficiência da produção é a relação entre a capacidade produtiva do processo considerada como efetiva, e a quantidade de serviço realizada pela obra no processo construtivo estudado. Quanto mais próximo de 1 estiver o resultado, mais eficiente é a produção deste processo, pois o objetivo é igualar a carga de trabalho efetiva e disponível com a realizada, mantendo assim um fluxo previsível de trabalho. Quanto menor o valor da eficiência significa que, a obra tendeu a ter perdas no processo, por excesso de homens hora utilizadas, e estas perdas podem ser quantificadas diretamente como perdas financeiras, a Eq. 3 apresenta a fórmula adotada.

$$\text{Eficiência da Produção} = \frac{\text{Capacidade da Produção}}{\sum \text{Quantidade de Serviço}}$$

Onde, Capacidade da Produção = Capacidade produtiva da equipe em realizar determinada quantidade de serviço no período analisado.

» **Qs** = Quantidade de serviço para a qual está se calculando a Eficiência da Produção.

3.3 Análise e discussão dos resultados

Esta etapa constituiu na análise dos dados de produtividade das obras em estudos, e na aplicação dos indicadores selecionados para todas as obras. A partir de então, obteve-se o indicador de Eficiência da Produção como resultado final do estudo proposto. De acordo com o resultado do indicador de Eficiência da Produção por processo, e tendo em mãos características específicas dos processos de cada obra, buscou-se discutir os fatores que influenciaram no desempenho de cada obra.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir serão descritos os resultados da eficiência da produção obtidos no processo de estrutura convencional, e em sistemas de parede de concreto. O estudo compreendeu a análise dos indicadores de produtividade para os processos de forma e armação.

4.1 Eficiência da Produção para Estrutura Convencional

4.1.1 PROCESSO DE FORMA

Esta análise considera a capacidade produtiva e a capacidade realizada para todo o período em estudo, tomando como base a homem-horas e quantidade de serviço para todos os elementos do sistema de forma (pilar+viga+laje), conforme mostra a Figura 1.

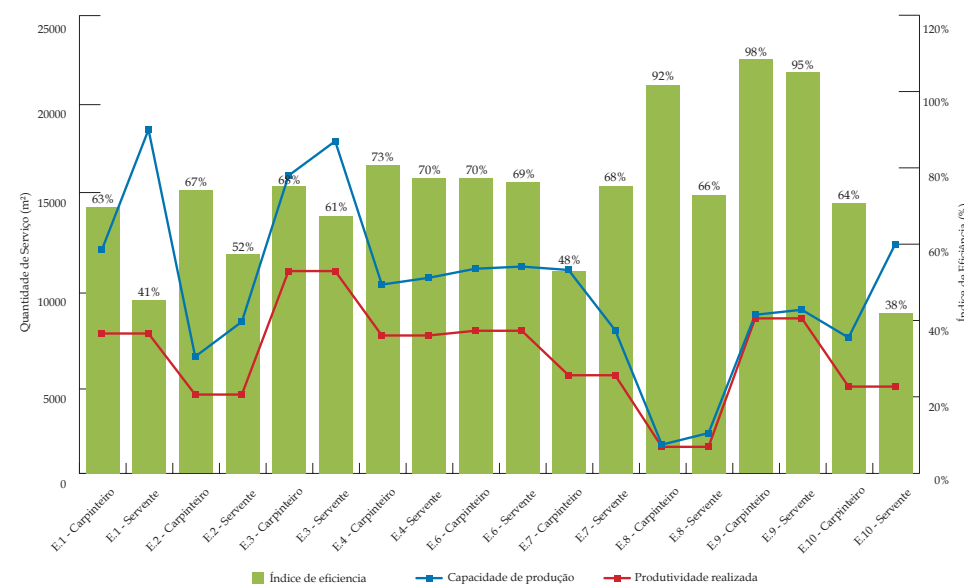


FIGURA 1 • Gráfico do estudo da Eficiência da Produção – Processo de Forma.

De acordo com os dados, observa-se que tanto para carpinteiro, quanto para servente, a obra E9 tem o maior percentual de eficiência (98% para carpinteiro e 95% para servente).

Uma eficiência da produção elevada significa que a obra obteve êxito em adequar a carga de trabalho disponível, a carga de trabalho necessária para realizar determinada quantidade de serviço em determinado tempo de ciclo.

A obra E7, por outro lado, tem o menor índice de eficiência para carpinteiro (48%), e a obra E10 tem o menor índice de eficiência para servente (38%), mostrando perda por excesso de mão de obra em relação ao necessário para alcançar a RUP global obtidas para a obra.

A obra E.7 teve uma média de 20 carpinteiros por ciclo, entretanto, pelos dados de capacidade de produção, poderia ter sido utilizado 10 carpinteiros que seria suficiente para alcançar a RUP global de forma obtida para a obra (0,64Hh/m²). Apesar da equipe de forma ser terceirizada, é importante notar que, a mesma tem pouca precisão quantos carpinteiros realmente são necessários para cumprimento da meta estabelecida. É possível assegurar que esta prática irá onerar os custos da terceirizada que, por sua vez, influenciará nos custos da obra.

O mesmo comentário pode ser feito para a obra E.10. Apesar da média de servente da obra E.10 ter sido enxuta (4 serventes), como a RUP global de servente foi muito eficiente (0,10Hh/m²) em relação, a mediana dos dados de forma-servente da base de dados (0,44Hh/m²) é possível concluir que, as atividades diretamente vinculadas a forma para servente são poucas, e a equipe pode ser significativamente menor.

A eficiência da produção média obtida no estudo para o processo de Forma em Estrutura Convencional para carpinteiro foi de 71%, e para servente de 62%, observando grande potencial de melhoria para as obras de uma forma geral.

O índice de eficiência pode ser melhorado por meio de treinamentos específicos, adequado planejamento, logística de canteiro adequada para disponibilização de materiais e ferramentas, tendo como consequência a redução da equipe. Durante a execução do processo de forma, a espera das atividades como a montagem da armação, passagens de instalação elétrica e hidráulica, concretagem e cura do concreto para realização da desforma acabam influenciando nas perdas da produção. Cabe à equipe de gestão da obra buscar estratégias que utilizem a mão de obra da melhor forma possível.

4.1.2 PROCESSO DE ARMAÇÃO

Na Figura 2, é possível observar a eficiência da produção com relação ao processo de armação das obras estudadas. De acordo com os dados, observa-se que para armador as obras E6 e E8 possuem os maiores índices de eficiência 90% e 91% para armador e servente, respectivamente. Os menores índices de eficiência foram encontrados na obra E.10 (51%) para armador e obra E.1 (11%) para servente.

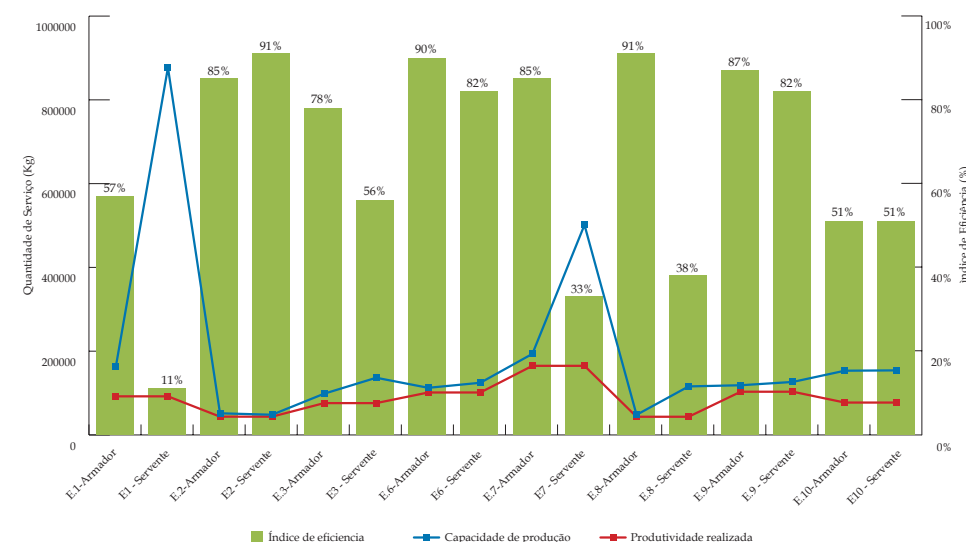


FIGURA 2 • Gráfico do estudo da Eficiência da Produção – Processo de Armação.

A obra E.10 tinha equipe de 8 armadores, e obteve uma RUP global de armação na faixa de eficiente (0,022Hh/Kg). Isto mostra mais uma vez que, a empresa terceirizada poderia ter uma redução de quase metade de sua equipe, e que mesmo assim, alcançaria os resultados de eficiência obtidos no estudo.

Da mesma forma, para a obra E.1 em termos de servente. Apesar da pequena equipe média (3 serventes), a quantidade de horas homem realizada para o serviço foi muito menor do que as horas disponíveis. Provavelmente, esta equipe de servente realizou outras atividades durante os ciclos que não estava associado ao processo de armação, apesar dos serventes estarem alocados no processo. Pelos

dados, a atividade de apoio em armação praticamente não necessita de equipe de serventes, na medida em que utilizou-se apenas 11% da capacidade da equipe. Este índice de eficiência da produção mostra, que apesar da E.1 ter apresentado a menor RUP global de servente (0,003 Hh/kg) em relação a mediana de 0,013Hh/kg da base de dados, ou seja, está sendo eficiente em termos de produtividade, esta obra está arcando com custos do excesso de serventes, que não está agregando valor ao produto, pois o recurso não sendo utilizado para o devido fim.

A eficiência de produção média para armador foi de 78% , e a de servente 55%. Observa-se uma maior média de eficiência da produção para o processo de armação para armador (78%) em relação ao processo de forma para carpinteiro (71%), apresentado no item anterior. Este comportamento do armador pode ser justificado pela realização das pré-montagens das armações, pois quando o armador não está realizando as montagens nos pavimentos, o mesmo está realizando as pré-montagens de pilares e vigas dos próximos pavimentos, o que evita ociosidade e esperas, reduzindo as perdas.

Porém em relação a servente, a média de capacidade produtiva em forma (62%) é maior em relação ao processo de forma de armadura (55%). Este dado mostra, que as obras em média estão estabelecendo equipes de servente quase que o dobro do que o necessário, tendo um custo quase que o dobro do que o necessário e, que por sua vez, não agrega valor ao produto e ao cliente. Este resultado corrobora com o estudo de (THOMAS et al, 2003), que aponta que uma das causas mais expressiva da baixa produtividade está na quantidade de trabalho insuficiente para o excesso de pessoal, resultando em 51% do total de horas improdutivas. A partir dos resultados, o referido autor, observou a necessidade do gerenciamento do fluxo de trabalho na redução dos prazos e custos das construções.

4.2 Eficiência da Produção para Estrutura em Paredes de Concreto

4.2.1 PROCESSO DE FORMA

Na Figura 3, é possível observar o estudo da eficiência da produção em relação a capacidade da produção para o processo de fôrma no sistema de paredes de concreto.

Ao analisar os resultados, nota-se que a obra E11 mantém-se com eficiência de mais de 80% tanto para carpinteiro, quanto para servente, e a obra E12 obteve o maior índice para carpinteiro (98%), e o menor para servente (38%). Esta ineficiência da produção para servente pode ser justificada pelo excesso de servente que a obra mantinha em sua equipe (10 serventes).

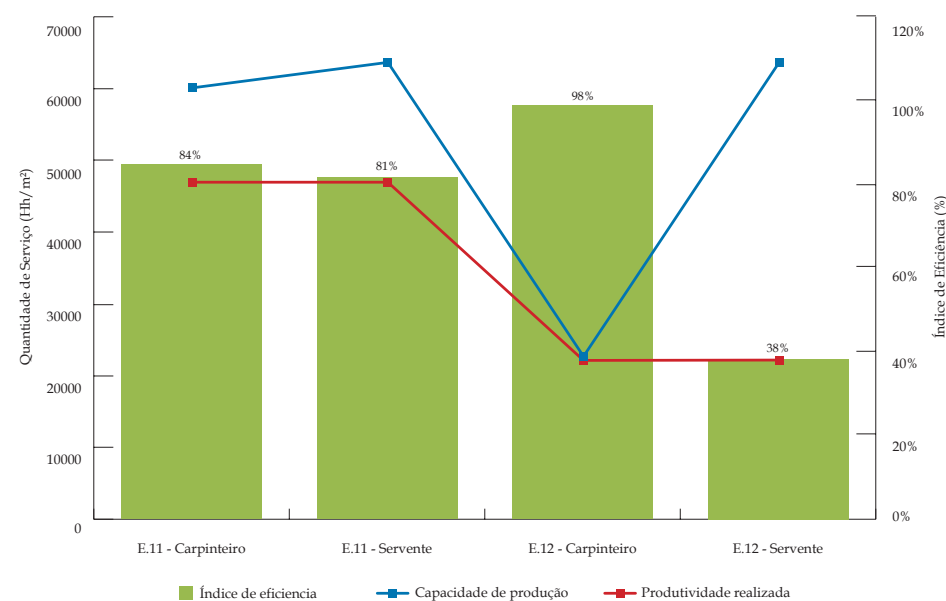


FIGURA 3 • Gráfico do estudo da Eficiência da Produção – Processo de Fôrma.

4.2.2 PROCESSO DE ARMAÇÃO

De acordo com a Figura 4, é possível observar o estudo da eficiência da produção do processo de armação para estrutura em paredes de concreto. Observa-se que a obra E12 obteve maior eficiência do que a obra E11, tanto para armadores, quanto para serventes. Dentre as causas da baixa eficiência pode-se citar a ociosidade gerada pelo processo de desforma do pavimento anterior, além da falta de frente de serviço, já que o sistema de armação de paredes e lajes, não permite a pré-montagem dos elementos como em estrutura convencional. Esse fato não ocorreu para a obra E12, pois a mesma utilizava mais de um jogo de forma, relocando sua equipe e mantendo frente de serviço no período de desforma.

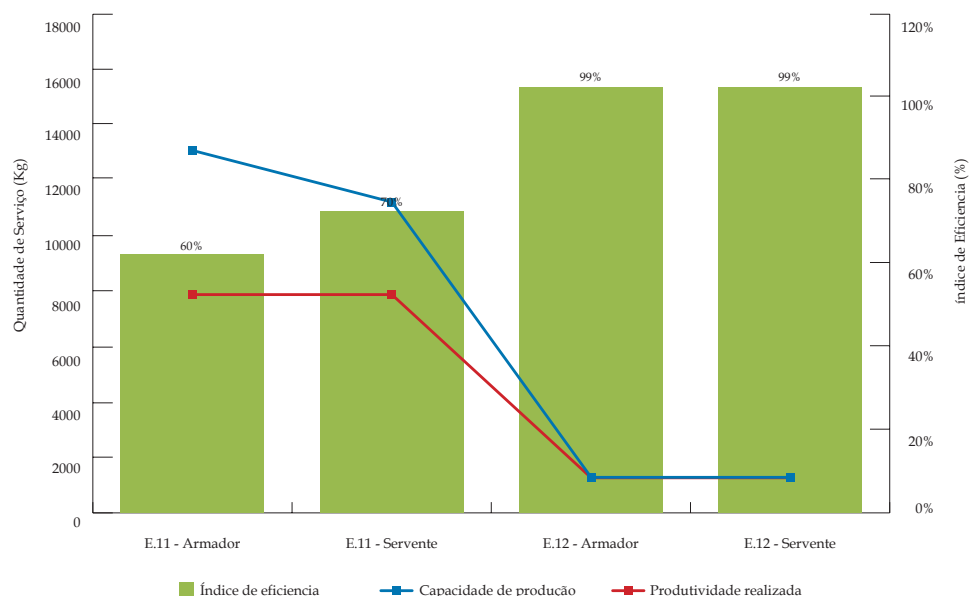


FIGURA 4 • Gráfico do estudo da Eficiência da Produção – Processo de Armação.

5 DISCUSSÃO

A pesquisa de campo tornou possível a percepção, em que a maioria das obras tem dificuldades em gerenciar seus recursos de mão de obra. A análise do índice de Eficiência da Produção tornou possível a percepção das perdas de produção geradas pela não utilização eficiente da mão de obra, logo, é possível visualizar se o recurso de mão de obra acontece de forma adequada, e posteriormente utilizá-lo para tomar decisão para promover a otimização do recurso. De acordo com os resultados apresentados, a maioria das obras obteve eficiência acima de 50%, no entanto observou-se que a causa para a baixa eficiência está relacionada a gestão dos processos e a estratégia utilizada pelas obras.

Ao comparar os sistemas estruturais estudados, observa-se que o processo de estrutura em paredes de concreto apresenta uma maior confiabilidade no fluxo de trabalho, por seguir uma linha de produção, no entanto, verificou-se a importância de um sistema de gestão e controle eficiente que potencialize a produção, que ainda é carente em ambos os casos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento do setor da construção civil torna-se cada vez mais necessário a utilização de ferramentas de gestão, que ofereçam segurança na tomada de decisões, especialmente devido à concorrência enfrentada pelo setor que acaba por impulsionar as empresas em busca de redução de custos de produção e controle dos processos para manterem-se competitivas no mercado global.

O presente trabalho deixou evidente, a importância do monitoramento da produtividade, em que a falta de controle da produção impacta em baixa produtividade, ocasionada muitas vezes pela ociosidade da produção, devido à falta de alinhamento entre o planejamento e a produção. Essa baixa produtividade segundo os estudos abordados neste trabalho, está diretamente relacionada com a dificuldade das empresas em adequar a capacidade de trabalho a quantidade de serviço, e com a ineficiência do gerenciamento das atividades que dão suporte para o fluxo de trabalho da produção, como: local inadequado para armazenamento de materiais, horas extras excessivas, tamanho e composição da equipe inadequada, planejamento irrealista e expectativa de desempenho, interferência entre as atividades e escassez de materiais.

A coleta dos dados foi realizada de forma padronizada, respeitando as características de cada empresa, onde foram estabelecidos critérios para facilitar o processo de coleta e manter a integridade dos dados para serem possíveis às comparações e análises. Diante disso, puderam-se obter dados confiáveis, condizentes com o real desempenho das obras, contribuindo como ferramenta para posteriores tomadas de decisões e utilização nas composições de orçamentos futuros.

Diante do contexto atual enfrentado pelo setor da construção civil, observou-se nas obras estudadas que apesar da difusão de práticas e técnicas que compõem o sistema de gestão, poucas empresas utilizaram os indicadores para trazer melhorias aos processos. É perceptível a necessidade em treinamentos, capacitações das equipes de gestão, para uma melhor compreensão dos resultados e tomadas de decisões adequadas. De acordo com os resultados encontrados observou-se a importância de um sistema de gestão e controle eficiente que potencialize os efeitos da produção, e consequentemente, reduza as ociosidades dos processos a fim de proporcionar uma maior eficiência da produção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-RAZEK, R. H; ELSHAKOUR, H.A; ABDEL-HAMID, M. Labor productivity: Benchmarking and variability in Egyptian projects. *International Journal of Project Management*, v.25, p. 189-197, February. 2007.

ARAÚJO, L. O. C. de. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão de obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria.** 2000. 385f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

BALLARD, G; HOWELL, G. Shielding production: Essential step in production control. *Journal of construction engineering and management*, v.124, n.1, p.11-17, January. 1998.

COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil.** 2003. 127f. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

FGV (2012). Relatório de Pesquisa. **A Produtividade da Construção Civil Brasileira.** São Paulo, 2012.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; OLIVEIRA, L. F. M.; OLIVEIRA, A. K. **Termo de Referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras.** 1999. 68f. Núcleo Orientado para Inovação na Construção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FUEMANA, J; PUOLITAIVAL, T; DAVIES, KATHRYN. Last Planner System – *A step towards improving the productivity of New Zealand construction.* 21TH CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, 2013, Brazil, Proceedings....

GUIMARÃES, C. D. **Análise de Indicadores de Produtividade e Perdas na Fase de Estrutura de Obras de Edificações.** 2012. 130f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia. Salvador.

JARKAS, A. M; BITAR, C. G. Factors Affecting Construction Labor Productivity in Kuwait. *Journal of construction engineering and management*, v. 138, n. 7, July. 2012.

LIM, E.C; ALUM, J. Construction productivity: issues encountered by contractors in Singapore. *Journal of Project Management*, v. 13, n. 1, p. 51-58, February.1995.

LIU, M; BALLARD, G; IBBS, W. Work Flow Variation and Labor Productivity: Case Study. *Journal of Management in Engineering*, v.27, n.4, p.236-242, October. 2011.

NEELY, A; MILLS, J; PLATTIS, K; GREGORY, M; RICHARDS, H. Realizing strategy through measurement. *International Journal of Operation & Production Management*, Bradford, v. 15, n. 3, p. 140-152, 1994.

PINHO, S. A. C. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento: perdas, consumo e produtividade.** 2013. 268f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco. Recife.

PROVERBS, D.G.; HOLT, G.D.; OLOMOLAIYE, P.O. A Comparative Evaluation of Planning Engineers' Formwork Productivity Rates in EuroDean Construction. *Building and Environment*, v. 33, n.4, p. 181-187, July.1998.

THOMAS, H. R; HORMAN, M.J; JR, E.M; CHEN, D. Improving Labor Flow Reliability for Better Productivity as Lean Construction Principle. *Journal of construction engineering and management*, v.129, n.3, p.251-261, June.2003.

TORRES, T. R. **Uso de indicadores de produtividade para melhoria do processo de execução de paredes de concreto.**2014. 106f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

YEUNG, J.F.Y; CHAN, A. P.C; CHAN, D.W.M; CHIANG, Y.H; YANG, H. Developing a Benchmarking Model for Construction Projects in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 139, n. 6, p. 705-716, June. 2013.

RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM CONCRETO: O MÉTODO *WHITETOPPING*

Leonardo Guimarães de Sousa ¹
Antônio Freitas ²

Resumo

“Diante do atual cenário da construção civil no Brasil e no mundo, marcado pela crescente exigência de qualidade e desempenho das obras, a sustentabilidade é um conceito, que tem sido cada vez mais, adotado nas realizações de obras públicas e privadas. Partindo desse pressuposto, torna-se fundamental o emprego de materiais e métodos construtivos sustentáveis, nos âmbitos econômico, social e ambiental. Este artigo apresenta a técnica de pavimentação com concreto de cimento *Portland*, com foco na recuperação de pavimento do tipo *whitetopping*. Este pavimento consiste na recuperação de pavimentos flexíveis deteriorados, por meio de um recapeamento com uma camada de concreto de cimento *Portland*. Ao identificar o pavimento flexível deteriorado, deve ser feito um preparo prévio deste pavimento, para o posterior recebimento da camada de concreto, esta que passa a ser a camada de rolamento, utilizando o antigo pavimento flexível como base do novo pavimento. A aplicação deste tipo de recuperação de pavimento tem se tornado mais viável, devido aos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos no desenvolvimento dos materiais de construção, principalmente, o cimento. São destacadas também as vantagens da utilização do pavimento rígido como opção à utilização de pavimentos flexíveis, nos âmbitos econômico, social e ambiental, comprovadas por estudos feitos em universidades internacionais, citados neste artigo.”

Palavras-chave » Pavimentação rígida. Recuperação de pavimentos. *Whitetopping*.

¹ E-mail: leonardogs90@gmail.com.

² E-mail: freitaseng2@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho trata-se da análise, da utilização do concreto de cimento *Portland* para pavimentação, com ênfase na restauração de pavimentos flexíveis, conhecido como o método *whitetopping*. Desde os materiais empregados, até os tipos de pavimentos de concretos e suas vantagens, este artigo aborda a alternativa da pavimentação rígida, apresentando as diferenças e vantagens, quando comparadas ao pavimento flexível.

O foco da pesquisa foi o pavimento de concreto do tipo *whitetopping*, que consiste na recuperação de pavimentos flexíveis deteriorados, recapeando com uma nova camada de concreto, e utilizando o antigo pavimento flexível como base. Frente ao cenário precário de pavimentação do nosso país, ela tem como objetivo oferecer uma técnica mais segura para os usuários, econômica, durável, tecnicamente melhor e mais sustentável do que o método utilizado atualmente.

2 HISTÓRIA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

O primeiro pavimento de concreto que se tem relatos foi construído nos Estados Unidos no ano de 1893, mais precisamente em *Bellefontaine, Ohio*. A obra foi empreendida por um farmacêutico e químico chamado *George Bartholomew*, que deu partida ao estabelecimento do pavimento rígido, uma técnica consagrada, com vantagens técnicas e econômicas, e que supre a necessidade pública de contar com pavimentos duráveis, onde permitam tráfego seguro, confortável e eficiente (TECHNE, 1999).

Há exemplos no Brasil de estradas, ruas e aeroportos prestando serviço durante décadas, suportando cargas maiores do que originalmente foi projetada para suportar. Os avanços no campo dos pavimentos de concreto nas últimas décadas ampliaram sua durabilidade, hoje já existem organismos internacionais que adotam período de projeto de até 40 anos, com subsequente vida de serviço provável superior a 50 anos (TECHNE, 1999).

3 MATERIAIS EMPREGADOS

Numa obra de pavimentação de concreto, temos como principais materiais empregados o cimento *Portland*, agregado graúdo, agregado miúdo, água, aditivos e materiais selantes de juntas. Nesta seção serão apresentados os aspectos, como cada um destes materiais deverá apresentar ao serem empregados em uma obra de pavimentação.

3.1 ESTUDO DOS AGREGADOS

Antigamente, os agregados eram vistos como material de enchimento inerte do concreto, por serem economicamente favoráveis, e por não entrarem em reações químicas complexas com a água. Porém, tendo em vista que estes agregados compõem a maior parte do volume do concreto, não surpreende que sua qualidade seja de igual importância para o desempenho do mesmo (NEVILLE, 1997).

Segundo, (RODRIGUES et al, 2006) destaca que os agregados representam em média cerca de 70% da composição do concreto, e isso é um indicativo da importância que eles representam nas suas propriedades.

O Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2005), para uma obra de pavimentação rígida, sendo utilizado o concreto de cimento *Portland*, as condições exigidas para os agregados são diferentes daquelas exigidas para concreto destinado a edificações, pontes e outros tipos de estruturas. A razão para estas exigências deve-se à necessidade do concreto de pavimentação de apresentar maior resistência à tração, menores variações volumétricas, menor suscetibilidade à fissuração, resistência à fadiga e elevada durabilidade à ação do meio ambiente, e à ação abrasiva do tráfego.

3.2 ESTUDO DO CIMENTO PORTLAND

O cimento *Portland* é definido pela ASTM C 150 como um aglomerante hidráulico obtido através da moagem do clínquer. Os clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm, que consistem essencialmente de silicatos de cálcio obtidos através do aquecimento, em altas temperaturas, de uma mistura entre matérias-primas de composição pré-determinada (MEHTA, 1994).

3.3 ESTUDO DA ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água utilizada para amassamento e cura deve ser isentas de impurezas, que possam afetar o processo de endurecimento do concreto. Considera-se satisfatória a água tratada utilizada no abastecimento das populações nas cidades (DNIT, 2005).

3.4 ESTUDO DOS ADITIVOS E ADIÇÕES

O comitê 212 do ACI – American Concrete Institute, o aditivo é uma substância distinta da água, dos agregados e do cimento, por isso é usada como ingrediente em concretos e argamassas, adicionado durante a mistura.

O DNIT (2005) cita que o aditivo pode ser definido como, qualquer substância não totalmente indispensável à composição ou à finalidade do concreto, porém, quando adicionado em quantidades pré-determinadas à mistura, gera ou reforça características do concreto, seja na fase plástica ou endurecida.

3.5 ESTUDO DOS SELANTES DE JUNTAS

A prática de selagem de juntas feitas em pavimentos de concreto existe com o objetivo de impedir através delas a infiltração de água, e de partículas sólidas, como areia, pequenos pedregulhos, e outros corpos estranhos (DNIT, 2005).

A infiltração de água no pavimento de concreto prejudica a sua durabilidade, provocando uma erosão na sua sub-base, comprometendo a continuidade de suporte requerida para o bom desempenho do pavimento (DNIT, 2005).

Sabendo que, as juntas nos pavimentos de concreto são feitas para permitir a movimentação do mesmo, quando houver variações térmicas, à presença de materiais sólidos dentro das juntas pode ser extremamente prejudicial à integridade estrutural da placa de concreto, causando tensões de compressão não previstas e podendo, a depender da amplitude térmica, causar fissuras (DNIT, 2005).

3.6 PELÍCULA ISOLANTE E IMPERMEÁVEL

O DNIT (2005) ressalta que, como película isolante e impermeável, para evitar a perda de água do concreto para a fundação, a ser utilizada entre a placa de concreto e a sub-base, podem ser utilizadas:

- a) membrana ou lençol plástico, flexível, com espessura entre 0,2 mm e 0,3 mm;
- b) papel do tipo *kraft* betumado, com gramatura mínima igual a 200g/m², contendo uma quantidade de cimento asfáltico de petróleo, ou alcatrão não inferior a 60g/m²;
- c) pintura betuminosa, executada com emulsões asfálticas catiônicas de ruptura média, com taxa de aplicação entre os limites de 0,8 l/m² e 1,6l/m².

4 ESTUDO DO CONCRETO

4.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA

O concreto utilizado na pavimentação, segundo o (DNIT, 2005), deve-se apresentar uma resistência à tração por flexão, definida em projeto, na faixa de 4,5 MPa. No caso de pavimentos estruturalmente armados, deve apresentar a resistência à compressão axial, normalmente na faixa de 30MPa.

4.2 QUALIDADE DO CONCRETO

O DNIT (2005) destaca algumas características, que o concreto a ser empregado na pavimentação deve apresentar:

- a) baixa variação volumétrica;
- b) trabalhabilidade compatível com equipamentos de espalhamento, adensamento e acabamento do concreto;
- c) durabilidade: para isso é estabelecido um mínimo de consumo de cimento na faixa de 320kg/m³.

Para que sejam atendidas estas condições, deve ser levado em conta, principalmente, a relação água-cimento, o teor de argamassa e o teor de água utilizado na confecção do concreto.

5 PAVIMENTOS RÍGIDOS

A NBR-7207/82 define como pavimento: “uma estrutura construída após a terraplenagem, e com a finalidade de:

- a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais que nela atuam.

Segundo (SENÇO, 1997), o pavimento é composto de dois elementos: a capa ou revestimento, que fica em contato direto com o pneumático; e a base, portanto resiste e distribui os esforços verticais, fazendo com que a pressão aplicada no subleito seja bem inferior, àquela aplicada no revestimento.

De forma geral, os pavimentos são classificados em dois tipos: rígidos ou flexíveis, de acordo com o material utilizado na sua camada de revestimento. De acordo com o (DNIT, 2005), os pavimentos flexíveis são os que utilizam materiais betuminosos como revestimento, e os rígidos são os pavimentos que são revestidos com concreto de cimento Portland.

Segundo (BALBO, 1993), a diferença principal entre os pavimentos rígido e flexível, em termos funcionais, reside no fato de que as cargas aplicadas no pavimento flexível tendem a criar um campo de tensões mais concentrado junto ao ponto de aplicação das mesmas,

enquanto que no pavimento rígido, o campo de tensões é mais distribuído pela extensão da placa, transferindo um esforço menor ao subleito, quando comparado com o pavimento flexível. Isto ocorre devido, ao fato de que o concreto, além de ser utilizado como camada de rolamento do pavimento, serve também como camada resistente aos esforços solicitantes, atenuando assim, as tensões transmitidas até as camadas inferiores. Já no pavimento flexível, o revestimento serve apenas como camada de rolamento, sendo as outras camadas (base, sub-base e reforço do subleito) responsáveis por absorver toda a carga proveniente do tráfego.

5.1 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

5.1.1 SUBLEITO

O subleito, segundo (SENÇO, 1997), define a espessura do pavimento através da sua capacidade de suporte. Subleitos ruins exigem uma espessura de pavimento maior. Como as solicitações no pavimento são maiores mais perto da superfície, utilizam-se materiais mais nobres nas camadas superiores, para aqueles utilizados nas camadas inferiores.

O Coeficiente de Recalque (k), chamado de Módulo de Reação, ou Módulo de *Westergaard*, é o parâmetro relativo ao suporte do subleito, também é utilizado para o dimensionamento da espessura do pavimento rígido.

5.1.2 SUB-BASE

De acordo com o (DNIT, 2005), a sub-base é uma camada delgada, localizada entre a placa de concreto e o subleito, de modo que sua função serve para uniformizar o suporte disponível ao longo da faixa do pavimento; de maneira a evitar os efeitos oriundos das mudanças de volume nos solos do subleito; e eliminar a ocorrência de bombeamento de solos finos plásticos através de juntas, bordas ou fissuras das placas de concreto.

A espessura da camada da sub-base varia em torno de 7,5cm a 20cm, de acordo com o tipo escolhido.

6 PAVIMENTO WHITETOPPING

O pavimento do tipo *whitetopping* consiste no recapeamento de pavimentos flexíveis com o concreto. Da mesma forma que o pavimento de concreto, ele é superposto a um pavimento flexível existente - que passará a ser utilizado como sub-base - sendo executado em placas de concreto limitadas por juntas longitudinais e transversais (DNIT, 2005).

De acordo com (PITTA, 1996), a técnica consiste basicamente de aplicar o concreto diretamente sobre o pavimento antigo, sendo exigido preparo prévio apenas nos casos onde o pavimento apresente avançado estágio de deterioração funcional ou estrutural, o que exige a correção dos defeitos antes da aplicação do concreto.

Segundo (CARVALHO, 2007), o pavimento mencionado acima pode ser do tipo *overlay*, quando ele é aplicado sobre um pavimento flexível, e *inlay*, quando for encaixado no pavimento, demolindo parcialmente o pavimento flexível antigo.

6.1 HISTÓRIA DO WHITETOPPING

Segundo (BALBO, 1999), o estado de Iowa nos EUA foi responsável pelo desenvolvimento de grande parte da tecnologia de pavimentação *whitetopping*, sendo um dos pioneiros de sua utilização e acumulando um montante de 500 km de projetos executados desde 1960.

A *American Concrete Pavement Association* (ACPA) avaliou positivamente 18 projetos executados de recapeamento de pavimento asfáltico com o concreto de cimento *Portland*, entre eles a via US-101 em *Orange County, Los Angeles, Califórnia*, que apresentava excelentes condições, após mais de 10 milhões de solicitações do eixo simples de rodas duplas (80 kN). A utilização da técnica *whitetopping*, nos EUA, cresceu de 70 projetos em 1982, para 187 projetos em 1998, sendo aplicadas em rodovias, ruas, vias rurais, aeroportos e estacionamentos (FORTES, 1999).

6.2 MÉTODOS DE APLICAÇÃO

Segundo o (DNIT, 2005), existem três tipos de construção de um *whitetopping*:

a) colocação direta, precedida de umedecimento da superfície. Neste método não há necessidade de qualquer preparação prévia do pavimento construído. Recomendado o uso para quando as trilhas-de-roda forem inferiores a 50mm;

b) fresagem: Ela é utilizada quando as trilhas-de-roda forem superiores a 50 mm, ou se ocorrem ondulações muito acentuadas. Consiste na remoção controlada ou desbaste de uma camada do pavimento. Pode-se intercalar o uso da fresagem com a colocação direta, a fim de otimizar o custo da obra;

c) construção de uma camada de nivelamento. Consiste no processo com o custo mais elevado das três opções. Utilizado quando as distorções superficiais ultrapassam os 50 mm, é construída uma camada de nivelamento com material betuminoso, que precede a aplicação do *whitetopping*.

6.3 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento do pavimento do tipo *whitetopping* consiste em determinar o coeficiente de recalque do pavimento flexível existente, através de provas de carga - de acordo com a norma DNIT 068/2004, e, através deste dado, dimensionar a camada superposta como um novo pavimento rígido. O seu dimensionamento pode seguir os métodos utilizados no dimensionamento de pavimentos novos de concreto, entre eles o da AASHTO - *American Association of Highway and Transportation Officials* ou da PCA - *Portland Cement Association* (PITTA, 1996).

Na execução do *whitetopping* pode-se optar, dependendo das características do pavimento antigo, do tipo de tráfego, e do número de solicitações, entre a utilização dos seguintes tipos de pavimento.

6.3.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES

Segundo a Norma NBR 7583 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico, da ABNT, o pavimento de concreto simples é o pavimento, feito com concreto de cimento *Portland*, em que as tensões solicitantes são combatidas apenas pelo próprio concreto, não havendo reforços de armaduras, fibras ou barras de transferências.

Neste tipo de pavimento é o concreto, que resiste a todos os esforços de tração e retração existentes. Apesar de ter como vantagem a rapidez de execução, este tipo de pavimento não é recomendável para casos de vias com tráfego de cargas elevadas, devido a suas prováveis patologias devido a esforços de fadiga caso submetidas a este tipo de tráfego (VIECILI, 2004).

Para o dimensionamento do pavimento de concreto simples, são utilizados dois métodos elaborados pela *Portland Cement Association* (PCA), sendo um deles o mais tradicional e amplamente utilizado no Brasil, que é a versão de 1966, e o outro e mais atual, de 1984, também muito utilizado, engloba novos conceitos no dimensionamento dos pavimentos rígidos (DNIT, 2005).

6.3.2 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

O pavimento de concreto simples com barras de transferência de carga consiste em, um pavimento com as mesmas características, e com o mesmo dimensionamento de um pavimento de concreto simples. Contudo, existe uma diferença na transferência de carga entre as placas no pavimento de concreto simples e os agregados, pois são os responsáveis pela transferência de carga entre as placas de concreto, já no pavimento de concreto simples com a utilização de barras de transferência, é empregado o uso de uma barra de aço lisa para transferir a carga entre duas placas, e aumentar a rigidez do sistema (DNIT, 2005).

As barras de transferências devem ter diâmetro compatível com a espessura do pavimento.

6.3.3 PAVIMENTO ESTRUTURALMENTE ARMADO

O pavimento rígido estruturalmente armado é um pavimento de cimento *Portland* com armaduras inferiores, para suportar cargas do tráfego, e superiores, para suportar esforços de retração e empenamento (DNIT, 2005).

Neste tipo de pavimento, os esforços são divididos, sendo os esforços de compressão absorvidos pelo concreto, e os de tração absorvidos pela armadura. Além disso, pode-se reduzir a espessura do pavimento, devido à presença de armadura, e aumentar o tamanho das placas de concreto (VIECILI, 2004).

Segundo o (DNIT, 2005), o dimensionamento deste tipo de pavimento baseia-se no modelo proposto por *Westergaard* para determinar as tensões e os momentos fletores atuantes na placa de concreto, por meio das Cartas de Influência de *Pickett e Ray*.

Uma vez conhecidos os momentos positivos atuantes, a determinação das armaduras necessárias para resisti-los passa a ser simples, como destaca o (DNIT, 2005), utilizando os métodos usuais de cálculo estrutural de concreto armado, através da NBR 6118.

Os momentos negativos, que tracionam a parte superior da placa, são considerados muito pequenos, sendo resistidos pelo próprio concreto, entretanto, deverá ser utilizada uma armadura na parte superior da placa, para resistir às tensões provocadas pelas retrações térmicas e hidráulicas.

6.4 EXECUÇÃO

6.4.1 PREPARO PRÉVIO

O DNIT (2005) recomenda, para qualquer método de aplicação do *whitetopping*, um prévio arrefecimento da temperatura superficial do asfalto a ser superposto, a fim de normalizar a temperatura e evitar a transmissão de calor à camada de concreto a ser colocada e, assim, impedir a evaporação rápida da água, e as consequentes fissuras de retração térmica. Para isto, é usual a aspersão de água sobre a camada de asfalto existente.

6.4.2 LANÇAMENTO, DISTRIBUIÇÃO E ADENSAMENTO DO CONCRETO

A produção, o transporte, o lançamento, o adensamento, o acabamento superficial, a cura, e a selagem das juntas do concreto do *whitetopping* são idênticos às operações da mesma natureza executadas na construção dos pavimentos tradicionais do concreto (DNIT, 2005).

6.4.3 JUNTAS DE DILATAÇÃO

As juntas de dilatação devem ser abertas o mais precocemente possível, a fim de aliviar as tensões de retração nas idades iniciais do concreto e, dessa forma, evitando a aparição de fissuras danosas a médio e longo prazo no pavimento (DNIT, 2005).

Como regra, adota-se um espaçamento entre juntas equivalente a 25 vezes a espessura adotada para o pavimento, sendo o espaçamento máximo recomendado igual a 3 metros. A profundidade das juntas deve ser igual a um terço da espessura das placas.

6.4.4 CURA

A cura do concreto é feita com o objetivo de impedir a evaporação rápida da água de amassamento, promover a total hidratação das partículas de cimento no concreto, e eliminar a possibilidade de ocorrência de fissuras por retração plástica.

O DNIT (2005) indica um período total de cura de 7 dias. No período inicial deve ser utilizada a cura química em toda a superfície. Após este período inicial, a cura pode ser feita com a água, ou com outros materiais, como tecido de juta, cânhamo ou algodão, lençol plástico, lençol de papel betumado ou alcatroado.

6.4.5 TEXTURIZAÇÃO

O processo de texturização consiste na execução de ranhuras na superfície do pavimento, ainda enquanto fresco, com os objetivos de promover um maior atrito entre o pneumático e o pavimento; e criar um micro drenagem, fazendo com que a água escoe de forma mais veloz e eficaz, e evitando a formação de lâminas d'água capazes de produzir aquaplanagem.

6.5 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO WHITETOPPING

Segundo (CARVALHO, 2007), a utilização do pavimento tipo *whitetopping* tem como principais vantagens: poder ser aplicado diretamente sobre o pavimento existente, usar concreto comum de pavimentação ou de rápida liberação ao tráfego (fast-track), necessitar de preparação da superfície somente em situações avançadas de degradação, e impedir a reflexão de trincas, aumentar a segurança e o conforto do rolamento, também possui excelente desempenho e elevada durabilidade.



FIGURA 1 • Análise econômica de alternativas de pavimentação - Fonte: ABCP.

6.6 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO

6.6.1 CUSTO INICIAL E FINAL

Com os avanços tecnológicos e o consequente aumento na produtividade na pavimentação, o custo inicial de construção dos pavimentos de concretos tornou-se muito competitivo, além de fazer com que o custo final (que representa o custo de

construção, mais o custo anual de manutenção) seja muito inferior ao de alternativas de pavimentação.

Segundo (CARVALHO, 2012), a análise comparativa da viabilidade técnica e econômica de projetos de pavimentos rígidos e flexíveis tem comprovado que, a médio e longo prazo, os primeiros sempre acarretam em um menor custo anual, considerando sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção.

A figura 1 mostra um caso real de análise econômica de alternativas de pavimentação, relativa à obra executada em São Paulo, em 1998. Calculando-se o Valor Presente (VP) do investimento, em reais, compreendendo o custo de construção e o de manutenção, vê-se que o custo final do pavimento de concreto é 61% inferior ao de outra alternativa.

6.6.2 CUSTO SOCIAL

Carvalho (2007) frisa que, o custo total rodoviário consiste, não somente nos custos de construção, manutenção e operação da rodovia, mas engloba ainda os custos do usuário, relacionados a acidentes, tempo de viagem, poluição e custo operacional dos veículos, de acordo com os critérios do Banco Mundial.

Ele ainda ressalta que o Custo Operacional dos Veículos (COV) depende diretamente das condições funcionais da rodovia, de forma que, uma rodovia com baixo índice de condição funcional, ou seja, muito irregular, irá resultar em um alto custo operacional dos veículos que circularão sobre ela. Sabendo que, a condição funcional de uma rodovia pavimentada com concreto tem uma variação muito pequena ao longo do seu período de utilização, o custo operacional da frota circulante sobre ele será muito menor do que aquele previsto para uma pavimentação flexível.

Uma pesquisa conduzida pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2006, acerca das condições das rodovias brasileiras, mostrou que, num total de 84.382km levantados, 75% da extensão pesquisada apresentavam algum grau de imperfeição, sendo que 36,6% foram classificados entre ruins e péssimos.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), órgão oficial de pesquisa e estudo do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, as más condições das nossas vias geram um aumento significativo no custo social, representados pelos seguintes números:

- a) elevação de 38% nos custos operacionais dos veículos;
- b) aumento em até 58% no consumo de combustíveis;
- c) aumento em até 50% no índice de acidentes;
- d) aumento de até 100% no tempo de viagem.

A Associação Brasileira de Medicina de Tráfego (ABRAMET), os acidentes de trânsito no Brasil apresentam as seguintes estatísticas:

- a) são o segundo maior problema de saúde pública do país, perdendo apenas para os homicídios;
- b) causam 45 mil mortes por ano, aproximadamente, com cerca de 500.000 feridos, dos quais estima-se que 100.000 ficam com lesões permanentes;
- c) representam a sexta causa de internações hospitalares, sendo que o tratamento dos feridos consome cerca de 13% do orçamento do Sistema Único de Saúde;
- d) custo estimado dos acidentes de trânsito é cerca de US\$ 15 bilhões por ano.

6.6.3 SEGURANÇA E ECONOMIA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O pavimento de concreto oferece um aumento de segurança ao usuário devido ao fato de que, a sua superfície clara tem maior capacidade de reflexão da luz, melhorando significativamente a visibilidade dos motoristas, principalmente à noite, em dias chuvosos (CARVALHO, 2007).

Segundo, o trabalho de Richard Stark, dos EUA, intitulado *Road surface's reflectance influences lightning design*, é previsto uma economia da ordem de 30% na iluminação pública, quando se substitui o asfalto, pelo concreto (CARVALHO, 2007). Outra vantagem importante do pavimento de concreto relativa à segurança do usuário é a significativa redução na distância de frenagem, devido ao fato de que, nos pavimentos de concreto a aderência dos pneus à superfície de rolamento é bastante elevada.

Em virtude dos fatos mencionados, Ruhl, R.L., dos EUA, em seu trabalho *Safety consideration so fruited and wash board e das phaltroad*, a distância de frenagem de um veículo Chevy, a 95 km por hora, em condição de pista molhada, foi reduzida de 134 metros, na pista de asfalto com trilha de roda, para 96 m, na pista de concreto, correspondendo a uma redução de 40% na distância de frenagem (CARVALHO, 2007).

6.6.4 ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL

Um mesmo estudo conduzido pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, os automóveis que circulam em pavimentos rígidos consomem menos combustível do que, em pavimentos flexíveis. Esta economia, que pode chegar a faixa de 17%, ocorre, pois o pavimento de concreto oferece menor resistência ao rolamento, exigindo menor esforço da parte mecânica dos veículos devido à sua superfície rígida, indeformável e estável. Para veículos pesados, segundo o Prof. Zaniewski, J.P., da *Arizona State University*, dos EUA, no seu trabalho *Effect of pavement surface type on fuel consumption*, esta economia pode chegar até 20%, já para veículos leves, o tipo de pavimento não influencia na economia de combustível.

6.6.5 MEIO AMBIENTE

Entretanto Carvalho (2007) afirma: a superfície clara do concreto contribui para a redução da temperatura ambiente, reduzindo assim, gastos com ar condicionado e reduzindo a poluição ambiental nas cidades, conforme demonstram os estudos do *Heat Island Group*, dos EUA, relacionado às *Cool Communities*, que afirmam que o uso do pavimento de concreto, e o plantio de árvores podem reduzir até 5 graus Celsius a temperatura média

de um ambiente. A temperatura na superfície do pavimento de concreto é inferior em até 14 graus Celsius, quando comparadas com o pavimento asfáltico.

Outra vantagem apresentada pelo pavimento de concreto em prol ao meio ambiente, é que o principal insumo do concreto é o cimento, e o cimento contribui com o meio ambiente por meio de co-processamento, e das adições na sua produção industrial.

7 CONCLUSÃO

A malha viária nacional apresenta hoje sérios problemas relativos à deterioração dos pavimentos, causado pelo aumento excessivo do tráfego, muitas vezes não previstos em projeto. Este aumento ocorre principalmente devido ao crescimento da economia da região, e a falta de investimento na manutenção destes pavimentos aumenta o sucateamento destas rodovias, trazendo prejuízos à economia, e prejudicando a segurança dos usuários.

O método *whitetopping* é uma técnica que tem sua qualidade e viabilidade comprovada em países como os EUA, porém, no Brasil é considerada uma tecnologia relativamente nova. Tendo em vista, a atual situação da malha viária do nosso país, podemos dizer que este método é uma solução técnica e economicamente recomendável, não só no sentido de reduzir os custos para os órgãos públicos, mas principalmente da sociedade como um todo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Governar é Abrir Estradas**. 1ª Ed., São Paulo, 2009.

BALBO, J. T. **Estudo das Propriedades Mecânicas das Misturas de Brita e Cimento e sua Aplicação nos Pavimentos Semi-Rígidos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993. 181p.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Vantagens e benefícios da do whitetopping e do inlay na reabilitação de pavimentos**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/uploads/2013/03/Whitetopping-e-Inlay-Vantagens_Artigo.pdf>. Acesso em 08/06/2014.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimento e concreto: reduzido a custo social**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf>. Acesso em 31/05/2014

CHODOUNSKY, M.A., VIECILI, F.A. **Pisos Industriais de Concreto: aspectos teóricos e executivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

CRISTELLI, R. **Pavimentos industriais de concreto: análise do sistema construtivo**. 2010. 152f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/Monografia%20Rafael%20Cristelli.pdf>> Acesso em 01/05/2014.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, DNIT, 2005.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto : estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

NEVILLE, Adam M. **Propiedades do concreto**. 2.ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

PITTA, M. R. **Whitetopping – A evolução de um conceito**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4., 1996, São Paulo.

DU ROCHER, Wellington Tadeu Monteiro, dissertação de mestrado, **Identificação dos Agentes agressivos e das patologias em pisos industriais de frigoríficos de suínos**– Universidade Federal de Santa Catarina, RS, 2007. 202 p.

RODRIGUES, P.P.F. **Projeto e Critérios Executivos de Pavimentos Industriais de Concreto Armado**. IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2006. Disponível em: <www.ibts.org.br/pdfs/pav_ind.pdf> Acesso em 25/04/2014.

RODRIGUES, P.P.F.; BOTACINI, S.M.; GASPARETTO, E. W. **Manual Gerdau de Pisos Industriais**. Ed. PINI, 1ª Ed., São Paulo 2008.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: PINI, 1997. 1v.

SIAN, S. V. **Recuperação de pavimento asfáltico com aplicação de whitetopping**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo. 2007. 67p. Disponível em: <<http://engenharia.anhembib.br/tcc-07/civil-37.pdf>> Acesso em 25/05/2014.

TECHNE, **Pavimento de concreto**. Parte (II), v. 9, 46 ed.. São Paulo, maio e jun, 2000.

TECHNE, **Pavimento de concreto**. Parte (I), v. 8, 43 ed.. São Paulo, nov. e dez, 1999.

VIECILI, F.A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto**. 2004. 99 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIZZONI, Ronaldo. Seminário: **O pavimento de concreto no modal nacional de transportes– uma realidade consolidada**. *Concrete show* 2009.

COMPARATIVO ENTRE CONSTRUÇÃO DE MÚLTIPLOS ANDARES EM AÇO, E EM CONCRETO ARMADO

Felipe Pinheiro Salles ¹
Alberto Borges Vieira Júnior ²

Resumo

“O setor brasileiro da construção civil passa, por um grande crescimento e transformações significativas nos últimos anos. Com essa circunstância, surge a necessidade de estudos e adoção de sistemas construtivos mais competitivos, que tornem o setor cada vez mais industrializado. Nesse contexto, é notável um crescimento relevante da construção em estrutura metálica no Brasil. Segundo dados do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), a utilização de aço como solução estrutural subiu de 4% para 14% entre os anos de 2000 e 2010. Este artigo tem como finalidade, apresentar um estudo da viabilidade da adoção da construção em estrutura metálica em um edifício de múltiplos andares, abordando aspectos de custos diretos de diferentes sistemas estruturais. O ponto inicial do estudo é a apresentação de um pequeno histórico da evolução da estrutura metálica no Brasil, destacando os avanços no setor de dimensionamento, fabricação e montagem. O objetivo desse artigo é demonstrar e justificar a razão para a escolha da construção em aço, como solução estrutural de um edifício de múltiplos andares.”

Palavras-chave » Aço. Concreto. Estrutura Metálica. Viabilidade.

¹ E-mail: felipepsalles@gmail.com.

² E-mail: abvieira@ufba.br.

1 INTRODUÇÃO

“Nas últimas décadas a construção civil vem passando por mudanças, visando melhorias dos seus processos, em função do aumento da competitividade no setor, demandando que as empresas invistam em processos produtivos e gerenciais. De uma forma geral, as organizações têm investido em critérios competitivos como melhoria da qualidade de serviço, flexibilidade, inovação, buscando diferenciação perante a concorrência.” (NEELY, 1999 apud NAVARRO, 2005).

Dessa forma, fica evidente que o mercado da construção em estruturas metálicas, cada vez mais, ganha espaço no mercado nacional. Segundo dados do CBCA, no início da década de 2000, a construção em estruturas metálicas representava em torno de 4% da fatia do mercado, já no começo da década de 2010, esse percentual cresceu para 14%, alavancado principalmente pelas obras de infraestrutura para atender a Copa do Mundo de 2014.

No Brasil, a cultura de utilizações ainda é predominante em concreto, mesmo nos dias atuais, quando a tendência mundial vai de encontro à mesma. As estruturas de edifícios de múltiplos andares são, em sua maioria, de concreto armado ou protendido, moldadas *in loco*, ou mesmo moldadas fora do canteiro (pré-moldadas).

Sendo o aço e o concreto os dois materiais mais utilizados na construção, e tendo eles características distintas, a junção desses dois materiais compõem um sistema misto. Esse sistema foi normatizado no Brasil, a partir da ABNT NBR 8800 de 2008. Desde então, a utilização da solução mista tem-se difundindo, mostrando-se cada vez mais competitiva com o mercado já existente. O histórico da construção mista está intimamente ligado ao desenvolvimento do concreto armado, e das estruturas metálicas (MALITE, 1993).

Perante os questionamentos da racionalização e industrialização da construção civil no cenário brasileiro, mostra-se evidente a necessidade de estudos comparativos entre as diferentes técnicas construtivas, principalmente, no que se refere a viabilidade de custo superior de uma obra, quando se opta pela construção em estrutura metálica.

O estudo foi fundamentado na análise de dados de um modelo tridimensional da estrutura de uma edificação em aço, e em informações coletadas de diversos bancos

de dados com indicadores para estabelecer comparativos entre os custos das diferentes formas de executar a estrutura. O objetivo desse artigo é estabelecer um parâmetro quantitativo entre: a construção em estrutura metálica, concreto armado e complexas com a água. Porém, tendo em vista que estes agregados compõem a maior parte do volume do concreto, não surpreende que sua qualidade seja de igual

2 PESQUISA

O objeto da pesquisa trata-se de um empreendimento residencial, multi familiar, situado na Avenida Beira Mar, em Jaboatão dos Guararapes – PE, com o nome de Edifício Fernando Pessoa. O projeto de arquitetura foi desenvolvido pela POLIGONUS Arquitetura LTDA. A solução estrutural adotada foi mista, com vigamento metálico, lajes em concreto com formas de *steel-deck*, e pilares de concreto armado com um núcleo de montagem em perfil HP.

O empreendimento tem um total de 5.957,28m² de área construída, sendo ela distribuída em 3.591,38m² de área privativa total e 2365,90m² de área comum total. São quatro pavimentos tipos, com área construída de 991,25m² cada. Caracteriza-se como um empreendimento de alto padrão.

A empresa envolvida no desenvolvimento, fabricação e montagem da estrutura é a Enpro Metal. A empresa contratante e executante da parte civil é a Construtora TECLA, atuante no mercado pernambucano há 40 anos, no qual se destaca através de sua opção por formas de construção mais enxutas.

Com base nos projetos arquitetônicos disponibilizados pela empresa TECLA, de autoria do escritório POLIGONUS Arquitetura, foi realizado um modelo global, tridimensional, teórico-numérico, de uma estrutura mista aço-concreto, com lajes tipo *steel-deck*, para o empreendimento. Este mesmo modelo foi utilizado para apresentar a memória de cálculo da referida estrutura. Como ferramenta numérica, para elaboração do modelo teórico, 3D utilizou-se o *Software Robot Structural Analysis Professional* 2011.

Para abordagem do modelo, é adotada a seguinte sequência:

¹ NEELY, A. The Performance measurement revolution: why now and what next? International Journal of Operation & Production Management, Bradford, v.20, n.2, p. 205-228, 1999.

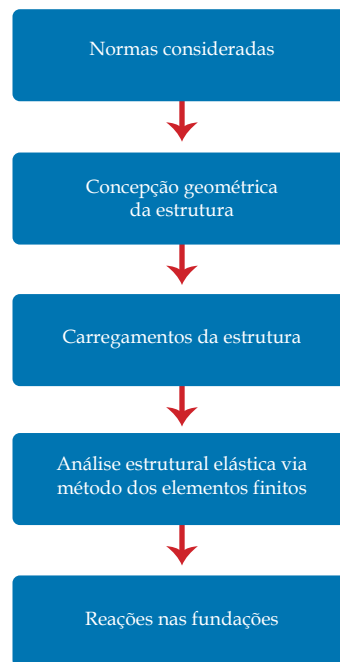


Diagrama ilustrativo da abordagem dos modelos estruturais.

3 CARREGAMENTOS ADOTADOS

Os carregamentos foram determinados com base nos valores fornecidos pela NBR6120 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações).

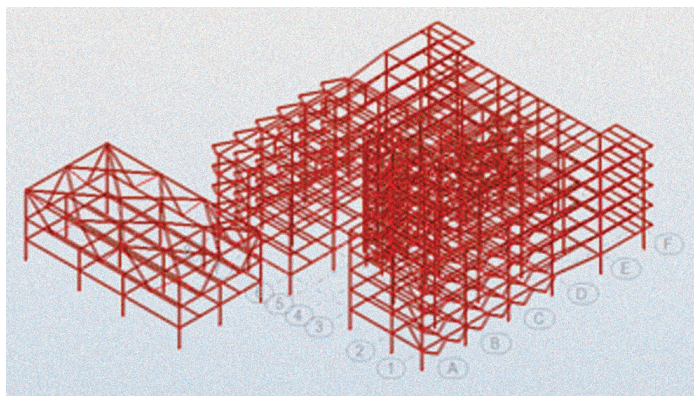


FIGURA 1 • Aplicação do carregamento de peso próprio na estrutura.

Foram aplicados carregamentos permanentes automáticos, referentes ao peso próprio da estrutura metálica, e com o valor de $3,0 \text{ kN/m}^2$ sobre toda área de laje, exceto na laje da piscina, onde foi adotada carga de $4,5 \text{ kN/m}^2$. Os esforços foram distribuídos nas vigas secundárias, por meio de largura de influência (valor do carregamento determinado pela relação entre o peso específico do concreto armado, e a altura média da laje, acrescido o valor de peso médio por área da folha de *deck*). Os carregamentos variáveis foram aplicados de acordo com a NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, e distribuídos nas vigas secundárias de forma análoga ao carregamento permanente. Como a norma não contempla algumas áreas, como piscinas e *decks*, foram adotados valores padrões dentro da empresa responsável pelo cálculo. Exemplificando, o *deck* da piscina foi tratado como casa de máquinas, com carga de $7,5 \text{ kN/m}^2$. Foram consideradas variações positivas de 10°C aplicadas no sentido longitudinal das barras, consequentemente ocasionando uma deformação linear e variações negativas de 10°C aplicadas no sentido longitudinal das barras, gerando reações análogas. Os ventos tiveram carregamentos adotados segundo a NBR 6123, e foram distribuídos por meio de largura de influência nos pilares das fachadas, sendo V_k (velocidade característica do vento) 30 m/s , e q (pressão dinâmica) $0,55 \text{ kN/m}^2$.

4 ALÍVIO DE CARGAS NAS FUNDAÇÕES

Afim de apresentar, argumentos pautados em dados numéricos, foi elaborado um modelo teórico 3D, baseado em tabelas de pré-dimensionamento para estruturas de concreto armado fornecidas e reconhecidas por diversas fontes, inclusive pela NBR 6118, possibilitando assim, a comparação entre as duas estruturas estudadas. Após a modelagem da estrutura, foram extraídos os resultados de reações nas fundações seguindo a mesma numeração dos nós.

Dos dados apresentados, verificou-se um acréscimo de 18% das cargas verticais das fundações comparando as estruturas mistas com uma possível adoção da solução em concreto armado. Notou-se também, que o nó mais solicitado quando a solução é em concreto, sofre uma reação vertical $F_z = -2.853,90 \text{ kN}$ (nó 10), sendo que, quando a solução é em aço, a reação vertical $F_z = 2.112,91 \text{ kN}$ (nó 10). Logo, o acréscimo de carga é de 35% no ponto mais solicitado.

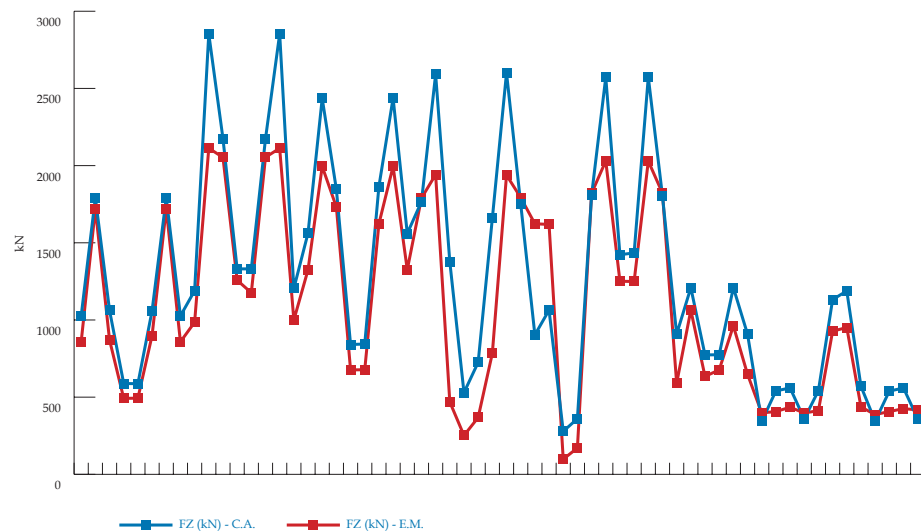


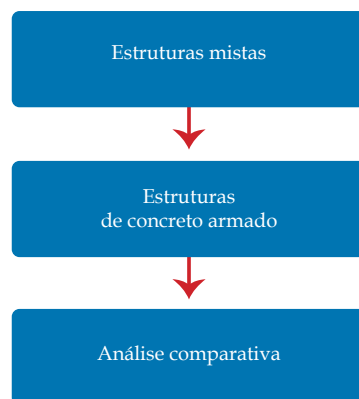
GRÁFICO 1 • Dispersão dos valores de F_z (kN) por nó – C.A. (Concreto Armado), E.M. (Estruturas Mistas).

5 CUSTO DIRETO DA ESTRUTURA

Como ferramenta para alcançar esta estimativa, utilizou-se a TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos), e o ORSE para validar os dados apresentados.

Em caso de falta de informações dos dois bancos de dados, incluiu-se no trabalho dados retirados da empresa construtora do Edifício Fernando Pessoa, a *Enpro Metal*.

A análise dos custos seguem o esquema representado abaixo:



Esquema ilustrativo da abordagem dos custos diretos

5.1 CUSTOS DIRETOS DA ESTRUTURA MISTA

Para analisar a composição da estrutura mista, a mesma foi dividida em fornecimento de lajes em *steel-deck*, e fornecimento do esqueleto da estrutura (pilares e vigamento).

A composição de custo unitário da laje em *steel-deck* foi equivalente à R\$106,98/m² de área estruturada. Os dados apresentados nesta composição consideram a montagem do *deck* com o vigamento já executado.

Como não foram encontrados na TCPO, ou no ORSE dados referentes a custos de fabricação, transporte e montagem da estrutura dos pilares e vigas metálicas, os mesmos apresentam-se com base em orçamentos disponibilizados pela própria empresa construtora, a *Enpro Metal*. O custo final alcançado na discretização dos serviços foi de R\$326,70/m² de área estruturada.

Compilando ambas composições, é obtido um valor médio de R\$433,68/m² para a execução da estrutura mista, contando com fornecimento e montagem de núcleo de pilar em perfil laminado, vigamento do empreendimento, *steel deck* e concretagem da laje.

Adicionados a estas composições tivemos os seguintes serviços:

- composição de custo para fornecimento e montagem de forma metálica para pilar em concreto (R\$9,58/m²);
- composição de custo para corte, dobra e montagem da armação dos pilares (R\$29,79/m²);
- composição de custo para fornecimento, transporte, lançamento, adensamento e acabamento de concreto em pilares (R\$17,55/m²).

Concluindo a interpretação dos dados apresentados, é obtido o custo direto da estrutura mista de R\$490,60/m² (quatrocentos e noventa reais e sessenta centavos por metro quadrado).

5.2 CUSTOS DIRETOS DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO

Para analisar a composição da estrutura em concreto armado, o procedimento foi dividido nas seguintes etapas:

- composição de custo para fornecimento e montagem de forma metálica para pilar em concreto (R\$9,58/m²);
- composição de custo para corte, dobra e montagem da armação dos pilares (R\$29,79/m²);

- composição de custo para forma e desforma de vigas e lajes do pavimento (**R\$138,58/m²**);
- composição de custo para fornecimento, armação e montagem de aço para vigas em concreto armado (**R\$35,48/m²**);
- composição de custo para fornecimento, armação e montagem de aço para lajes em concreto armado (**R\$30,33/m²**);
- composição de custo para fornecimento, transporte, adensamento e acabamento de concreto para lajes, vigas e pilares (**R\$85,33/m²**);
- composição de custo para fornecimento, montagem e desmobilização de escoramento metálico para lajes e vigas (**R\$17,61/m²**).

Concluindo a interpretação dos dados apresentados, é obtido o custo direto da estrutura mista de **R\$346,70/m²** (trezentos e quarenta e seis reais e trinta e nove centavos por metro quadrado).

6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DIRETOS

De forma sucinta, a análise entre custos diretos das duas soluções estruturais, se resume à comparação dos valores totais encontrados na composição de custos.

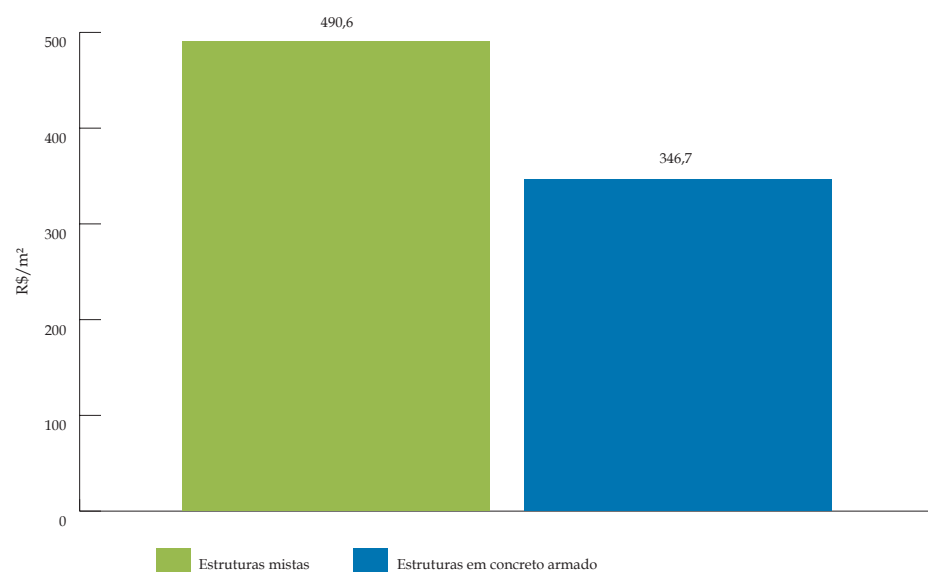


GRÁFICO 2 • Valores absolutos do custo de cada solução estrutural.

O custo direto da estrutura convencional é aproximadamente 29,33% (vinte e nove vírgula trinta e três por cento) inferior em relação à estrutura mista. É notável, a disparidade entre o custo direto das soluções estruturais.

7 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS INDIRETOS

Como visto anteriormente, existe uma disparidade grande entre o custo direto das soluções estruturais mistas, e em concreto armado. Porém, essa informação não deve ser simplesmente aceita como valores finais de cada solução estrutural.

Torna-se um desafio mensurar, e provar valores quando se envolve fatores indiretos, já que os mesmos dependem de uma enorme quantidade de variáveis.

Para exemplificar, os principais fatores citados que, indiretamente, influenciam o custo final de uma obra, quando se trata do aspecto superestrutura, são os seguintes:

- alívio de cargas nas fundações;
- prazo executivo da estrutura;
- exigência de menor infraestrutura de canteiro, devido à menor quantidade de colaboradores;
- a solução estrutural mista gera uma quantidade menor de resíduos dentro do canteiro;
- menor risco de incidência de ações trabalhistas, já que a quantidade de colaboradores é menor;
- colaboradores em geral com maior grau de qualificação;
- nível de precisão executivo aumenta em 10x, visto que a estrutura mista trabalha com a unidade de medida em mm (milímetros), e o concreto armado trabalha em cm (centímetros);
- desembolso financeiro antecipado, devido à compra da matéria prima.

A seguir, nas figuras 2 a 6 estão ilustradas alguns dos tópicos citados, de forma a exemplificar as vantagens e desvantagens da estrutura mista.



FIGURA 2 • Baía de resíduos de madeira proveniente de fôrmas.



FIGURA 3 E 4 • Uso de escoramento em diversos pavimentos simultaneamente; necessidade de grande área para armazenamento de insumos da estrutura.



FIGURA 5 E 6 • Hotel Ibis, diversos pavimentos executados sem uso de escoramento, Rede Mix e inexistência de resíduos provenientes da estrutura

Para análise comparativa rigorosa da precificação da estrutura mista, e da estrutura em concreto convencional, fatores como os ilustrados nas figuras abaixo não foram levados em conta, dando grande margem a alavancar o custo-benefício da estrutura mista, alcançando patamares mais competitivos, com a construção em concreto convencional.

8 CONCLUSÃO

Através dos modelos teóricos gerados, foi possível constatar um alívio de cargas na fundação de 18% na estrutura mista, se comparado à estrutura de concreto armado convencional.

Além disso, chegou-se a um valor final dos dois sistemas construtivos, embora o sistema convencional mostrou-se 29% mais barato que o sistema em misto.

Percebeu-se também, as vantagens indiretas que não foram precificadas, logo, deve existir um balanceamento entre o preço das estruturas.

Para estruturas comerciais, o principal fator que faz o investidor definir a estrutura mista como solução final do empreendimento, é o retorno financeiro, visto que a exploração comercial do imóvel será antecipada invariavelmente, quando o prazo da obra é igualmente antecipado.

De forma sucinta, a única coisa que falta ao investidor brasileiro para usualmente definir a solução mista, como preferencial em relação a solução convencional é o estudo mais aprofundado dos reais ganhos com a adoção do aço como sistema estrutural. Todos os grandes centros do país já são munidos de empresas com competência e maquinário, para suprir as demandas do mercado, logo, o fator logístico não é mais um empecilho capaz de barrar o avanço do aço na construção civil do território nacional.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECE. Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural. **Destes finalistas sairão os grandes vencedores**. ABECE Informa. Ano 11. Nº 63. Set/Out. 2007.

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. São Carlos. 277p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). NBR 8800 – **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). NBR 6123 – **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo**. 3ª. Ed. São Paulo: Pini, 2000.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO (2010). **Encarte publicitário, Aço – Construindo a Copa 2014 – Brasil**.

IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia). **Edifícios de pequeno porte estruturados em aço**. 3. Ed. Rio de Janeiro, RJ. IBS/CBCA. Série Manual da construção em aço. 76p, 2004.

REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO. **Mercado em formação: Uso de lajes steel deck ainda é restrito no Brasil; confira as orientações para especificação e execução do sistema**. Revista Construção e Mercado. Edição 108. Jul. 2010.

TOLEDO, G. N. **Utilização de pilares mistos aço e concreto parcialmente revestidos em edifícios de múltiplos pavimentos**. São Carlos. 86p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de São Carlos, 2009.

VASCONCELLOS, A. L. **Caracterização das construções mistas aço/concreto**. Revista bimestral Construção Metálica, ABCEM, São Paulo, n.73, p. 21-25, 2006.



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

OS 10 MELHORES
DA UFRJ



PRÊMIO OAS/UFRJ
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

OS 10 MELHORES DA UFRJ

1º **Influência de agregados reciclados de RCD em argamassas de cimento portland**

Gabrielle Christina da Silva Calcado, Elaine Garrido Vazquez

3º **O custo da ineficiência: de que forma o desvio de produtividade impacta os custos de um projeto**

João Vítor Emanuel Maia Machado, Luís Otávio Cocito de Araújo

5º **Boas práticas na implementação de sistemas de gestão da qualidade – estudo de caso Lamce**

Juliana Tavares Bard, Jorge dos Santos

7º **Panorama da logística de resíduos da construção civil no Rio de Janeiro**

Liz Boaretto Teixeira Leite, Ana Catarina Jorge Evangelista

9º **Ganhos de qualidade e produtividade através do uso de estaca secante em contenções**

Louise Nideck Sanglard, Jorge dos Santos

2º **Aplicação de método integrado de ferramentas de gestão da qualidade FMEA e FTA na detecção e controle de patologias em sistemas prediais hidráulicos e sanitários**

Arthur Bastos Silva, Elaine Garrido Vazquez

4º **Aplicação de procedimento para análise do desempenho acústico de pisos com base na NBR 15.575**

Fernanda Mendes Graça Couto, Elaine Garrido Vazquez

6º **Desempenho térmico em edificação multifamiliar segundo as normas NBR 15.575 e 15.220**

Bruna Moreira Serra de Sousa, Elaine Garrido Vazquez

8º **Sustentabilidade em projetos de construção: Uma matriz multicritério baseada em riscos**

Simone Zappe Fernandes, Cláudia do Rosário Vaz Morgado

10º **Princípios para desenvolvimento de comunidades sustentáveis**

Marcela Rodrigues Potting, Elaine Garrido Vazquez

INFLUÊNCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE RCD EM ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND

Gabrielle Christina da Silva Calcado ¹
Elaine Garrido Vazquez ²

Resumo

“A construção civil é grande responsável pelo consumo de recursos naturais, e é também é responsável pela geração de uma parcela significativa de resíduos sólidos dentro da malha urbana, os quais são denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Neste cenário, a reciclagem aparece como um destino alternativo a ser adotado para esses resíduos, visto que entre seus benefícios estão à redução no consumo dos recursos naturais, do volume de resíduos sólidos e de áreas necessárias para aterros. Diante disso, surge a necessidade de investigar a influência da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD nas propriedades das argamassas. O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Estruturas e Materiais (LABEST) - COPPE/UFRJ. Neste artigo serão apresentados os resultados do ensaio de resistência à compressão de três traços (cimento: areia – água/cimento). Além das misturas de referência, foram adotados três diferentes teores de substituição do agregado natural pelo reciclado. A areia reciclada foi obtida através da britagem dos resíduos da demolição ocorrida em 2010 como parte do Hospital Universitário da UFRJ, e possuía granulometria e densidade muito próximas às da areia natural. Os resultados do ensaio mostram-se alguns teores de substituição, e não houve alteração da resistência à compressão.”

Palavras-chave » Resíduos de construção e demolição. Argamassas Recicladas e Resistência à compressão.

¹ E-mail: gabicalcado@poli.ufrj.br.

² E-mail: elaine@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o acentuado crescimento industrial dos países emergentes integrantes do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) sugere que a demanda por matérias-primas irá aumentar ainda mais nos próximos anos (MOLL, 2005). Desta forma, deve-se buscar nos processos industriais e atividades humanas meios de aumentar a eficiência do uso dos materiais.

A maior extração de recursos naturais para uso industrial ocorre na construção civil, consequentemente esse setor é responsável pela geração de uma quantidade significativa de resíduos, os quais são denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Os resíduos gerados na construção são decorrentes do próprio processo construtivo devido a erros, indefinições na elaboração dos projetos, falhas na execução, ocasionando substituição de componentes e desperdício. Ocorrem ainda, perdas na estocagem e no transporte dos materiais, ou devido à má qualidade dos materiais empregados. Existem também os resíduos produzidos em demolições, reformas e reconstruções, na substituição de materiais, cuja vida útil já se esgotou (LIMA, 2005).

Após a resolução 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a preocupação em minimizar os impactos ambientais, e encontrar um destino adequado ao RCD ganhou mais espaço. Esta resolução atribui responsabilidades aos geradores, transportadores e gestores públicos do RCD. O gerador dos resíduos é responsável também pela sua destinação, e por essa razão as empresas buscam medidas visando à redução de perdas e aproveitamento de resíduos através da reciclagem. Neste sentido, a reutilização e reciclagem de resíduos sólidos apresentam diversas vantagens potenciais do ponto de vista da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável (SILVA, 2000). A reciclagem do RCD possibilita o seu retorno ao ciclo produtivo, pois desta forma proporciona uma redução da extração de matéria-prima, da poluição originada por seu descarte inadequado, além de uma economia nos custos da obra como em materiais e transporte dos mesmos. A reutilização pode ocorrer com alguns resíduos como blocos, tijolos e cerâmicas que podem ser utilizados sem que haja necessidade de processos de beneficiamento em seu tratamento.

Atualmente muitos resíduos já estão sendo reciclados, contudo sua aplicação ainda é restrita (QUEBAUD et. al., 1997). Alguns rejeitos de outras indústrias retornam ao ciclo produtivo, em que são utilizados como insumos nos processos da construção civil, como a sílica ativa, a escória de alto forno, entre outros. Entretanto, até serem implementados foi necessária a realização de diversos estudos, o que despendeu um longo período de tempo. O resíduo de construção e demolição merece similarmente um estudo sistemático para a sua aplicação efetiva. (LEITE, 2001).

2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, encontrar bons agregados naturais próximos a áreas urbanas estão cada vez mais difíceis. Além do esgotamento das reservas de areia natural, os resíduos gerados pelo processo industrial são abandonados e estocados de maneira imprópria no Brasil, sendo que, de todo o lixo gerado pelas grandes cidades, 50% corresponde a resíduos provenientes da construção civil (PIMENTEL et al., 2007).

O mercado da construção civil se apresenta como uma das melhores alternativas para o consumo de materiais reciclados, pois as construções podem ser realizadas em qualquer local, ocorrendo assim, uma redução nos custos como o de transporte. Entretanto, para que um novo produto seja aceito no mercado, em qualquer indústria, é necessário conhecer muito bem o seu comportamento físico, químico e mecânico.

3 OBJETIVO

A presente pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da substituição parcial do agregado natural pelo reciclado em percentuais de 15%, 25% e 50% na resistência à compressão de misturas de argamassa rica, mediana e pobre. Com a ampliação do conhecimento nesta área, espera-se disseminar a utilização dos agregados reciclados e, consequentemente, minimizar os impactos ambientais causados pela extração de recursos naturais e pela geração de RCD.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na produção das argamassas cimento CPI-32 foram utilizados, água deionizada proveniente do sistema de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro, areia média lavada do leito do rio Guandu, e agregada reciclado obtida da britagem dos resíduos de demolição da Ala Sul do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho no Rio de Janeiro (Fotografia 1a).

A primeira etapa da pesquisa consistiu na homogeneização do RCD. Após a remoção de materiais indesejáveis como aço, plásticos e madeira, foi realizada a separação do material pela cor predominante: cinza ou vermelha. A parcela cinza foi submetida ao processo de quarteamento, onde o material é distribuído ao longo de um plástico, e a partir da seção do meio é dividido em seções denominadas células. O material foi então, encaminhado a um reciclador de resíduos da construção civil, conhecido como Queixada 200 (Fotografia 1b), em que ocorreu a moagem. Esse britador produz duas frações de agregados reciclados: graúdos e miúdos. No trabalho em questão foi utilizada a fração miúda dos resíduos e a granulometria desejada foi atingida com apenas uma passagem do material pelo triturador.



(a)



(b)

FOTOGRAFIA 1 • (a) Resíduos da demolição do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho; (b) Queixada 200.

FONTE: (a) www.oglobo.globo.com/rio (Abril, 2011).

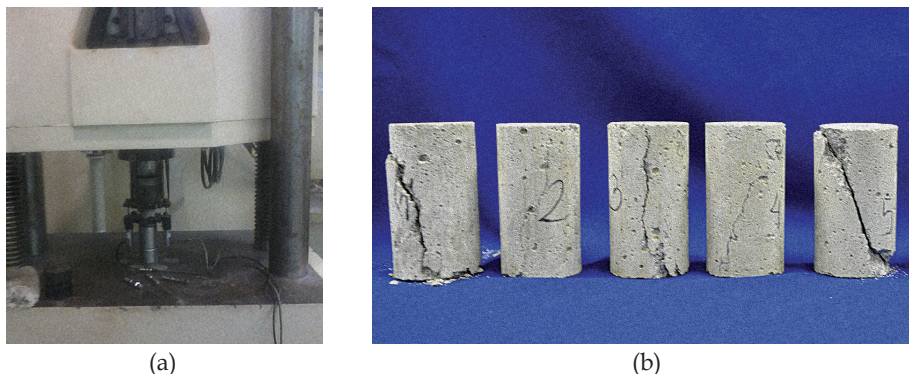
Entretanto, foram moldadas 12 misturas com três distintos traços e fator água/cimento, as quais foram classificadas como misturas de argamassa rica, mediana e pobre.

A argamassa rica possuía traço 1:2 e fator água/cimento de 0,45; a mediana possuía traço 1:4 e fator água/cimento de 0,68, e a pobre 1:6 e 1,05. Para cada uma dessas classificações, e assim, definidas com diferentes porcentagens de substituição, baseadas no volume de cimento, do agregado natural (AGN) pelo reciclado (AGR), 0% (mistura de referência), 15%, 25% e 50% (Quadro 1).

CLASSIFICAÇÃO	NOMENCLATURA	% AGREGADOS
Argamassa rica	M1	100% AGN
	M1-15%	85% AGN + 15% AGR
	M1-25%	75% AGN + 25% AGR
	M1-50%	50% AGN + 50% AGR
Argamassa mediana	M2	100% AGN
	M2-15%	85% AGN + 15% AGR
	M2-25%	75% AGN + 25% AGR
	M2-50%	50% AGN + 50% AGR
Argamassa pobre	M3	100% AGN
	M3-15%	85% AGN + 15% AGR
	M3-25%	75% AGN + 25% AGR
	M3-50%	50% AGN + 50% AGR

QUADRO 1 • Classificação das misturas de argamassa

A resistência mecânica dos materiais é de extrema importância na engenharia e, por esse motivo, foram realizados ensaios mecânicos para obter seu comportamento mediante a adição de agregados reciclados. O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 28 dias, com o auxílio de cinco corpos de prova por mistura de dimensão 50 x 100 mm. Os corpos de prova foram retirados da câmara úmida no dia do ensaio, e encaminhados ao faceamento em torno de usinagem. Após esse procedimento, ocorreu o rompimento das argamassas na prensa servo-controlada *Shimadzu* modelo UH-F1000Kni (Fotografia 2a), de acordo com a NBR 7215/1996, sendo adotada uma velocidade de carregamento de 0,1 mm/min. Os deslocamentos longitudinais foram determinados mediante o uso de transdutores elétricos, os quais fornecerão o comportamento tensão versus deformação nos corpos de prova. A Fotografia 2b apresenta os corpos prova após a ruptura à compressão.



FOTOGRAFIA 2 • (a) Prensa servo-controlada Shimadzu UH-F1000Kni; (b) Corpos de prova após a ruptura.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No ensaio de resistência à compressão axial espera-se que as misturas produzidas com agregado reciclado não apresentem significativa perda dessa propriedade, quando comparadas às misturas com agregado natural. Sendo realizadas duas análises dos resultados obtidos: análise das diferenças percentuais e análise estatística para pequenas amostras com nível de confiança de 95%.

5.1 Argamassa rica

As curvas tensão x deformação características dos corpos de prova das misturas de argamassa rica foram traçadas, e na Figura 1 encontram-se as curvas de um dos corpos de prova que melhor representa cada mistura. Os valores da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 1. Não foram considerados os resultados da mistura M1-25% devido a problemas na obtenção de dados no ensaio.

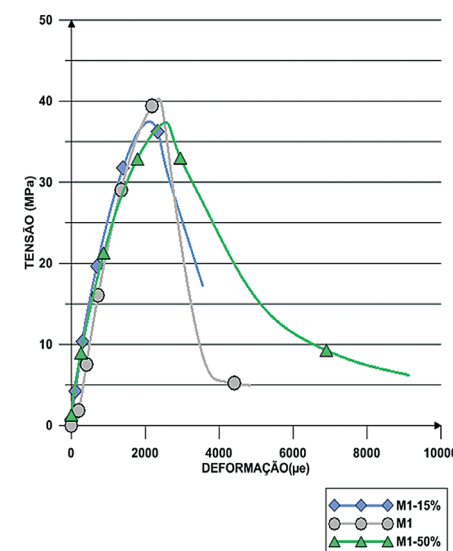


FIGURA 1 • Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova das misturas de argamassa rica.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

MISTURAS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO (DP)
M1	40,83	1,09
M1-15%	38,17	1,52
M1-50%	36,79	1,61

TABELA 1 • Resistência à compressão das misturas de argamassa rica.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que ocorreu uma redução da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado. Pela análise das diferenças de percentuais, as misturas M1-15% e M1-50% sofreram uma redução de resistência à compressão de 6,5% e 9,9%, respectivamente, em relação à mistura M1. Como a redução foi inferior a 10% para ambas as misturas, considera-se que não houve redução significativa dessa propriedade.

Utiliza-se a análise estatística para pequenas amostras, porém foi-se observada uma redução significativa da resistência à compressão das misturas com agregado reciclado

em relação à mistura com agregado natural. Esse resultado apresenta-se diferente do obtido através da análise das diferenças de percentuais, o que pode ser explicado pelo fato do desvio padrão ser considerado apenas na análise estatística.

Considerando o desvio padrão nos resultados e, portanto, a análise estatística, pode-se afirmar que a resistência à compressão para a argamassa rica com substituição sofre alteração significativa para todos os teores de substituição.

5.2 Argamassa mediana

As curvas tensão x deformação características dos corpos de prova das misturas de argamassa mediana foram traçadas, e na Figura 2 encontram-se as curvas de um dos corpos de prova que melhor representa cada mistura. Os valores da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 2.

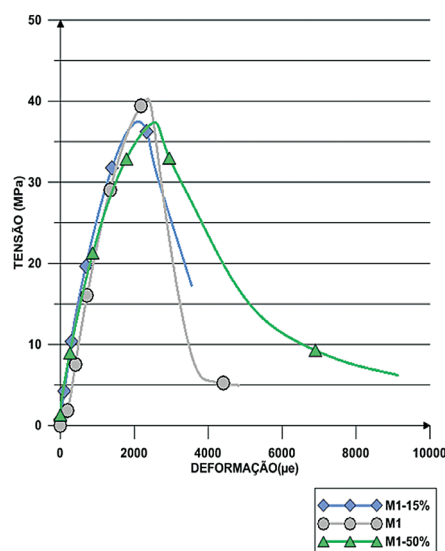


FIGURA 2 • Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova das misturas de argamassa mediana.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

MISTURAS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO (DP)
M2	18,09	1,15
M2-15%	18,81	0,78
M2-25%	17,26	1,21
M2-50%	15,19	0,85

TABELA 2 • Resistência à compressão das misturas de argamassa mediana.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que para as misturas de menores teores de substituição a variação ocorrida na resistência foi pequena. Pela análise das diferenças de percentuais, a mistura M2-15% sofreu um acréscimo de 4,0%, enquanto, as misturas M2-25% e M2-50% sofreram uma redução na resistência de 4,6% e 16,0% em relação à mistura de referência M2, respectivamente. Como a variação sofrida pelas misturas M2-15% e M2-25% foi inferior a 10%, considera-se que não houve alteração significativa da resistência à compressão. Já a mistura M2-50% obteve uma redução significativa dessa propriedade.

Utiliza-se análise estatística para pequenas amostras, pois observa-se que, a única mistura que sofreu alteração significativa da resistência comparada à mistura de referência foi a M2-50%. Esse resultado está de acordo com o obtido através da análise das diferenças de percentuais, visto que as misturas M2-15% e M2-25% apresentam uma variação em relação à M2 inferior a 10%.

Conforme o resultado obtido, pode-se afirmar que argamassas medianas produzidas com uma porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado inferior a 25%, se comportam de maneira semelhante à argamassa convencional no que diz respeito à resistência à compressão. Entretanto, para substituições superiores a 25%, ocorre uma diminuição dessa propriedade, pode-se a partir de certa porcentagem ser relevante como mostra na M2-50%.

5.3 Argamassa pobre

As curvas tensão x deformação características dos corpos de prova das misturas de argamassa pobre foram traçadas, e na Figura 3 encontram-se as curvas de um dos corpos de prova que melhor representa cada mistura. Os valores da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 3.

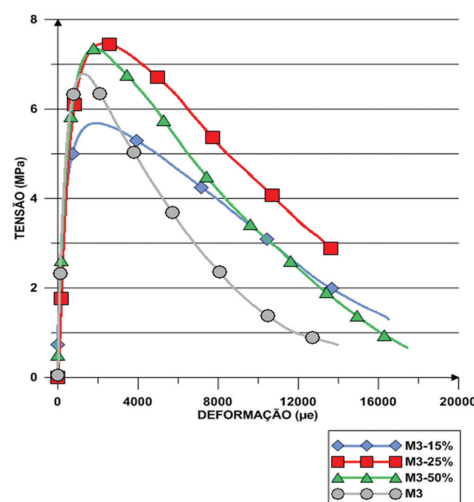


FIGURA 3 • Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova das misturas de argamassa pobre.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

MISTURAS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO (DP)
M3	6,16	1,09
M3-15%	5,6	0,38
M3-25%	7,87	0,94
M3-50%	7,16	0,51

TABELA 3 • Resistência à compressão das misturas de argamassa pobre.

FONTE: (CALCADO; FERREIRA, 2013).

De acordo com a análise das diferenças de percentuais, a mistura M3-15% sofreu uma redução de 9,0%, enquanto as misturas M3-25% e M3-50% sofreram um acréscimo na resistência de 27,8% e 16,2% em relação à mistura, respectivamente. Como a variação sofrida entre as misturas M3-25% e M3-50%. Considera-se superior a 10%, porque houve um aumento significativo da resistência à compressão. Já a mistura M3-15%, não obteve uma alteração relevante dessa propriedade.

Utilizando a análise estatística para pequenas amostras, mostra-se que a única mistura que sofreu alteração significativa da resistência comparada à mistura de referência foi a M3-25%. Este resultado, não está em concordância com a análise das diferenças de percentuais, contudo o mesmo pode ser explicado, visto que somente na análise estatística é levado em consideração o desvio padrão.

Considera-se o desvio padrão nos resultados e, portanto, a análise estatística, pode-se afirmar que apenas para a argamassa pobre com substituição de 25%, a resistência à compressão apresenta variação significativa em relação à convencional. Contudo, como ocorreu um incremento da resistência na mesma, o resultado obtido pode ser considerado satisfatório.

5.4 Influência do traço na resistência à compressão

A influência do traço nos valores da resistência à compressão das misturas de referência pode ser observada na Tabela 4.

MISTURA/TRAÇO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	DIFERENÇA PERCENTUAL (%)
M1 - 1:2 - 0,45	40,83	-
M2 - 1:4 - 0,68	23,54	42,3
M3 - 1:6 - 1,05	6,16	84,9

TABELA 4 • Influência do traço na resistência à compressão.

De acordo com Tabela 4, pode-se notar que a argamassa pobre (1:6- 1,05) apresenta a menor resistência à compressão, por isso sofre uma redução de 84,9% em relação à argamassa rica. Já a argamassa mediana apresentou uma diminuição de 42,3%. Esse resultado já era esperado e está coerente, visto que ocorre perda de resistência com o aumento da proporção de água e agregados nas misturas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que o conhecimento a respeito do comportamento das misturas produzidas com agregado reciclado é proveniente de resíduos de construção e demolição, e ainda é incipiente. Desta forma, pesquisas relacionadas a esse tema apresentam grande relevância, e vêm sendo constantemente realizadas, em que busca-se a inserção desses novos materiais no mercado.

Conforme os resultados apresentado, pode-se concluir que a adição de agregado reciclado tende a causar uma redução na resistência à compressão. Percebe-se que as misturas de argamassa pobre sofreram a menor influência da substituição do agregado natural pelo reciclado, visto que as resistências não foram significativamente reduzidas e ocorreu, inclusive, um aumento no valor desta propriedade para a mistura com 25%

de substituição. Para a argamassa mediana, pode-se observar que apenas houve alteração significativa para a mistura de 50% de substituição e, portanto, para teores inferiores a este, o resultado é satisfatório. Já a argamassa rica sofreu uma redução considerável na resistência à compressão para todos os teores de substituição, como já era esperado.

Em virtude da resistência à compressão, o uso de agregados reciclados é satisfatório em misturas de argamassa pobre até 50% de substituição, que pode-se até ocorrer um acréscimo nesta propriedade. Já para as misturas de argamassa mediana, teores de 15% e 25%, também apresentam resultado satisfatório, diferentemente das misturas de argamassa rica, as quais apresentam redução significativa da resistência para todos os teores ensaiados.

Apesar de não abordados, outros ensaios foram realizados visando obter mais informações sobre a influência dos agregados reciclados em algumas propriedades como: granulometria, densidade dos agregados, trabalhabilidade, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral, absorção, índice de vazios e massa específica das argamassas. Para completo entendimento do desempenho das argamassas com agregado reciclado sugere-se realizar ensaios reológicos, de permeabilidade a gás, e a água é compacidade das misturas. Só após a análise da influência dos agregados reciclados de RCD em todas essas propriedades, será possível verificar a viabilidade técnica destes novos materiais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

CALCADO, G. C. S.; FERREIRA, J. C. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland**. Relatório CNPQ/PIBIC. Rio de Janeiro, Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, julho, 2002.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de doutorado. Porto Alegre, Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LIMA, F. S. N. S., **Aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de argamassas**. 93 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, João Pessoa 2005.

MOLL S, BRINGEZU S, SCHUTZ H. *Resource use in European countries – material flows and resource management*. **Wuppertal (DE)**: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy; 2005.

PIMENTEL L. L.; LINTZ C. C. R.; SACRAMENTOW.; ARAUJO R. - **Utilização de resíduos da construção para a produção de argamassa de revestimentos**. 49º Congresso Brasileiro de Concreto IBSN 97885 – 98576 – 17- 6; Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul, 2007.

QUEBAUD, M.; COURTIAL, M.; BUYLE-BODIN, F. *The recycling of demolition materials: basic properties of concretes with recycled aggregates from demolished buildings*. In: R'97 – RECOVERY, RECYCLING, EW-INTEGRATION, INTERNATIONAL, CONGRESS WITH EXHIBITION, Geneva, Switzerland. Switzerland: [s.n], 1997. 2v. v.2., p. 11179 – 11186, 1997.

SILVA, V. G. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. Qualidade na Construção**. São Paulo, n. 25, p. 14-22, 2000.

Escombros de prédio implodido no Hospital da UFRJ ainda não foram recolhidos na Ilha do Fundão. Abril, 2011. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/escombros-de-predio-implodido-no-hospital-da-ufrj-ainda-nao-foram-recolhidos-na-ilha-do-fundao-2801119>> - Acesso em: Janeiro, 2015.

APLICAÇÃO DE MÉTODO INTEGRADO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE FMEA E FTA NA DETECÇÃO E CONTROLE DE PATOLOGIAS EM SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS E SANITÁRIOS

Arthur Bastos Silva ¹
Elaine Garrido Vazquez ²

Resumo

“O desempenho das edificações deve ser controlado tanto em projeto e construção, quanto durante sua vida útil. A manutenção é processo inerente à longevidade das edificações uma vez que, se torna ferramenta indispensável à adequação das mesmas aos requisitos definidos em seu perfil projetado, evitando seu envelhecimento precoce e otimiza-se sua utilização. No Brasil, a manutenção de edifícios é um setor falho no que diz respeito à prevenção e combate de patologias prediais, em que reflete diretamente em custos onerosos para proprietários e inutilização de edifícios ainda com potencial de uso. No setor público, o fator se agrava pela má gestão de recursos e priorização de outras atividades, e também a não manutenção das instalações das edificações destinadas às suas atividades. Devido à baixa disponibilidade de recursos financeiros e à alta necessidade de ambientes que atendam níveis elevados de desempenho, torna-se necessária a racionalização do processo de manutenção, o que pode ser atingido com a utilização das ferramentas de gestão da qualidade total. Análise da Árvore de Falhas (FTA) e Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA) combinados, para a realização de inspeções prediais direcionadas à montagem de um banco de dados, que permita a hierarquização por nível de risco das patologias prediais detectadas, e à criação de planos de ação preventiva e corretiva a fim de diminuir sua ocorrência. Este trabalho apresenta os resultados do estudo de caso do Hospital Federal dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro (HFSE), caracterizado por vistoria nas instalações prediais de Hidráulicas e Sanitárias de parte de seu prédio central e análise das patologias encontradas seguindo modelo desenvolvido, a partir dos métodos de gestão. Pôde-se aferir que a criação de uma rotina de gestão da manutenção com hierarquização das patologias e desenvolvimento de diagramas determinam suas causas básicas, bem como definição de seus efeitos e índice de risco otimizou o processo e deu diretrizes essenciais para combate dos problemas com erradicação de suas causas básicas.”

Palavras-chave » Desempenho das Edificações. Serviços de Manutenção Predial. Patologia das Construções.

¹ E-mail: bastos.arthur@poli.ufrj.br.

² E-mail: elaine@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

A visão contemporânea de edifício ultrapassa a ideia de simples espaço para realização das atividades humanas. A edificação, como vista hoje, tornou-se um produto de um processo racional e empírico de produção baseado em requisitos de desempenho acordados e comprovados pela sociedade. A norma NBR 5674/99 – Manutenção de Edificações – Procedimento define a edificação como “produto constituído pelo conjunto de elementos definidos e integrados em conformidade com os princípios e técnicas da Engenharia e da Arquitetura para, ao integrar a urbanização, desempenhar funções ambientais em níveis adequados”. (ABNT, 1999).

Tal evolução conceitual cria, em outra instância, a necessidade de que, durante sua utilização, o edifício seja constantemente controlado para que eventuais desvios do padrão estabelecido sejam devidamente resolvidos, e possíveis falhas sanadas quando existentes ou previstas com antecedência para que não cheguem a comprometer seu uso. Nesse aspecto é cada vez mais necessária a criação de uma rotina de manutenção predial galgada em duas vias: correção de problemas existentes e prevenção de possíveis problemas futuros.

A manutenção predial, segundo a norma relacionada, pode ser identificada como um “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança de seus usuários”. (ABNT NBR 1999).

Para tanto, a manutenção se faz valer de atividades de inspeções periódicas nas edificações, a fim de detectar evidências de patologias e traçar planos de correção e prevenção de recorrência das falhas encontradas. Um dos pontos críticos desse processo constitui-se justamente na falta de inspeção ou inspeção não criteriosa, culminando na recorrência de patologias que, se graves, podem comprometer a vida útil da edificação.

Segundo estudo realizado pela Câmara de Inspeção Predial do IBAPE/SP, 66% das incidências de acidentes prediais de qualquer natureza são causados por falhas na manutenção da edificação ou uso indevido, contra 34% provenientes essencialmente de anomalias ou erros construtivos e de projeto, como demonstra figura 1.

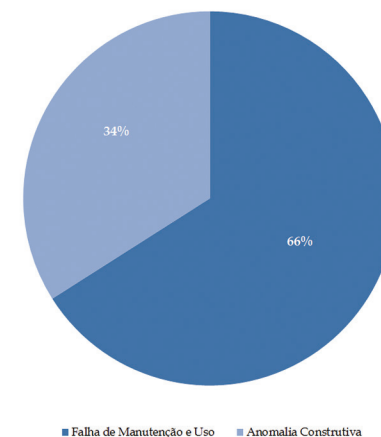


FIGURA 1 • Distribuição da incidência dos acidentes prediais por tipo de origem.

FONTE: Pujadas et. al. 2012

Da parcela majoritária caracterizada pela falha de manutenção e uso, os sistemas prediais hidráulicos e sanitários configuram-se como principais responsáveis pela incidência quantitativa de patologias em edificações, bem como na relação incidência x custo. Uma pesquisa coordenada por Bernardes no ano de 1998, em 52 edifícios de oito construtoras mostrou que, os vícios mais recorrentes em edificações também respondem pelo maior custo de reparo. O estudo comprova que os subsistemas hidráulicos se configuram como campeões incidência x custo.

No caso de edificações públicas de uso coletivo o paradoxo é ainda maior. Hospitais, que demandam nível elevado de desempenho por parte dos sistemas prediais, por exemplo, em geral tem sua manutenção preventiva falha ou inexistente, elevando custos com correções que seriam facilmente evitadas, se houvesse uma gestão sistêmica do processo de manutenção.

Deste modo, faz-se necessária para todas as edificações, e em especial para as públicas, uma racionalização do processo de manutenção predial, galgada na otimização de custos pelo diagnóstico precoce e exatidão metodológica, em vistorias direcionadas, das patologias com maior risco para os sistemas e usuários culminando em sua rápida erradicação através de planos de ação padrão documentados.

2 OBJETIVO

O presente estudo tem por objetivo aplicação de ferramentas de gestão da qualidade em inspeções de edificações com subsistemas complexos e de grande porte, que visem o diagnóstico e proposição de planos de ação corretiva e preventiva nesses determinados locais, a fim de que o processo de melhoria da infraestrutura seja otimizado, e tais edificações possuam seu desempenho mantido por um período maior de tempo.

Para tal, procura-se desenvolver ferramenta que permita racionalização do processo de manutenção predial, a fim de que se reduza o custo e melhore as condições dos ambientes utilizando método integrado de Análise da Árvore de Falhas (FTA) e Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) como ferramenta.

3 JUSTIFICATIVA

A manutenção predial caracteriza atividade inerente à otimização de custos de utilização de uma edificação com aumento de sua vida útil potencial. A prevenção torna-se item imprescindível em se tratando de edificações de grande porte, e com alto nível de desempenho requerido, a fim de que custos com manutenção corretiva sejam racionalizados.

Para tanto, há que utilizar a manutenção com a ótica da gestão estratégica de qualidade, sendo suas atividades regidas pelos preceitos de melhoria contínua. A aplicação de ferramentas de gestão da qualidade na detecção e controle de patologias existentes e potenciais faz-se, deste modo, elemento interessante na medida em que norteia as atividades das equipes de manutenção para a priorização de patologias com alto risco e custo, e cria banco de dados para reconhecimento e prevenção de problemas futuros.

4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A racionalização do método aplicado à manutenção predial configura-se pela detecção de patologias através de inspeção predial norteadas por preceitos da Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

de São Paulo), seguida de análise criteriosa dos resultados, a partir de método integrado de ferramentas de gestão da qualidade FMEA (Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos) e FTA (Análise da Árvore de Falhas).

Segundo (STAMATIS, 2003) “O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, de sistemas, projetos, processos e/ou serviços, antes que estas atinjam o cliente”.

O FTA, ou Método de Análise da Árvore de Falhas, é uma das ferramentas empregadas na gestão da qualidade de diversos projetos e processos em empresas, seja na sua fase de implementação, ou em sua execução, e ainda na manutenção da qualidade na fase de uso dos produtos.

Para a análise das patologias detectadas em inspeção predial, foi utilizado método integrado das duas ferramentas, em que faz-se descrição da patologia como um modo de falha, utiliza-se formulário FMEA para caracterização de seus efeitos aliado à análise da árvore de falhas de cada um para determinação de todas as suas causas básicas e auxílio no cálculo dos índices de risco.

Após o cálculo dos índices, pôde-se hierarquizar as patologias de maior para menor risco, e fazer a proposição de planos de ação corretiva e preventiva que visem a implantação de padrões de ação de controle patológico das edificações.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O estudo apresentado foi orientado para edificações públicas de uso coletivo de grande porte, priorizando a rede de hospitais federais, os quais são considerados edificações com necessidade de elevado nível de desempenho devido ao perfil de seus usuários, pacientes, e que, na rede pública, possuem sistema falho de manutenção, agravando os riscos à saúde dos referidos usuários, a fim de que tivesse sua eficácia comprovada.

Estudo de caso: Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE)

Para efeito comprobatório do método empregado, foi realizado estudo de caso em unidade hospitalar do município do Rio de Janeiro, o Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE).

O HFSE constitui um complexo de edificações situado na Rua Sacadura Cabral, região portuária do município, dividido em um prédio principal, e quatro prédios anexos. Para efeito de simplificação de aplicação do método, foram levados em consideração para os resultados apenas os sistemas prediais hidráulicos e sanitários (SPHS) do Prédio Principal.

Método empregado

O método integrado FMEA + FTA para detecção, correção e prevenção de patologias prediais segue modelo do fluxograma de trabalho a seguir (Figura 2).

5.2.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Para fins práticos, foram consideradas patologias encontradas em inspeção técnica visual das dependências do hospital, sendo coletados dados empíricos dos sistemas de Água Fria, Água Quente, Esgoto Sanitário e Águas Pluviais, com enfoque nos pontos de utilização, contato direto do usuário com os referidos sistemas. Fatores externos, tais como: transporte de material e fatores ambientais locais foram suprimidos.

Para conhecimento prévio das instalações do hospital, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre sua origem, bem como coleta de informações e fluxo de pacientes por especialidade por dia, dados sobre projetos prévios de instalações e plantas baixas dos pavimentos.

A inspeção predial realizada segue preceitos definidos pela norma IBAPE/SP para o tema. Considerando os aspectos tratados no documento, pode-se aferir que a vistoria realizada constitui-se inspeção de Nível 1: “Identificação das anomalias e falhas aparentes, elaborada por profissional habilitado”.

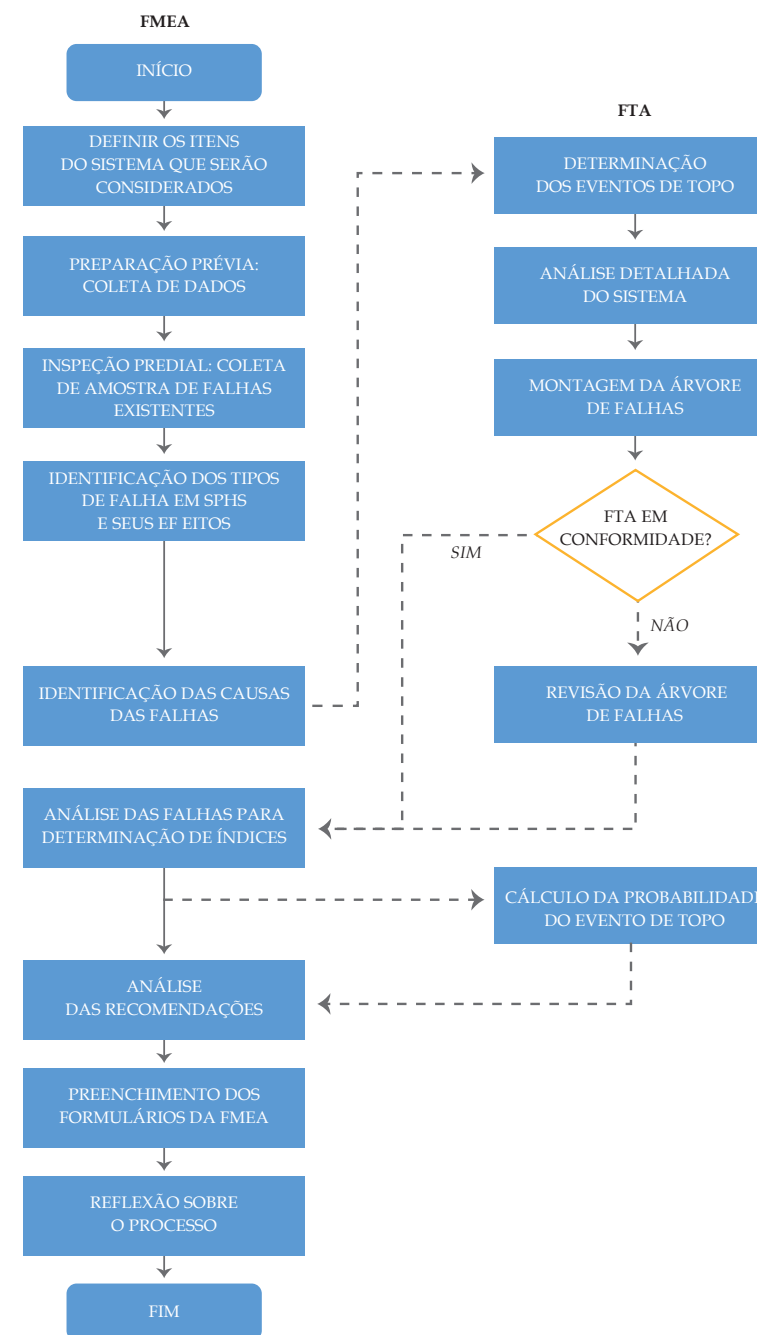


FIGURA 2 • Fluxograma de desenvolvimento do método integrado FMEA + FTA.

FONTE: Autor, 2015.

Os resultados encontrados são demonstrados pelo quadro 1, o qual classifica as patologias em modos de falha, agrupando-as por elemento dos SPHS. A partir da classificação proposta, pôde-se realizar análise qualitativa das patologias/modos de falha encontrados, com auxílio de pesquisa bibliográfica e experiência dos profissionais envolvidos na aplicação do método.

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO DE FALHA	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS
1 - TUBULAÇÃO E CONEXÕES			
1.1	Tubulação	1.1.1 Vazamento em tubulação de pvc roscável	9
		1.1.2 Corrosão em tubulação metálica	2
		1.1.3 Deterioração de tubulação de pvc	5
		1.1.4 Instalação de dreno de ar inadequada	2
		1.1.5 Instalação incompleta (ausência de peças)	10
1.2	Conexões	1.2.1 Falta instalação de sifão	2
		1.2.2 Vazamento em sifão	5
		1.2.3 Vazamento em saída de água	5
2 - REGISTROS E VÁLVULAS			
2.1	Registros gaveta e pressão	2.1.1 Falta de acabamento	81
		2.1.2 Vazamento	5
2.2	Válvula de descarga	2.2.1 Falta de acabamento (canopla)	74
		2.2.2 Vazamento	3
3 - METAIS, LOUÇAS E EQUIPAMENTOS			
3.1	Chuveiro	3.1.1 Falta instalação	5
		3.1.2 Altura irregular	1
3.2	Torneira	3.2.1 Falta instalação	11
		3.2.2 Vazamento	19
3.3	Lavatório	3.3.1 Fixação inadequada	5
3.4	Bacia sanitária	3.4.1 Falta instalação	2
		3.4.2 Entupimento	8
4 - CAIXAS E RALOS			
4.1	Ralo seco e sifonado	4.1.1 Ausência de grelha/tampa	8
		4.1.2 Entupimento	4

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO DE FALHA		NÚMERO DE OCORRÊNCIAS
5 - REVESTIMENTOS E IMPERMEABILIZAÇÕES				
5.1	Revestimento cerâmico	5.1.1	Absorção excessiva	7
		5.1.2	Estufamento	6
		5.1.3	Quebra e trincamento	37
		5.1.4	Falta revestimento	5
6 - OUTROS				
6.1	Resíduos	6.1.1	Descarte inadequado	1
		6.1.2	Vazamento	1
6.2	Infiltrações	6.2.1	Em teto	64
		6.2.2	Em parede de áreas molhadas	34
		6.2.3	Em paredes externas	7
TOTAL ABSOLUTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS				428

QUADRO 1 • Patologias encontradas em inspeção predial ao HFSE.

FONTE: Autor, 2015.

Para efeitos demonstrativos, optou-se pela análise, nesta etapa, das causas e efeitos dos vazamentos encontrados em tubulação de PVC rígido das instalações aéreas de água fria.

Os vazamentos em tubulação possuem duas causas principais: falta de estanqueidade nas ligações de tubos e conexões, ou rachaduras na própria superfície das peças da tubulação. Tal patologia pode ocorrer por uma das causas isoladamente, ou pela presença das duas concomitantemente.

Se a causa for falta de estanqueidade das ligações, considerando que a tubulação descrita possui conexões roscáveis, um fabricante popular no mercado relaciona possíveis causas básicas relacionadas à execução incorreta ou ao próprio material utilizado: falta de vedante, abertura insuficiente de fios de rosca nos tubos, encaixe incorreto das roscas, roscas deformadas, entre outros.

Considerando rachaduras na superfície da tubulação, estas podem ser ocasionadas por diversos fatores físicos da instalação. Segundo (Knickelbine, 2014), alguns fatores preponderantes podem ser: sobre pressurização, dobramento excessivo, vibração e calor. Cada uma destas, por sua vez, possui causas específicas básicas.

A análise de causas e sua inter-relação podem ser evidenciadas pela Árvore de Falhas construída para a patologia em questão, demonstrada pela figura 3.

Para vazamentos em tubulações, os efeitos para o usuário e para o sistema em si são inúmeros. A princípio, se o vazamento encontra-se em tubulação embutida de água em parede ou piso, provoca infiltração nos elementos estruturais e de vedação, e assim, causa-se outra patologia comumente observada. Através de inspeção visual identificou-se, por exemplo, que, para o caso, a umidade ocasionou o aparecimento manchas, perda de pintura e alteração no revestimento, exigindo na maioria das vezes a recuperação, ou até mesmo a necessidade de se refazer revestimentos, gerando gastos dispendiosos. Estes defeitos geram problemas de caráter estético e funcional.

Em uma instância mais relacionada com a saúde dos usuários, evidencia-se o desenvolvimento visual de bolor e mofo, devido à umidade causada pelos vazamentos. Tais efeitos, em casos de ambientes com alta necessidade de higienização, como hospitais, a presença de organismos nocivos pode comprometer a saúde de pacientes, muitas vezes agravar seu quadro.

Para uma análise de risco da patologia, o método FMEA define a determinação de três índices básicos, os quais, multiplicados, geram o índice de risco da falha determinada: Índice de Ocorrência (O), Índice de Gravidade (G) e Índice de Detecção (D).

O número de ocorrência de vazamentos fora somado com as ocorrências de infiltrações em paredes de áreas molhadas, e em metade das ocorrências de infiltração em teto, pois, por inspeção visual, verificou-se que a maioria das infiltrações encontradas na inspeção originou-se em locais próximos de tubulações hidráulicas, o que evidencia sua relação direta causa e efeito.

$$N^{\circ} \text{ Absoluto de Ocorrências} = 428 \text{ patologias}$$

$$N^{\circ} \text{ de Ocor. de Vazamento em tubulação e seus efeitos} = (9 + 34 + 32) = 75 \text{ patologias}$$

$$\text{Frequência de Vazamento e seus efeitos} = \frac{75}{428} = 0,175$$

O resultado demonstra que a cada 100 patologias encontradas, aproximadamente 18 correspondem a vazamentos, ou tem como causa principal vazamentos (no caso de infiltrações). A frequência relativa pode ser determinada por aproximadamente 1:5,71.

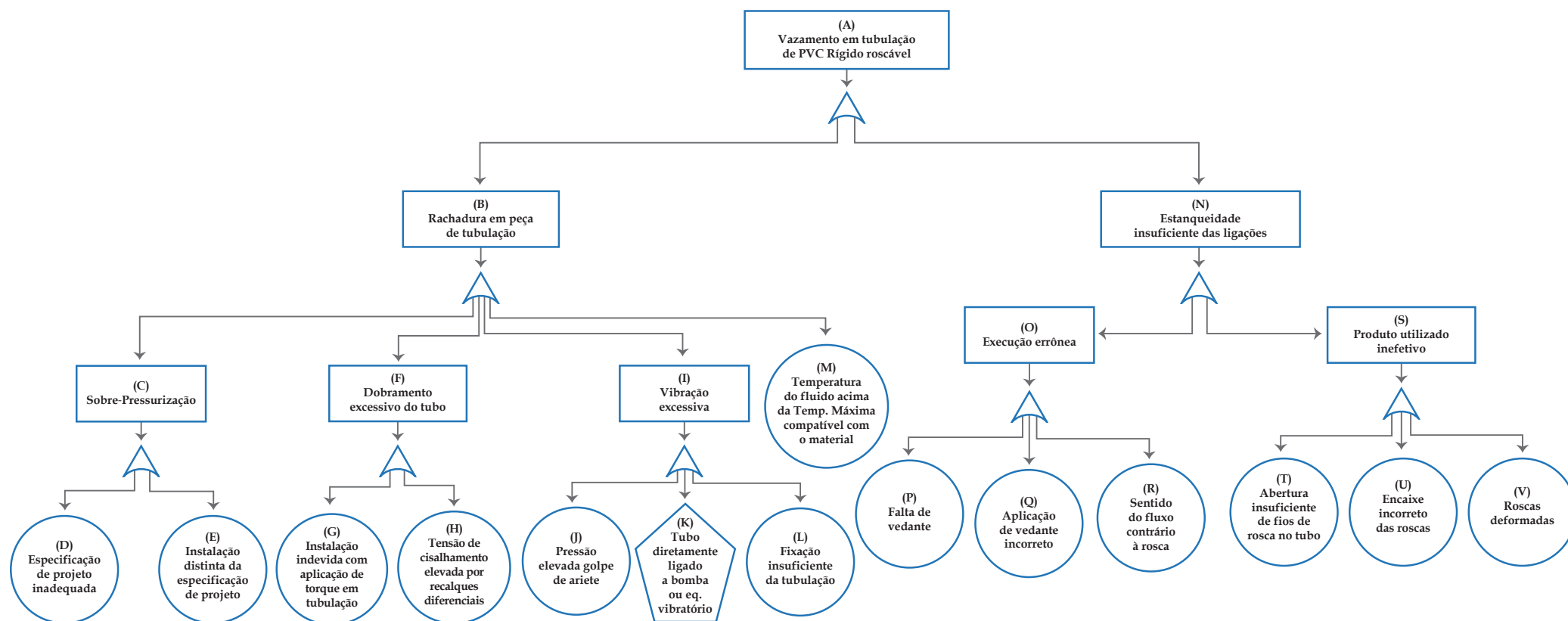


FIGURA 3 • Árvore de Falha para Vazamento em Tubulação de PVC Rígido Roscável.

FONTE: Autor, 2015.

O Índice de Ocorrência (O) segundo (HELMAN; ANDERY, 1995), “avalia a probabilidade de ocorrer à causa de uma falha, e a partir da mesma, resultar o modo de falha correspondente”. Utilizando classificação sugerida pelos referidos autores, pode-se aferir para a frequência relativa determinada (1:5, 71), o Índice de Ocorrência é 8.

O Índice de Gravidade (G) é uma avaliação das consequências para o usuário, da ocorrência do Modo de Falha ou Patologia analisada. Tal análise tem base qualitativa na experiência do desenvolvedor, e nos efeitos relacionados a cada modo.

Considerando vazamento em tubulação e a natureza da referida edificação, pode-se classificar os efeitos para os usuários como graves, na medida em que, a umidade de locais pode gerar desenvolvimento de microorganismos patológicos. Além do exposto, o custo com reparo de tal patologia torna-se elevado na medida em que, a maioria da tubulação encontra-se embutida e uma intervenção física necessitaria de interdição de determinada área. Deste modo, enquadrou-se a falha no Índice de Gravidade 9.

O Índice de Detecção (D) é caracterizado pela análise qualitativa da possibilidade de percepção de uma falha potencial, antes que esta ocorra, e seja percebida pelo usuário. Para vazamentos, considera-se Índice de Detecção 8, tendo em vista que o que se consegue perceber visualmente com facilidade são os efeitos do mesmo, tais como eflorescência, mofo e umidade, fatores que são facilmente perceptíveis pelos usuários.

Para o caso de SPHS, o índice de detecção diz respeito à possibilidade de perceber o acontecimento da patologia antes que o usuário possa tomar ciência, o que só é conseguido com um sistema de manutenção eficiente.

O quadro a seguir resume os critérios adotados para cada um dos índices determinados.

ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O)			ÍNDICE DE GRAVIDADE (G)	
ÍNDICE	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	FREQUÊNCIA RELATIVA	ÍNDICE	CONCEITO
1	Muito remota	Menor que 1 em 500000	1	Falha de Menor Importância; quase não são percebidos, os efeitos sobre o produto/processo.
2	Muito pequena	1 em 50.000 – 1 em 500000	2-3	Provoca redução de desempenho do produto, e surgimento gradual de ineficiência; cliente perceberá a falha, mas não ficará insatisfeito com ela
3	Pequena	1 Em 5.000 – 1 em 50.000		
4	Moderada	1 Em 1.000 – 1 em 5.000	4-6	Produto sofrerá uma degradação progressiva: ineficiência moderada; produtividade reduzida; início da frustração por parte do operador do processo ou cliente do produto; cliente perceberá a falha e ficará insatisfeito.
5	Moderada	1 Em 200 – 1 em 1.000		
6	Moderada	1 Em 50 – 1 em 200		
7	Alta	1 Em 15 – 1 em 50	7-8	Mais de 50 a 70% das vezes não se consegue manter a produção e se requer grande esforço do operador, há baixa eficiência, e produtividade. Em campo, o produto não desempenha sua função.
8	Alta	1 Em 5 – 1 em 15		
9	Muito alta	1 Em 2 – 1 em 5	9-10	Não se consegue produzir, “colapso” do processo. Problemas são catastróficos, pois pode-se gerar danos a bens ou pessoas, e cliente muito insatisfeito.
10	Muito alta	Maior ou igual a 1 em 2		
ÍNDICE DE DETECÇÃO (D)				
1	Muito alta probabilidade de detecção		7-8	Pequena probabilidade de detecção. Nível de controle muito baixo. Até 90% das vezes o sistema sai de controle.
2-3	Alta probabilidade de detecção. Em processos, ações corretivas são tomadas em pelo menos 90% das vezes.		9	Muito pequena probabilidade de detecção. Não há nenhum tipo de controle ou inspeção
4-6	Moderada probabilidade de detecção. Somente em 50% das vezes, em que o processo sai de controle.		10	Muito remota probabilidade de detecção. A falha não pode ser detectada.

QUADRO 2 • Determinação dos Índices FMEA e seus critérios.

FONTE: (Helma; Andery, 1995) (Adaptado).

O Índice de Risco (R) para a patologia em questão pode, então, ser determinado:

$$R = O \times G \times D = 8 \times 9 \times 8 = 576$$

A partir do Índice de Risco, considerou-se a patologia em questão como de Alto Risco, devido aos efeitos que pode gerar na unidade hospitalar, de seu nível de ocorrência e gravidade de seus efeitos.

Para que infiltrações, bolores e outros efeitos de vazamentos sejam sanados, sugere-se como plano de ação principal a intervenção local com identificação dos vazamentos e substituição das peças danificadas. Como auxílio na busca de ações profiláticas, utilizou-se a Árvore de Falhas da patologia identificada. Em caso de falta de estanqueidade da tubulação, deve-se realizar sua remoção e reinstalação com vedação adequada.

O formulário FMEA, produto final da análise, descreve todas as etapas do processo e pode ser utilizado como consulta posterior para futuras inspeções, a fim de que se oriente o processo de detecção de patologias potenciais, e estas sejam combatidas em suas causas básicas, antes de se manifestarem de forma acentuada. O formulário para a análise patológica em questão é apresentado no Quadro 3.

INSPEÇÃO PREDIAL HOSPITAL FEDERAL DOS SERVIDORES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - ANÁLISE FMEA DAS PATOLOGIAS						
ITEM	PATOLOGIAS					
	MODO	OCORR.	TIPO	EFEITOS	CAUSAS	
1. TUBULAÇÃO E CONEXÕES						
1.1	TUBULAÇÃO					
1.1.1	VAZAMENTO	75	Anomalia Endógena (Originária da própria edificação)	Consumo Excessivo; bolor e eflorescências, umidade excessiva, desgaste dos revestimentos, deterioração das peças estruturais sob influência de umidade, riscos à saúde dos usuários, sobretudo aos em tratamentos de risco.	Especificação de projeto inadequado.	
					Instalação distinta da esp. de projeto.	
					Inst. Indevida com aplicação de torque na tubulação.	
					Tensão de cisalhamento elevada por recalques.	
					Pressão elevada - Golpe de Ariete.	
					Tubo diretamente ligado à bomba o eq. Vibratório.	
					Fixação insuficiente da tubulação.	
					Falta de vedante.	
					Aplicação de vedante incorreto.	
					Sentido do Fluxo contrário à rosca.	
					Abertura insuficiente de fios de rosca no tubo.	
					Encaixe incorreto das roscas.	
					Roscas deformadas.	
ÍNDICES				CLASSIFICAÇÃO DO RISCO		
G	O	D	R			
8	9	8	576	CRÍTICO (IBAPE/SP): Pode provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e/ou meio ambiente, perda excessiva de desempenho causando possíveis paralisações, aumento de custo, comprometimento sensível de vida útil e desvalorização acentuada.		

QUADRO 3 • Formulário FMEA parcial para Inspeção Predial do Hospital Federal dos Servidores do Estado – Rio de Janeiro, RJ.

FONTE: Autor, 2015.

6 CONCLUSÕES

O emprego de ferramentas de gestão da qualidade configura-se como metodologia racionalizada para detecção e controle de patologias prediais, na medida em que, a equipe envolvida pode ter acesso a causas básicas de falhas e seus efeitos através da montagem de um banco de dados de Árvores de Falhas para os sistemas passíveis de manutenção. O desenvolvimento de um sistema interno que possa auxiliar a busca de soluções padronizadas em que otimiza, o processo de manutenção e prioriza ações em segmentos de alto risco, aumentando a confiabilidade dos sistemas prediais e diminuindo custos com manutenção corretiva na medida em que cria rotina metodológica de detecção de problemas.

A aplicação do método integrado no hospital comprova sua eficácia na medida em que pôde ser realizada análise criteriosa das patologias encontradas em inspeção, com suas causas e efeitos assinaladas, bem como, através destes, seu grau de risco. A utilização dos resultados deste processo pode, ainda, ser aproveitada para inspeções em outras edificações, dando direcionamento aos planos de combate patológico destes locais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo, 2011. (Disponível: http://www.ibape-sp.org.br/arquivos/norma_de_inspecao_predial.pdf).

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5674: Manutenção de Edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999.

HELMAN, H; ANDERY, P.R. **Análise de Falhas (Aplicação dos métodos FMEA – FTA)**. Ed. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1995.

STAMATIS, D. H. *Failure Modes and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Ed. ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos, 2003.

PUJADAS, et.al. **Inspeção Predial: A Saúde dos Edifícios**. IBAPE, São Paulo, 2012. BERNARDES, Claudio et.al. **Manual de áreas comuns – SECOVI-SP**. 2ª. Edição. São Paulo, 1998.

KNICKELBINE, Scott. *The causes of cracks in PVC pipes*. 2014. (Disponível: http://www.ehow.com/list_7569824-causes-cracks-pvc-pipes.html).

O CUSTO DA INEFICIÊNCIA: DE QUE FORMA O DESVIO DE PRODUTIVIDADE IMPACTA OS CUSTOS DE UM PROJETO

João Vítor Emanuel Maia Machado ¹
Luís Otávio Cocito de Araújo ²

Resumo

“O setor da construção civil possui particularidades que o diferencia das demais indústrias produtivas. Tradicionalmente, esse setor é conhecido por suas ineficiências e improdutividades, porque atrasa-se seus cronogramas, e estoura-se seus orçamentos quase que como regra geral. Nesse sentido, diversos trabalhos foram produzidos nas últimas décadas no intuito de criar metodologias de apuração dos conhecidos indicadores de produtividade. Muito se avançou nos conhecimentos dos processos e características que fazem a produtividade de mão de obra desviar, melhorando ou piorando, no entanto, pouco se sabe sobre os reais impactos que esses desvios causam nos custos de um determinado projeto. O presente artigo tem como objetivo abordar uma metodologia para avaliar como esses impactos afetam os grupos de custos diretos, custos indiretos, e atrasos em eventuais gerações de riquezas..”

Palavras-chave » Produtividade de mão de obra. Gestão de custos. Ineficiência.

¹ E-mail: joaomaia@poli.ufrj.br.

² E-mail: luis.otavio@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Este artigo tem como propósito abordar uma metodologia matemática, estudada e desenvolvida pelo próprio autor, que visa à criação de ferramentas que permitam quantificar de que forma um desvio de produtividade de mão de obra impacta economicamente um determinado projeto. Para tanto, será proposto uma abordagem sistêmica, que permita avaliar de forma prática os impactos nos custos diretos, custos indiretos, e atrasos em eventuais gerações de riquezas.

1.2 Justificativa

Até hoje, muitos trabalhos já abordaram de alguma forma os conceitos de produtividade de mão de obra, como apropriá-la, ou como aferi-la. Afinal, dado o acirramento da concorrência nos dias de hoje, a gestão de produtividade vem se tornando um dos requisitos essenciais na formulação estratégica de competitividade das empresas (MACEDO, 2012). De acordo com (ARAÚJO, 2000), a eficiência nos processos produtivos surge com o objetivo a ser alcançado pelas construtoras, a fim de garantir sua lucratividade e assegurar sua permanência no mercado.

Muito pouco, no entanto, têm sido abordados, quais são os reais impactos econômicos em um projeto dado um desvio de produtividade de mão de obra. É sabido, que ser ineficiente tem um preço, mas o quanto isso efetivamente custa não é uma estimativa trivial.

Fayet (2006) cita Sink et al. (1989) levanta-se que a mais importante, e talvez única razão para se medir o desempenho de um sistema é apoiar sua melhoria. Nesse trabalho, tenta-se expandir a noção de desempenho no que tange os indicadores de produtividade de mão de obra. Propõe-se demonstrar que gerar apenas indicadores de Razão Unitária de Produção (RUP)³, pode levar a conclusões equivocadas, a cerca do desempenho econômico de um

³ Razão Unitária de Produção é o termo comumente utilizado na literatura de gestão da produção na construção civil para refletir a relação entre entradas e saídas de determinado serviço, sendo expressa em homens-hora consumidos por unidade de serviço produzido. Ela representa matematicamente o indicador de produtividade.

projeto. De maneira prática, este trabalho tem a pretensão de demonstrar que dependendo do contexto com que determinado serviço venha a ter um desvio de produtividade de mão de obra, e assim, o impacto possa oscilar de maneira significativa.

1.3 Metodologia da pesquisa

Para avaliação do impacto no custo direto e na geração de riquezas, utilizará-se de deduções matemáticas que proponham equações relacionando o desvio de produtividade de mão de obra com o acréscimo de custos. Por outro lado, a avaliação do impacto nos custos indiretos será feita a partir da correlação de dados reais de uma grande construtora do segmento de infraestrutura.

2 PRODUTIVIDADE DE MÃO DE OBRA E REQUISITOS MÍNIMOS

Inicia-se definindo matematicamente o indicador de produtividade de mão de obra (RUP):

$$RUP = \frac{\Delta t}{QS} \quad (1)$$

Em que:

- **RUP** = Razão unitária de produção é o índice de produtividade de mão de obra.
- **R** = Recursos utilizados, sendo expresso em Homens(H).
- **Δt** = Tempo em que os recursos R desprenderam na execução do serviço, sendo expresso em horas (h).
- **QS** = Quantidade de serviço executado pelos recursos R durante o tempo Δt, sendo, expresso em unidades de serviço.

Em seguida, pode-se definir a $RUP_{PREVISTA}^4$ como sendo aquela presente nas Composições de Custo Unitário (CCU) de cada um dos serviços na etapa de orçamentação. Nesse momento aproveita-se para definir um requisito básico para o desenvolvimento da metodologia proposta nesse artigo: as Estruturas Analíticas de Projeto (EAP), tanto de controle de custos, como de planejamento, tem de estar alinhadas com a estruturação das CCU. Isso se faz necessário tendo em vista que, precisa-se sempre ter índices de produtividades previstos (extraídos das CCU) a serem comparados com os índices de produtividade reais (apropriados pelo custeio das informações de produção e consumo de Hh⁵).

3 O CUSTO DA INEFICIÊNCIA

3.1 Considerações iniciais

Tendo introduzido os conceitos iniciais de produtividade de mão de obra, e os requisitos mínimos para a estruturação da metodologia, segue-se para o desenvolvimento de uma abordagem sistêmica para quantificar de que forma uma ingerência acerca dos recursos de mão de obra, em que pode-se impactar economicamente os custos de um projeto.

3.2 Avaliação do impacto nos custos diretos

Custos diretos, por definição, são os custos inerentes à produção direta de serviços, ou seja, atividades que agregam valor ao projeto. São exemplos de custos diretos os gastos com materiais aplicados diretamente na obra, equipamentos, mão de obra de produção e subcontratados. Custos de *overhead* da sede⁶, engenheiros, mestre de obras e funcionários

⁴ Uma extensa e bem conduzida discussão presente na obra de Schwartzkopf (2004) aborda os principais fatores que fazem a produtividade de mão de obra variar, melhorando ou piorando. Dentre os principais, destacam-se: utilização de horas extras, aceleração em cronogramas, condições climáticas, características do projeto, capacidade de gerenciamento de mão de obra, curva e aprendizado e melhoria contínua de processos.

⁵ Homem-Hora.

⁶ *Overhead* da sede são os custos associados à sede da empresa como, por exemplo, custos dos executivos (presidentes, diretores, gerentes, etc), e (aluguel de salas, eletricidade, mão de obra administrativa, gastos com jurídico, seguros, etc).

administrativos, por outro lado, são todos alocados nas contas indiretas, isto é, custos de apoio à produção.

O princípio que norteia a formulação do problema advém do fato de que um desvio no custo unitário previsto de determinado serviço, dado o desvio no consumo unitário de determinado insumo, dependerá do peso desse insumo na CCU.

Objetivando o desenvolvimento de uma formulação matemática geral, precisa-se antes definir algumas nomenclaturas. Seguem abaixo:

- CU_i = custo Unitário do insumo i ;
- $Q_{i,j}$ = consumo unitário, do insumo “ i ” no serviço “ j ”. $Q_{i,j} = RUP_{PREVISTA}$ para o caso de insumos do tipo mão de obra;
- CUT_j = custo Unitário Total do serviço “ j ”;
- $P_{i,j}$ = peso do Insumo “ i ” no Custo Unitário Total do serviço “ j ” (CUT_j);
- $\Delta_{i,j}$ = desvio percentual da produtividade do insumo “ i ” no serviço “ j ”.

A partir dessa definição, têm-se as seguintes equações:

$$CUT_j = \sum_{i=1}^n Q_{i,j} CU_i = Q_{1,j} CU_1 + Q_{2,j} CU_2 + \dots + Q_{n,j} CU_n \quad (2)$$

$$P_{i,j} = \frac{Q_{i,j} CU_i}{\sum_{i=1}^n Q_{i,j} CU_i} = \frac{Q_{i,j} CU_i}{CUT_j} \quad (3)$$

$$\Delta_{i,j} = \frac{RUP_{REAL}}{RUP_{PREVISTA}} - 1 \quad (4)$$

Em que os somatórios na Eq. (2) são feitos de $i=1$ até os “ n ” insumos da CCU do serviço “ j ”. A Eq.(3) permite calcular o peso de cada insumo “ i ” no CUT. Já a Eq. (4) calcula exatamente o desvio de produtividade real frente ao previsto. Sugere-se sempre a utilização da $RUP_{CUMULATIVA}$, ou seja, aquela que representa os dados acumulados históricos da produtividade de mão de obra de um dado recurso (carpinteiro, armador, pedreiro, ajudante), em um dado serviço (armação, concretagem, fôrma) de um dado projeto.

Assim, da Eq. (2), pode-se expressar o $CUT_{PREVISTO}$ do serviço “ j ” conforme a seguir:

$$CUT_{PREVISTO_j} = \sum_{i=1}^n Q_{i,j} CU_i = Q_{1,j} CU_1 + Q_{2,j} CU_2 + \dots + Q_{n,j} CU_n \quad (5)$$

Impondo-se sobre esse resultado uma variação $\Delta_{i,j}$ no consumo unitário do insumo “i” do serviço “j”, determina-se o CUT_{REAL} do serviço “j”:

$$CUT_{REAL_j} = \sum_{i=1}^n (1 + \Delta_{i,j}) Q_{i,j} CU_i = (1 + \Delta_{1,j}) Q_{1,j} CU_1 + (1 + \Delta_{2,j}) Q_{2,j} CU_2 + \dots + (1 + \Delta_{n,j}) Q_{n,j} CU_n \quad (6)$$

Em que, dividindo-se o CUT_{REAL} pelo $CUT_{PREVISTO}$ do serviço “j” tem-se:

$$\frac{CUT_{REAL_j}}{CUT_{PREVISTO_j}} = \frac{(1 + \Delta_{1,j}) Q_{1,j} CU_1 + (1 + \Delta_{2,j}) Q_{2,j} CU_2 + \dots + (1 + \Delta_{n,j}) Q_{n,j} CU_n}{CUT_{PREVISTO_j}} \quad (7)$$

Separando a fração anterior em uma soma de “n” frações e utilizando a relação estabelecida pela Eq. (3), tem-se:

$$\frac{CUT_{REAL_j}}{CUT_{PREVISTO_j}} = (1 + \Delta_{1,j}) P_{1,j} + (1 + \Delta_{2,j}) P_{2,j} + \dots + (1 + \Delta_{n,j}) P_{n,j} = \sum_{i=1}^n (1 + \Delta_{i,j}) P_{i,j} \quad (8)$$

Desse resultado, pode-se simplificá-lo expandindo-se o produto através da distributiva e introduzindo uma nova nomenclatura, DCU_j , conforme a seguir:

$$DCU_j = \frac{CUT_{REAL_j}}{CUT_{PREVISTO_j}} \quad (9)$$

$$DCU_j = \sum_{i=1}^n (1 + \Delta_{i,j}) P_{i,j} = \sum_{i=1}^n (P_{i,j} + \Delta_{i,j} P_{i,j}) \quad (10)$$

$$DCU_j = 1 + \sum_{i=1}^n \Delta_{i,j} P_{i,j} \quad (11)$$

Já que:

$$\sum_{i=1}^n P_{i,j} = 100\% = 1 \quad (12)$$

A Eq. (11) representa a formulação geral para o impacto do desvio de produtividade de mão de obra nos custos unitários de um serviço, em que a sigla DCU_j significa “Desvio no Custo Unitário” do serviço “j”. Aproveita-se para destacar que essa formulação foi estruturada sem se especificar ao que se refere à variação percentual $\Delta_{i,j}$. Assim, essa formulação serve para quaisquer tipos de variação no consumo unitário de insumos. No caso de mão de obra, essa variação será o próprio desvio de produtividade e, em outros casos, será o desvio no consumo unitário desse insumo.

Pode-se claramente observar a facilidade na aplicação da Eq. (11). Basta que, para tanto, saiba-se o peso de determinado insumo na CCU, e o quanto esse insumo desviou em relação ao seu consumo unitário previsto em orçamento. Entrando com esses dados na Eq. (11) ela retornará, em termos percentuais, o acréscimo ou decréscimo no custo unitário previsto.

Apenas como título de exemplo, para fins didáticos, imagina-se que uma determinada composição de execução de fôrmas de madeira tenha o insumo carpinteiro com um peso de 70% ($P_{i,j}$) do custo total de fabricação de cada m^2 de fôrma. Supõe-se também que, sua produtividade tenha variado, piorado, percentualmente em 20% ($\Delta_{i,j}$), assim:

$$DCU_{FÔRMA} = 1 + 0,2 \cdot 0,7 = 1,14$$

Ou seja, um acréscimo de 14% em relação ao custo unitário previsto. Caso ocorresse a variação de produtividade em mais de um insumo, bastaria ir somando suas respectivas parcelas do produto ($\Delta_{i,j} \cdot P_{i,j}$) na expressão acima. A validação que comprova a exatidão da utilização da Eq.(11) pode ser encontrada na obra do presente autor⁷.

Em sequência, tendo formulado a operação de cálculo para o desvio no custo unitário dado uma variação da produtividade de mão de obra real frente à prevista, pode-se projetar essa ineficiência para o término do contrato, estimando, o quanto isso onera a rentabilidade do projeto.

Dessa forma, o cenário projetado para um serviço “j” pode ser calculado utilizando a Eq. (13) a seguir:

⁷ MACHADO, J.V.E.M., 2014. O custo da ineficiência: uma abordagem para avaliação do impacto do desvio de produtividade de mão de obra nos custos de um projeto. Monografia. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. p. 86 – 87.

$$DCD_j = (DCU_j - 1) \cdot CUT_j \cdot QS_j \quad (13)$$

Onde:

- DCD_j é o Desvio no Custo Direto devido as variações no serviço “j”;
- DCU_j é o Desvio no Custo Unitário do serviço “j” devido as suas variações de produtividade;

- CUT_j é o Custo Unitário Total previsto para o serviço “j”;
- QS_j é a Quantidade de Serviço total para o serviço “j”.

Assim, utilizando o resultando da Eq. (11) dentro da Eq. (13), tem-se:

$$DCD_j = \left(\sum_{i=1}^n \Delta_{ij} P_{ij} \right) \cdot CUT_j \cdot QS_j \quad (14)$$

Em que, generalizando para todos os “k” serviços da obra, resume-se a Eq. (15), que avalia o desvio no custo direto total do empreendimento, dado as variações percentuais de produtividades Δ_i nos “i” insumos do projeto.

$$DCD_{TOTAL} = \sum_{j=1}^k \left[\left(\sum_{i=1}^n \Delta_{ij} P_{ij} \right) \cdot CUT_j \cdot QS_j \right] \quad (15)$$

Apesar de aparentemente não amigável, o que a Eq. (15) está fazendo é simplesmente calcular o desvio no custo unitário de cada serviço “j”, dado o seu desvio de produtividade em seu recurso “i”, em seguida projeta-se o desvio nesse serviço até o final da obra e, por fim, fazendo esse somatório em todos os “k” serviços do empreendimento que estão em análise.

3.3 Avaliação do impacto nos custos indiretos

Custos indiretos são aqueles associados às atividades de apoio à produção, como por exemplo: departamento pessoal, suprimentos, compras, engenharia, administração contratual, controle, contratação, planejamento, segurança e meio ambiente, etc.). Esta é com certeza a disciplina mais complexa de se avaliar, no que se refere ao desvio

previsto vs realizado. Diferentemente da metodologia apresentada na seção anterior, em que se modelou uma forma determinística para o cálculo do desvio de custo direto, devido a desvios de produtividade, no grupo de custos indiretos essa análise é muito mais complicada. Isso se deve, ao fato da dificuldade de se relacionar o custeio indireto com o custeio direto. Adianta-se que existe uma relação entre os gastos com despesas indiretas e o nível de produção ao qual a obra vivencia, por exemplo, na quantidade de compradores, quantidade de técnicos de segurança, etc.. No entanto, essa relação não é facilmente determinada matematicamente, tendo em vista que depende, e muito, do tipo de obra que se está analisando.

De qualquer forma, mesmo que a dedução ocorra em caráter empírico, baseado na exploração dos dados econômicos feitas em quatro diferentes contratos de uma das maiores construtoras de infraestrutura do país, importantes correlações e conclusões podem ser tiradas.

Apesar de não existirem muitos estudos abordando esse tema, as poucas metodologias existentes fixam o desvio no custo indireto com o acréscimo de prazo da obra, parte-se da premissa que as instalações indiretas permaneceram por mais tempo que o previsto a ela, necessariamente, incorreu em mais custos que o imaginado. Métodos como o da “Fórmula de Eichleay” ou o “Método Canadense”, calculam uma taxa diária de custo indireto, e multiplicam esse valor pelos dias de atraso do contrato estimando, e assim, o desvio incorrido.

Teve-se acesso a diversas informações econômicas, dentre elas destacam-se:

- prazo previsto para o contrato;
- prazo real para o contrato;
- despesa total prevista com mão de obra direta;
- despesa total real com mão de obra direta;
- despesa total como indireta prevista;
- despesa total com indireta real.

Todos os dados foram equalizados para se referirem as mesmas quantidades de produção, ou seja, caso tenham ocorrido mudanças em quantitativos de serviços previsto em relação aquilo que se de fato se realizou, essas discrepâncias foram desconsideradas de forma a permitir uma comparação das informações. Utiliza-se a seguinte nomenclatura:

a) **IR** – Custo Indireto Real

b) **IP** – Custo Indireto Previsto

c) **DMODREAL** – Despesa com Mão de Obra Direta Real

d) **DMODPREVISTO** – Despesa com Mão de Obra Direta Prevista

Criam-se os seguintes indicadores:

a) **IR/IP** – Razão entre o Custo da Indireta Real pela Indireta Prevista.

Esse indicador tem como objetivo mostrar o custo indireto real frente ao previsto. Caso esse indicador seja maior que 1, significa que incorreu-se em mais custos indiretos que o inicialmente planejado.

b) $\frac{DMOD_{REAL}}{DMOD_{PREVISTO}}$ – Razão entre a despesa total com mão de obra direta real e a despesa total com mão de obra direta prevista.

O Objetivo desse indicador é mostrar a perda de produtividade de mão de obra média do contrato. Tendo em vista que $DMOD_{PREVISTO}$ é calculado através das RUP_{META} previstas nas CCU tem-se o caso $DMOD_{REAL}$ seja maior que o previsto, utilizou-se mais Hh por unidade de serviço, caracterizando, assim, perda na eficiência produtiva.

Os resultados das 4 obras encontram-se resumidos na Tabela 1 a seguir:

INDICADORES	OBRA 1	OBRA 2	OBRA 3	OBRA 4
Prazo Previsto (meses)	17	19	36	19
Prazo Real (meses)	30	16	19	28
DMODREAL/DEMOPREVISTO (%)	117,2%	135,7%	72,9%	84,7%
IR/IP (%)	135,7%	142,9%	78,0%	99,0%

TABELA 1 • Resumo dos indicadores das quatro obras analisadas.

FONTE: Elaborado pelo autor.

Rapidamente consegue-se observar o cenário da OBRA 2 e, em caso oposto, o da OBRA 4. Enquanto que, a OBRA 2 adiantou sua entrega mas obteve acréscimo de custo indireto, a OBRA 4 atrasou, mas não estourou sua indireta.

A explicação para esse fenômeno é proposta pelo presente autor, pois deve se ao fato de que os custos indiretos estão muitos mais interligados a eficiência do sistema

produtivo, do que ao prazo com que a obra transcorre. Afinal, uma obra em que se atingem excelentes índices de produtividade culminará na redução de recursos necessários para execução da mesma quantidade de serviço. Utiliza-se menos recursos, a estrutura de apoio (médicos, enfermeiros, técnicos de segurança, técnicos de meio ambiente, compradores, etc.), também fica mais enxuta. Isso sem falar nas despesas com EPI's, vale transporte e alimentação, etc.

Por outro lado, um projeto improdutivo necessita atacar diversas frentes de serviço simultaneamente, em que objetiva-se acelerar o cronograma compensando os atrasos, devido à falta de eficiência. Além de dificultar a gestão do empreendimento como um todo, acaba-se por inflar sua estrutura de apoio para garantir os níveis de produção vivenciados⁸.

Assim, a partir dos dados da Tabela 1, pode-se construir uma correlação através de uma regressão linear conforme pode ser visto na Figura 1. No eixo das ordenadas plotou-se a razão IR/IP, enquanto que no eixo das abcissas tem-se a relação $DMOD_{REAL}/DMOD_{PREVISTO}$.

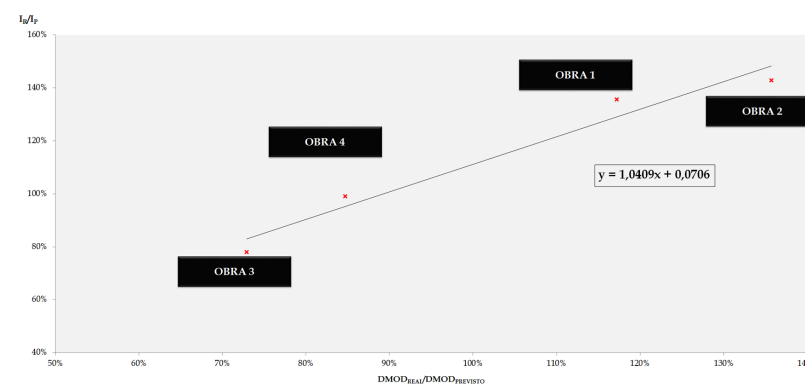


FIGURA 1 • Regressão linear entre os indicadores.

FONTE: Elaborado pelo autor.

Ou seja:

$$\frac{I_R}{I_P} = 1,0409 \cdot \left(\frac{DMOD_{REAL}}{DMOD_{PREVISTO}} \right) + 0,0706 \quad (16)$$

⁸ Uma profunda discussão a cerca das particularidades de cada uma das obras, assim como suas evoluções mês a mês pode ser encontrada em MACHADO, J.V.E.M., 2014. O custo da ineficiência: Uma abordagem para avaliação do impacto do desvio de produtividade de mão de obra nos custos de um projeto. Monografia. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. p. 96 – 107.

A Eq. (16) correlaciona o desvio de produtividade médio do projeto, ou seja, a razão $DMOD_{REAL}/DMOD_{PREVISTO}$, com o desvio nos custos indiretos, definido pela razão I_R/I_P .

Essa correlação demonstra a afinidade entre a eficiência na utilização da mão de obra, ou seja, sua produtividade, e a relação entre o custo indireto real e o previsto para cada uma das obras. Assim, pode-se concluir que a metodologia que fixa o desvio no custo indireto com o acréscimo de prazo se caracteriza através da afirmação que um desvio de produtividade, ou seja, uma perda da eficiência na utilização de recursos conduzirá a acréscimo de prazo no cronograma que, por sua vez, acarretarão em aumentos de custos indiretos. Essa metodologia, entretanto, não descreve bem quando se lança mão das estratégias de aceleração, em que opta-se por um acréscimo de recursos objetivando um aumento da capacidade produtiva e, conseqüentemente, o atendimento ao cronograma. Nessas situações, ocorre a elevação dos custos indiretos mesmo não havendo atrasos na entrega da obra. Esse caso pôde ser observado na OBRA 2.

Tem-se, por fim, através da Eq. (17), o Desvio no Custo Indireto, DCI:

$$DCI = I_R - I_P \quad (17)$$

3.4 Avaliação do impacto na geração de riqueza

Esse grupo, apesar de ser o mais fácil de ser formalizado matematicamente, talvez seja aquele que se precise de mais atenção. Imagine, por exemplo, o que o atraso na obra de construção de uma usina hidrelétrica pode gerar de passivo por dia. São valores gigantescos que transformaria qualquer resultado na etapa construtiva em prejuízo ao final da obra.

De maneira determinística, parte-se de duas premissas para abordar essa disciplina:

- O desvio nas eventuais gerações de riquezas será calculado através da estimativa do número de dias de atraso da obra.
- O prazo para conclusão da obra é dado pela duração do seu caminho crítico.

Assim, partindo-se da equação da RUP e isolando a variável Δ_j , tem-se:

$$\Delta t_j = \frac{QS_j \cdot RUP_j}{R_j} \quad (18)$$

Considera-se um desvio de produtividade de mão de obra Δ_j , tem-se que o desvio no prazo da conclusão do serviço (ΔT_j) pode ser expresso pela Eq. (19) a seguir:

$$\Delta T_j = \frac{QS_j \cdot RUP_j \cdot (1 + \Delta_j)}{R_j} - \frac{QS_j \cdot RUP_j}{R_j} \quad (19)$$

Que pode ser simplificada para:

$$\Delta T_j = \Delta t_j \cdot \Delta_j \quad (20)$$

Não se pode assumir que todo desvio de produtividade causa acréscimo de prazo ao cronograma. Como premissado pelo item (b) anteriormente, somente quando o atraso ΔT_j influenciar no prazo do caminho crítico é que ele deverá ser considerado para efeitos de atraso da obra. Definindo θ_j como sendo o acréscimo de prazo para o serviço “j”, matematicamente tem-se:

$$\theta_j = \begin{cases} \Delta T_j - \xi_j, & \text{se } \Delta T_j - \xi_j > 0 \\ \Delta T_j, & \text{se } \xi_j = 0 \\ 0, & \text{se } \Delta T_j - \xi_j \leq 0 \end{cases} \quad (21)$$

Em que ξ_j é a folga que cada atividade possui até influenciar no caminho crítico. Generalizando para todos os “k” serviços da obra, tem-se:

$$\theta = \sum_{j=1}^k \theta_j \quad (22)$$

Assim, definindo α como sendo o custo diário por atraso na geração de riqueza, e definindo DGR como sendo o Desvio na Geração de Riqueza, tem-se, por fim a Eq. (23):

$$DGR = \alpha \cdot \theta \quad (23)$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresentou uma abordagem sistêmica para o cálculo do impacto no desvio nos custos diretos (DCD), indiretos (DCI), e atrasos em eventuais gerações de riqueza (DGR), dado um desvio de produtividade de mão de obra.

Os modelos para cálculo do DCD e DGR são precisos e de fácil implementação através de algoritmos de programação. Quanto ao modelo de estimativa para o DCI, apesar de também ser de fácil implementação em algoritmos, cabe ressaltar um principal aspecto: ele não está ajustado à condição de contorno de que senão houver desvio de produtividade ($DMOD_{REAL}/DMOD_{PREVISTO}$ igual a 0), IR/IP deveria ser igual a 1, mas não é o que se vê na Eq. (16). Assim, propõe-se para trabalhos futuros abordar mais especificamente o DCI estudando-se um número maior de contratos. Sugere-se, também, uma separação dos projetos em conformidade com suas características particulares, tendo em vista que isso é um fator que afeta, e muito, a composição dos custos indiretos de cada obra.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L.O.C., 2000. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão-de obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. M.Sc. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, L.O.C., SAMPAIO, P.E., 2012. *How to measure productivity: a real possibility*. Rics Cobra, Las Vegas, Nevada.

FAYET, R.A., 2006. **Medição de indicadores de produtividade sistêmica em uma pequena empresa – Estudo de caso**. M.Sc. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MACEDO, M. de. M., 2012. **Gestão da produtividade nas empresas**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

MACHADO, J.V.E.M., 2014. **O custo da ineficiência: uma abordagem para avaliação do impacto do desvio de produtividade de mão de obra nos custos de um projeto**. Monografia. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHWARTZKOPF, W., 2004, *Calculating Lost Labor Productivity in Construction Claims*. 2nd ed. New York, Aspen.

SOUZA, U.E.L., THOMAS, H.R., 1996. *The use of conversion factors for the analysis of concrete formwork labor productivity. Managing the construction Project and managing risk CIB W-65*. The organization and management of construction: shaping theory and practice 8th International Symposium, E. & F.N. Spon, London, pp.14-26.

THOMAS, H.R., YAKOUMIS, I., 1987. *Factor model of construction productivity*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.113, No.4, pp. 623-39.

APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PISOS COM BASE NA NBR 15.575

Fernanda Mendes Graça Couto ¹
Elaine Garrido Vazquez ²

Resumo

“A publicação da norma de desempenho NBR 15575 - “Edificações habitacionais - Desempenho” incentivou o mercado da construção civil pela busca do desempenho das edificações. Nesse contexto, foi firmada uma parceria entre uma empresa desse ramo e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, criando um grupo de alunos e professores voltados ao estudo de desempenho acústico. Com isso, elaborou-se um procedimento experimental para análise do desempenho acústico de pisos, em que aborda-se os equipamentos e método para medição do ruído de impacto, além de apresentar os requisitos requeridos pela norma. O procedimento foi aplicado a partir de uma medição in loco, e o resultado obtido foi comparado com o requisito da norma, a fim de verificar a conformidade da unidade. Espera-se que este artigo facilite a aplicação da norma de desempenho, pois auxilia na melhoria da qualidade das construções.”

Palavras-chave » Desempenho acústico. Ruído de impacto e Norma de desempenho.

¹ E-mail: fefecouto@poli.ufrj.br.

² E-mail: elainevazquez@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo teve como motivação a obrigatoriedade eminente da aplicação da norma de desempenho das edificações - NBR 15575, que representa-se a necessidade de adequação das empresas aos requisitos da norma.

O objetivo desta pesquisa é a aplicação de um procedimento experimental para medir o isolamento acústico em sistemas de pisos entre unidades autônomas através da realização de uma medição in loco. O procedimento foi baseado na ISO 40-7:1998 - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements: Field measurements of impact sound insulation of floors*, e na NBR 15575-3:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho: requisitos para os sistemas de pisos internos.

O procedimento foi aplicado em um estudo de caso realizado em uma unidade habitacional multifamiliar de médio/alto padrão, localizada em um condomínio em Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro.

A NBR 15575 - "Edificações habitacionais - Desempenho" foi publicada em 19 de fevereiro de 2013 pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas entra-se em vigor, a partir de 19 de julho de 2013, 150 dias após a data de sua publicação. A norma estabelece parâmetros técnicos para vários requisitos importantes de uma edificação, como desempenho acústico, desempenho térmico, durabilidade, garantia e vida útil, e determina um nível mínimo obrigatório para cada um deles.

Segundo *Mitidieri*, 2011 apud Martins, 2014, a maior dificuldade de adaptação será nos parâmetros referentes ao desempenho acústico, pois várias partes da norma exigem parâmetros mínimos de tal desempenho. A inexistência de parâmetros aceitáveis de níveis de transmissão de ruído de impacto nas normas brasileiras desobriga os projetistas da preocupação com o problema do desconforto de tal maneira, que seus trabalhos, de um modo geral não contemplam soluções para o isolamento ao ruído de impacto (PEDROSO, 2007). É nesse cenário torna-se importante o estudo do desempenho acústico de pisos por ruídos de impacto.

A NBR 15575-3 foi à primeira norma brasileira a trazer esse assunto para discussão. Apesar de seu caráter não obrigatório, a adequação a norma representará um passo a frente para as construtoras que a adotarem, pois as mesmas poderão utilizar seus

resultados positivos em qualidade, e desempenho como estratégias de *marketing* a fim de conquistar o consumidor.

2 DESEMPENHO E ISOLAMENTO ACÚSTICO

2.1 Desempenho acústico

No Procel Edifica, 2011, o desempenho acústico das edificações, depende basicamente, de dois fenômenos acústicos e independentes. Entretanto, devem ser estudados separadamente: a absorção e a transmissão sonora. A absorção sonora é determinante da qualidade acústica interna do local analisado, e a transmissão sonora é determinante do nível de ruído que se transmite através de esquadrias.

As principais causas de desconforto acústico em uma edificação são os ruídos externos e os ruídos internos. Para solucionar esse problema é necessário o uso de sistemas e materiais destinados à isolação acústica, minimiza-se assim, a propagação desses ruídos.

A exigência de desempenho acústico varia de acordo com o tipo de edificação (residencial, comercial ou industrial), o local (urbano, rural, com e sem tráfego intenso de veículos e caminhões ou próximos a aeroportos) e a necessidade e sensibilidade ao controle de ruídos das pessoas que convivem dentro e ao redor da edificação considerada. Nesse sentido, cada projeto deve ser elaborado em função da qualidade acústica requerida, buscando, ao mesmo tempo, satisfazer da melhor forma possível às necessidades estéticas, decorativas e funcionais de arquitetura (LUCA, 2011).

2.2 Isolamento acústico

O isolamento acústico/sonoro se refere à capacidade de certos materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora passe de um ambiente a outro. Nestes casos se deseja impedir que o som (ruído) alcance o homem (GREVEN et al., 2006).

Para fazer um isolamento acústico de um ambiente, deve-se ter em mente um princípio básico do isolamento acústico, a Lei da Massa, onde quanto mais pesado, mais denso o material, melhor o isolamento. Essa lei pode ser expressa matematicamente como:

$$R_w \cong 10 \log (f^*m)^2 \quad (1)$$

Em que:

R_w = índice de redução sonora.

f = frequência.

m = massa.

De forma objetiva ela nos diz que para uma frequência constante, o isolamento aumenta 6 decibéis (dB) quando se duplica a massa de uma partição. Analogamente, para uma massa fixa, o isolamento cresce 6 dB ao duplicar a frequência do som. (AMORIM; LICARIÃO, 2005).

Segundo (AMORIM; LICARIÃO, 2005), um projeto de isolamento ou controle de som/ruído inicia-se no planejamento, pois considera-se a localização e classificação do som como níveis sonoros adequados às diferentes situações, horários e locais, e o custo com opções técnicas para reduzir a utilização de materiais isolantes.

2.3 Isolamento de ruídos de impacto

O isolamento de impacto trata-se dos ruídos que se propagam nos sólidos e utilizam-se materiais elásticos e duráveis. O peso das máquinas deve ser considerado para que não compacte o material isolante, com isso, ocorre-se a perda das características isolantes.

Em uma edificação, os elementos mais suscetíveis à ação de uma força de impacto ou vibração são as lajes entre pavimentos. A sonoridade que tais impactos ocasionam no local contíguo dependerá da construção do piso e, especialmente, de sua superfície.

Uma forma de se reduzir os efeitos do ruído de impacto é aumentando a espessura da laje, porém este método se torna inviável visto que, o ganho de isolamento é de apenas 1 dB a cada aumento, e de 1 cm na espessura da laje. Assim, torna-se necessário a aplicação de métodos alternativos de isolamento.

A utilização de forrações com materiais macios como tapetes espessos e carpetes em cima da laje atenuam os ruídos de impacto, porém tem o inconveniente de depender do gosto particular do morador, e por vezes impossibilitar o controle do ruído.

Como tais acabamentos não são sempre possíveis ou suficientes, às vezes é necessário tratar a própria construção do piso: uma separação estrita e hermética entre as superfícies do piso e do teto imediatamente inferior, através de estruturas independentes ou, o que é mais comum, com o chamado piso flutuante.

A Figura 1 compara as curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto.

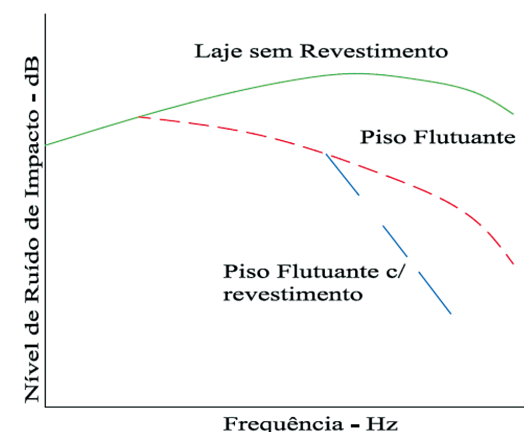


FIGURA 1 • Curvas típicas de isolamento de ruído de impacto.

FONTE: Sanches & Senchermes, 1982 apud Pedroso, 2007.

3 NORMA DE DESEMPENHO

A norma NBR 15575 foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Assim, são apresentados os requisitos e critérios de desempenho, e seus respectivos métodos de avaliação para cada necessidade do usuário e condição

de exposição. A norma é dividida em seis partes: requisitos gerais, requisitos para os sistemas estruturais, requisitos para os sistemas de pisos, requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, requisitos para os sistemas de coberturas e requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A NBR 15575 estipula critérios para a atenuação acústica dos ruídos de impactos aplicados às lajes de piso e para a isolamento ao som aéreo dos pisos, e do envelope da construção (fachadas e coberturas) (CBIC, 2013).

3.1 Desempenho acústico de pisos

A parte 3 da NBR 15575 - Requisitos para os sistemas de pisos internos - apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas. Para o sistema de pisos são considerados o isolamento de ruído de impacto, e o isolamento de ruído aéreo, de forma que os valores normativos são obtidos por meio de ensaios realizados em campo para o sistema construtivo.

O critério de avaliação utiliza-se o método de engenharia ou o método simplificado. O método de engenharia avalia dois tipos de ruídos sonoros: isolamento de ruído de impacto e de ruído aéreo. Como o procedimento é referente ao método de engenharia para isolamento de ruído de impacto, porém o presente artigo se limitará a tratar desse assunto.

Segundo a NBR 15575, 2013, o isolamento de ruído de impacto padronizado em sistema de pisos determina, em campo, de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto padronizado em sistema de piso entre unidades autônomas, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na ISO 140-7.

A norma estabelece os níveis mínimos (M) de desempenho, para cada requisito, que devem ser atendidos. Porém, há também níveis de desempenho intermediários (I), e superiores (S) citados na norma que não são obrigatórios, mas caso atendidos podem significar uma melhor qualidade da edificação.

3.1.1 REQUISITOS REFERENTES AO ISOLAMENTO DE RUÍDOS DE IMPACTO

O Quadro 1 apresenta os requisitos e critérios referentes ao ruído de impacto.

ISOLAMENTO DE RUÍDO DE IMPACTO	
Requisito	Atenuar a passagem de som resultante de ruídos de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) entre unidades habitacionais.
Critério	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, proporcionado pelo entrepiso conforme indicado na Tabela 1

QUADRO 1 • Requisitos e critérios – Ruído de Impacto.

FONTE: NBR 15575, 2013.

A Tabela 1 apresenta os critérios e níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, de acordo com o nível de desempenho.

ELEMENTO	$L'_{nT,w}$ dB	NÍVEL DE DESEMPENHO
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	55 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

TABELA 1 • Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$.

FONTE: NBR 15575, 2013.

Para o ruído de impacto, quanto menor o valor do índice de isolamento, melhor o desempenho. O resultado apresentado indica o nível de pressão sonora que está sendo ouvido no ambiente, ou seja, o valor é referente ao ruído dentro do espaço construído devido às propagações diretas e indiretas.

3.1.2 REQUISITOS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DE PISOS EM OUTROS PAÍSES

Apesar dos requisitos para desempenho acústico em pisos serem recentes no Brasil, vários países europeus já adotam critérios para o isolamento acústico de ruídos de impacto, conforme Tabela 2.

PAÍS	IMPACTO $L'_{nT,w}$
Alemanha	53
Áustria	50
Bélgica	60
Espanha CTE	65
Espanha NBE	80
Finlândia	53
França	60
Grécia	64
Holanda	61
Itália	63
Polónia	58
Portugal	60
Reino Unido	62

TABELA 2 • Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, em outros países.

FONTE: (RODRIGUEZ, 2013).

Comparar os requisitos europeus com os brasileiros é possível verificar que a NBR 15575 é menos rígida que as normas dos outros países. Enquanto, o requisito para ruído de impacto segundo a norma deve ser menor que 80 dB, e também a maioria dos países europeus exigem $L'_{nT,w}$ menor que 65d.

4 ESTUDO DE CASO

A medição in loco foi realizada após a elaboração do procedimento experimental, sendo possível devido ao apoio da Empresa X, que disponibilizou

as unidades habitacionais, e ao Laboratório de Acústica e Vibrações (LAVI) da UFRJ, que forneceu os equipamentos para a medição.

O ensaio foi realizado em duas unidades autônomas do Empreendimento A, que pertence a Empresa X, no dia 7 de Julho de 2012. Esses apartamentos estão situados em pavimentos consecutivos, mas na mesma coluna, sendo as unidades 301 e 401. Dessa forma, a tapping machine foi posicionada na suíte do apartamento 401, e os microfones foram posicionados na suíte do apartamento 301.

O Empreendimento A é um edifício residencial localizado em Jacarepaguá, dentro de um condomínio de médio/ alto padrão.

4.1 Etapas do processo de medição in loco

A primeira etapa foi a elaboração de um procedimento de medição para medir o isolamento acústico em sistemas de pisos entre unidades autônomas, baseado na ISO 140-7:1998 e NBR 15575-3:2013. Este procedimento foi utilizado para a realização da medição in loco nas unidades habitacionais fornecidas pela Empresa X.

Com o apoio do LAVI, definiram-se os equipamentos que seriam utilizados na medição: microfones, conversor de sinais, *tapping machine* e *software* para registro de dados. O *software* de registro de dados utilizado foi o *LabVIEW Signal Express*, que adquire rapidamente a análise e apresentação de dados de centenas de dispositivos e instrumentos de aquisição de dados, sem exigir programação. Com todos os equipamentos definidos, o próximo passo foi à ida ao Empreendimento A para a realização da medição.

O som foi gerado pela *tapping machine* no apartamento 401. Ela foi colocada em 5 posições diferentes, distribuídas aleatoriamente sobre o chão a ser testado, respeitando a distância de 0,5m das bordas do piso. Os microfones se situaram no apartamento 301 para captar o som gerado pela *tapping machine*. As medições dos níveis de pressão sonora começaram após 1 minuto, quando o ruído gerado tornou-se constante. Além disso, os períodos de medição foram de 45 segundos.

As unidades habitacionais foram avaliadas para a obtenção dos valores em decibel (dB) do nível de pressão sonora por impacto padronizado (L'_{nT}) que é quando, o nível de

pressão sonora sofre uma redução em decibéis entre pisos de dois apartamentos. Para tal, foi preciso calcular o tempo de reverberação (RT60) do som nos ambientes e tratar os dados obtidos para compará-los com os parâmetros estabelecidos pela norma.

4.2 Medição do RT60

O parâmetro RT60 consiste no tempo de decaimento de 60 dB do som gerado em um determinado ambiente. Para isso, o RT60 foi medido através do estouro de uma bexiga de gás, onde no ambiente o único ruído gerado foi o do estouro da bexiga. Os níveis de pressão sonora são medidos durante todo o experimento, dessa maneira, o decaimento fica bem claro.

4.3 Medição do nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'nT)

Foram realizadas 5 medições em diferentes posições em piso cerâmico no apartamento 401, conforme pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Disposição da *tapping machine* no apartamento 401 nas 5 posições medidas.

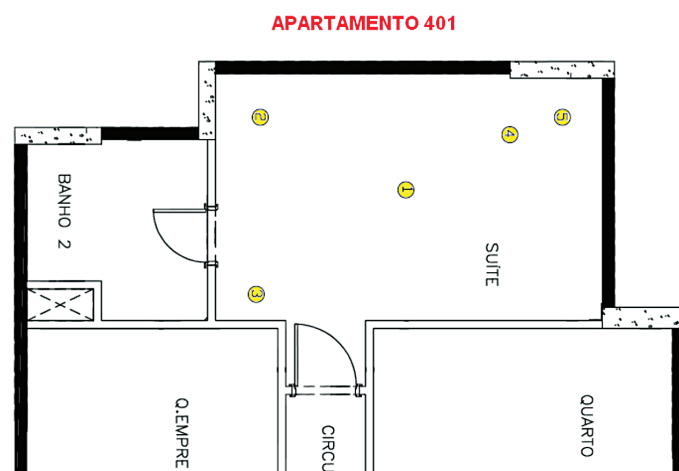


FIGURA 2 • Disposição da *tapping machine* no apartamento 401 nas 5 posições medidas.

FONTE: (Vazquez, Torres, Potting, Serra, Couto, 2012).

As medições do nível de pressão sonora por impacto foram feitas com dois microfones em constante movimento, na suíte do apartamento 301, seguindo as considerações da norma ISO 140-7. A planta do apartamento e a posição do aparelho receptor são apresentadas na Figura 3.

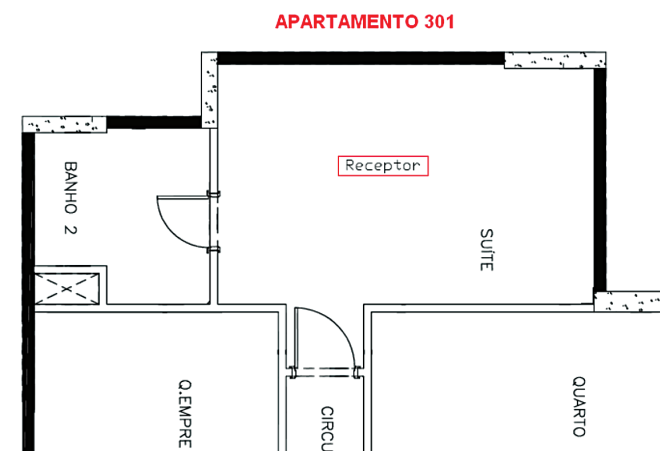


FIGURA 3 • Disposição do receptor no apartamento 301.

FONTE: (Vazquez, Torres, Potting, Serra, Couto, 2012).

4.4 Tratamento de dados

A NBR 15575 propõe o método de engenharia como o mais indicado para ser utilizado nas medições do desempenho acústico da edificação. Este método é descrito na ISO 140-7, bem como as equações utilizadas para a determinação do nível de pressão sonora por impacto padronizado em cada frequência especificada:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_o} \text{ dB} \quad (2)$$

Em que:

L_i é o nível de pressão sonora na sala utilizada quando o piso sob teste está excitado pela *tapping machine*.

T é o tempo de decaimento (RT60) medido com o estouro de uma bexiga de gás.

T0 é o tempo de reverberação de referência (0,5 s).

Após obtidos os L'nT para cada frequência especificada na norma, é necessário transformá-los em um número único de acordo com a ISO 717-2: 2006 – *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation*. Para isso, a curva de L'nT obtida na medição de campo deve ser ajustada à curva de valores de referência para ruído de impacto em bandas de 1/3 de oitava encontrada na ISO 717-2.

Através deste ajuste, os desvios desfavoráveis são utilizados para a obtenção do número único. A soma dos desvios desfavoráveis deve ser menor que 32 dB. O ajuste que mais se aproximar deste somatório será utilizado para a obtenção do número único, que no caso é referente à frequência de 500 Hz.

4.5 Resultados

A *tapping machine* foi posicionada na suíte do apartamento 401, e os microfones e o computador, no apartamento 301. A laje entre as unidades medidas possui espessura de aproximadamente 17 cm, e o revestimento do piso do apartamento 401 é cerâmico.

Após o tratamento de dados, encontrou-se um valor em decibéis, permitindo uma comparação entre o valor medido *in loco* e o valor estabelecido como mínimo, conforme a Tabela 3.

ELEMENTO	MEDIÇÃO DB	NORMA DB	NÍVEL DE DESEMPENHO
Suíte (401) – Suíte (301)	61	66 a 80	M
		55 a 65	I
		≤ 55	S

TABELA 3 • Resultado da medição entre unidades.

FONTE: (Vazquez, Torres, Potting, Serra, Couto, 2012).

Pela norma NBR 15575:2013, é importante ressaltar que os valores do nível de pressão sonora por impacto padronizado (L'_{nt}) acima do máximo valor sugerido são desconfortáveis para o usuário. Assim, observa-se que o resultado obtido pela medição está conforme os parâmetros da Norma 15575-3:2013, sendo confortável para o usuário. Apesar disso, o resultado apresenta um nível de desempenho intermediário, o que indica que há a possibilidade de melhorar a qualidade desta edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação da Norma de Desempenho NBR 15575 em Julho de 2013 representa uma mudança de paradigma na construção civil, obrigando o setor a passar por uma conscientização geral e obrigatória, já que as normas técnicas brasileiras tem valor de lei. Assim, os consumidores de imóveis, poderão exigir das construtoras que os sistemas que compõem os edifícios atendam a requisitos mínimos de desempenho ao longo de uma determinada vida útil.

Caso os requisitos não sejam atendidos, os consumidores poderão ser amparados pela Lei de Defesa do Consumidor para exigir desempenho dos imóveis cujos projetos foram protocolados a partir de Novembro de 2013. Dessa forma, as empresas que insistirem em imóveis não conformes poderão passar por situações desgastantes e custosas.

A norma trouxe novos conceitos na normatização brasileira, como o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações, de forma que a unidade habitacional deve atender e cumprir as exigências ao longo dos anos. Com isso, haverá uma melhoria na relação de consumo no mercado imobiliário já que todos os participantes da produção habitacional, ou seja, projetistas, fornecedores, construtores, incorporadores e usuários, serão incumbidos de suas responsabilidades.

Os níveis de desempenho mínimo requeridos pela norma poderão ser ferramentas de *marketing*. A tendência é que as empresas em conformidade com a norma irão evidenciar seu atendimento, divulgando em sites, propagandas e memoriais descritivos de venda. Assim, o não atendimento a norma poderá significar uma perda de competitividade. Além disso, a norma estabelece um patamar mínimo de qualidade abaixo do qual se considera a empresa executora inabilitada à obra, criando barreiras técnicas para construtoras desqualificadas.

A Norma de Desempenho deve gerar uma pequena alta nos custos da construção. Os empreendimentos de padrão econômico poderão ser mais impactados já que terão de ser revistos muitos dos materiais e procedimentos utilizados nesse tipo de obra. Isso pode acontecer até mesmo entre os empreendimentos de alto padrão que, em geral, já cumprem requisitos mínimos de qualidade em diversos em função do público consumidor que é mais exigente.

Pesquisas de satisfação pós-ocupação realizadas por incorporadoras e construtoras mostram claramente que a maior reclamação por parte dos usuários é o desconforto causado pela geração de ruídos externos ao edifício, dos vizinhos e até mesmo entre unidades habitacionais. Esta situação ensejou a realização do presente trabalho.

O resultado encontrado na medição realizada está em conformidade com a norma, pois atende ao parâmetro mínimo exigido, que é um nível de pressão sonora por impacto padronizado (L'_{nt}) menor ou igual a 80 dB. Porém, a norma apresenta níveis de desempenho intermediários (M), e superiores (S) que não são obrigatórios, de forma que o resultado obtido possui um nível de desempenho intermediário. Assim, as unidades habitacionais medidas poderiam atingir um melhor nível de desempenho acústico, que representaria uma melhora na qualidade da edificação.

Os níveis de desempenho impostos pela norma estão aquém dos praticados nos países desenvolvidos, já que não houve exageros nos níveis de exigência dos

requisitos em função da realidade social, econômica e técnica brasileira. Esse fato pode ser verificado ao se comparar os requisitos europeus com os brasileiros no quesito desempenho acústico de pisos.

Conforme apresentado no presente artigo, os requisitos europeus são mais rígidos que os brasileiros. Entretanto, a norma de desempenho representa uma primeira tentativa de gradualmente se adquirir o hábito de construir com mais qualidade. Além disso, é importante implantar a cultura do desempenho acústico com requisitos menos rígidos para que as construtoras se adequem aos poucos a norma e talvez, futuramente, serem exigidos melhores níveis de isolamento acústico.

Um outro ponto, que merece destaque é a dificuldade de utilização dos métodos de cálculo sugeridos pela NBR 15575. Os métodos de engenharia e simplificado de campo são somente descritos nas normas internacionais ISO 140 e ISO 10052, respectivamente. Este fato representa uma barreira para a utilização dos métodos, já que essas normas devem ser compradas e apresentam preço elevado.

Assim, uma empresa que deseja atingir desempenho acústico de pisos em suas edificações não necessita somente da NBR 15575, deve torna-se o objetivo de se estar em conformidade com a norma de desempenho de uma tarefa bastante custosa, não tão simples quanto parece.

Os conceitos de desempenho precisam ser amplamente divulgados a todos os participantes do processo construtivo para que haja um desenvolvimento do setor da construção. A busca pelo atendimento a norma acarretará no estudo de novas tecnologias que apresentem melhor desempenho e menos custo.

A NBR 15575 é muito importante para a construção civil, pois impõe uma cultura voltada para o desempenho da edificação, para o foco na pesquisa, na utilização de novas tecnologias e por consequência, na elaboração de um bom projeto. Assim será possível obter a construção correta e responsável de um empreendimento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, A., LICARIÃO, C. **Conforto Acústico - Introdução ao Conforto Ambiental**.

VirtualBook,FEC/Unicamp,2005.Disponível em <http://pt.slideshare.net/leandrounip/conforto-acstico>. Acesso em 05 de Dezembro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013. 83 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013. 55p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais - Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, 2013. 311p.

COUTO, F. M. G. **Aplicação de Procedimento para Análise do Desempenho Acústico de Pisos em Unidade Habitacional Multifamiliar com Base na NBR 15.575:2013**. Dissertação (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GREVEN, H. A., FAGUNDES, H. A. V., EINSFELDT, A. A. **ABC do Conforto Acústico**. 2 ed. Publicado na revista da Knauf Drywall, 2006.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica (em Português)**. 4 ed. LTC, vol. 2, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 140-7: *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*. London, 1998. 15p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 354: *Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*. London, 2003. 21p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-2: *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation*. London, 2006. 12p.

LUCA, C. R. de. **Desempenho acústico em sistemas de drywall**. Brasil, 2011. 23p.

MARTINS, A. T. **Elaboração e aplicação de procedimento para análise do desempenho acústico nas vedações verticais em unidade habitacional multifamiliar com base na NBR 15575:2013**. Dissertação (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes, quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. Tese de M.Sc., Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PROCEL EDIFICA - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro, 2011. 117p.

RODRIGUEZ, C. B. *Suelo Flotante - Sostenibilidad y aislamiento acústico en la construcción*. Dissertação (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VASQUEZ, E. G., TORRES, A. M., POTTING, M. R., SERRA, B. M. S., COUTO, F. M. G., 2012. **Descrição do método de medição do isolamento acústico**. Relação obtida em PIC – UFRJ & Empresa X. Junho 2012

BOAS PRÁTICAS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE – ESTUDO DE CASO LAMCE

Juliana Tavares Bard ¹
Jorge dos Santos ²

Resumo

“ Este artigo tem por objetivo apresentar o processo metodológico de desenvolvimento e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade em um Laboratório de Ensino e Pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro, instituição pública de ensino superior. Na primeira parte é abordado o conceito de qualidade e os sistemas de gestão da qualidade. Em seguida, o trabalho contempla uma descrição da metodologia e etapas para o desenvolvimento e implementação, e posterior certificação do Sistema de Gestão da Qualidade. É feita uma descrição das quatro fases da rede de processos considerada na implementação do sistema e dos procedimentos necessários ao cumprimento dos requisitos gerais da norma ISO 9001:2008, retirados do PMBOK. As dificuldades e potencialidades inerentes à implementação do Sistema de Gestão da Qualidade, também apresentam-se como objeto de análise neste trabalho de investigação. ”

Palavras-chave » Qualidade. Sistemas de Gestão. Padronização e ISO 9000.

¹ E-mail: julianabard@poli.ufrj.br.

² E-mail: jorgesantos@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

A atividade de ensino e pesquisa no Brasil ao longo das últimas décadas tem ganhado incentivos de diversas esferas, tanto de incentivos privados buscando avanços tecnológicos e otimização dos recursos para agregar valor aos seus produtos, a fim de permanecer competitivos no acirrado mercado, quanto aos incentivos públicos, através de leis estaduais e federais que estimulam o investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

A partir da Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/1997), onde foi introduzida nos contratos de concessão para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, a partir de 1998, a Cláusula de Investimentos em P&D e, em 2004, com a Lei de Inovação Federal (Lei 10.973/04), que criou medidas de incentivo à inovação e à pesquisa em ciência e tecnologia no ambiente produtivo para estimular a autonomia tecnológica e o desenvolvimento industrial no Brasil, criou-se um ambiente que facilitou o desenvolvimento de pesquisas através da transferência de tecnologia e a remuneração e formação de pesquisadores e acadêmicos.

Com ações de estímulo à pesquisa, adoção de novas tecnologias e apoio aos programas de formação de recursos humanos, a Cláusula de Investimentos em P&D estabelece a obrigação, para as empresas, de investir em despesas qualificadas como pesquisa e desenvolvimento (P&D), no valor mínimo de 0,5% da receita bruta de produção, segundo condições específicas de cada modalidade de contrato, junto a universidades ou institutos de pesquisa e desenvolvimento nacionais, que forem previamente credenciados para este fim pela ANP. O credenciamento é o reconhecimento formal de que a instituição atua em atividades de pesquisa e desenvolvimento e/ou atividades de ensino, em áreas de interesse para o setor, e que possui infraestrutura e condições técnicas e operacionais adequadas para o desempenho das mesmas. (ANP, 2014)

Além dos investimentos estimulados pelas leis de fomento a P&D, as novas descobertas do pré-sal estimularam a atração de centros de pesquisas de grandes empresas

multinacionais para o Brasil, atuando em acordos de cooperação tecnológica, que trouxeram consigo um sistema de gestão em linguagem universal.

O LAMCE - Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia atua há mais de vinte anos na área da pesquisa, formulação e desenvolvimento de métodos numéricos em Mecânica Computacional aplicada à Engenharia, às Geociências e aos métodos de visualização científica.

Visando à padronização de seus processos busca-se atender aos requisitos de credenciamento da ANP, e as exigências das grandes empresas multinacionais, o Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia buscou a implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade pela norma ISO 9001:2008 para seu fortalecimento diante das mudanças nos mercados globais, atender o rigor da legislação introduzida em muitos países, acompanhar o progresso da tecnologia, especialmente na questão ambiental e a melhorar continuamente a relação com seus clientes e parceiros.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A aplicação da qualidade está associada à melhoria contínua, a qual é entendida como um processo de mudanças continuadas que melhoram a organização e agregam valor. O Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) é um sistema de gestão, que permite dirigir e controlar uma organização no que respeita à Qualidade (ISO 9000:2000). O SGQ é uma ferramenta que traz padronização de processos e controle sobre os mesmos, viabiliza medir a eficiência e verificar a eficácia das ações tomadas, com foco específico na satisfação do cliente e na melhoria contínua dos processos. Esse sistema proporciona segurança à alta direção nas tomadas de decisão, pois possibilita a leitura de indicadores de desempenho precisos e confiáveis. Atualmente utilizam-se os sistemas de Gestão da Qualidade citados ao longo do texto, sendo que, na maioria das empresas são necessárias algumas adaptações para que o modelo se encaixe na realidade da organização.

3 MODELO DE CONFORMIDADE E CERTIFICAÇÃO

3.1 O QUE É A ISO

ISO – *International Organization for Standardization*, com sede em Genebra, Suíça, é um organismo internacional que dita às normas de um Sistema de Gestão por intermédio de delegações nacionais de especialistas do ramo, governo e outras organizações relevantes. Em 1987 publicou um conjunto de normas que estabeleceu os requisitos para um sistema de gestão e a garantia da qualidade de produtos e serviços, que podem ser usados pelas organizações para a aplicação interna, para a certificação ou para fins contratuais. Até o momento, 175 países reconhecem e adotam as normas ISO como parâmetro para o Sistema de Gestão da Qualidade nas mais diversas atividades empresariais (BSI, 2014).

As normas ISO 9000 alcançaram um destaque muito grande, resultado de algumas iniciativas. Um delas foi o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade (PBQP), que através da articulação entre diversas empresas estatais e governamentais – como a Petrobrás, empresas dos sistemas Eletrobrás e Telebrás, entre outras, utilizou seu poder de compra para alavancar o desempenho dos fornecedores via exigência de sistemas de garantia da qualidade conforme as normas ISO 9000. Para mostrar a importância dessa articulação, o governo brasileiro era, na época, o maior comprador em todos os segmentos industriais. (CASTILHO, 2010)

O sistema normativo adotado pela ISO pressupõe a atualização periódica das normas, principalmente por se tratar de uma norma não técnica, que envolve questões de gestão organizacional em contínuo processo de mudança.

3.2 ABNT ISO 9001

Especifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade, em que uma organização precisa demonstrar sua capacidade para fornecer produtos que atendam os requisitos do cliente e os regulamentares aplicáveis, e objetiva-se aumentar a satisfação do cliente. (BSI, 2014) Esses requisitos podem ser utilizados pelas organizações para aplicação interna, para

certificação ou para fins contratuais. Ela está focada na eficácia do sistema de gestão da qualidade em atender aos requisitos dos clientes.

Esta Norma não inclui requisitos específicos para outros sistemas de gestão, como específicos à gestão ambiental, gestão de segurança e saúde ocupacional, gestão financeira ou de risco. Entretanto, esta norma possibilita a uma organização o alinhamento ou a integração de seu próprio sistema de gestão da qualidade com requisitos de sistemas de gestão relacionados.

4 METODOLOGIA UTILIZADA

De acordo com Mainieri (1998), o primeiro passo para a adequação do sistema de qualidade é o planejamento. A metodologia empregada para a realização deste trabalho consiste inicialmente da seleção da bibliografia de referência e os principais conceitos da ISO série 9000, bem como de suas características e benefícios. Posteriormente é estabelecida uma proposta de implantação da norma ISO 9001:2008 em um Laboratório de Pesquisa de Engenharia, fazendo o uso da ferramenta 5W2H. Definiu-se um cronograma de atividades a serem realizadas desde a concepção, execução, monitoramento e controle, até a entrega do resultado final do projeto. O planejamento é apresentado de forma detalhada, orientando como, e quando os trabalhos devem ser realizados, seus objetivos, onde se aplicam, indicam-se também os responsáveis pelas atividades, e os eventuais custos. Esta ferramenta facilita o entendimento da execução das etapas necessárias ao processo de certificação, e contempla todos os requisitos que a organização deve seguir.

O Sistema de Gestão da Qualidade do LAMCE utiliza a abordagem de processos. Está estruturado a partir de quatro macroprocessos: responsabilidade da direção, gestão de recursos, realização do produto e medição, análise e melhoria. Estão definidos critérios e metodologias para medir a eficácia da operação e controle dos macroprocessos através de procedimentos documentados. As informações geradas a partir da medição da eficácia dos processos são avaliadas periodicamente e ações necessárias à consecução dos resultados planejados e à melhoria contínua são planejadas e executadas.

O Sistema de Gestão da Qualidade está organizado em quatro grandes macroprocessos:

4.1 Planejamento estratégico e gestão, que estabelece as diretrizes estratégicas do laboratório, sua implementação e gestão.

4.2 Execução de estudos e projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

4.3 Processos de apoio, que englobam os processos de Capacitação e Treinamento, Aquisição de Bens e Serviços, Suporte de Tecnologia da Informação e Comunicação.

4.4 Monitoramento e controle, que envolve os processos de Auditoria Interna e Externa, a Análise Crítica do Sistema, o Tratamento de Reclamações, Sugestões das Partes Interessada e Implementação de Ações Corretivas, Preventivas e de Melhoria.

O macroprocesso de execução de estudos e projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico baseia-se em processos descritos em “Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos” (PMBOK) – 5ª edição, editado pelo *Project Management Institute*, que atende aos requisitos da norma ISO 9001:2008. Esta metodologia considera as quatro fases do ciclo de vida de um projeto, que consiste nos seguintes processos sequenciais.

- **Iniciação do projeto** – Define um novo projeto e seu escopo.

- **Planejamento** – quando os objetivos do projeto são refinados e são definidas ações necessárias para que os objetivos e o escopo do projeto sejam alcançados, monitorados e controlados.

- **Execução e Monitoramento e Controle** – As pessoas e os recursos são integrados visando à realização do projeto. O progresso do projeto é avaliado pelas atividades de monitoramento e controle, através de medições entre o previsto no planejamento e o que é realizado e das ações corretivas que se façam necessárias.

- **Encerramento** – Esta fase formaliza a aceitação do produto/serviço.

Cada uma destas fases é composta por um grupo de processos interdependentes e executada na mesma sequência, delimitados por marcos de projeto.

5 ESTUDO DE CASO – LAMCE - LABORATÓRIO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA

O Sistema de Gestão da Qualidade do LAMCE tem como escopo a prestação de serviços de Estudos e Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico

em Engenharia Civil e Geociências, com o uso de métodos computacionais, em conformidade com a norma NBR ISO 9001:2008, e os requisitos estatutários e regulamentares. Os resultados destes estudos e projetos são entregues na forma de relatórios de estudos e projeto.

Para adequar toda a documentação em atendimento aos requisitos normativos da ISO 9001, utilizaram-se as fases do PMBOK para estabelecer as entradas e saídas, todo controle de documentação, processos internos até a satisfação do cliente.

• Iniciação

Esta fase compreende os processos necessários à formalização do início de um projeto. É quando é identificada a demanda, definidos os objetivos, o escopo, as entregas, a previsão de duração e a análise crítica. Nesta fase, é estabelecido o Coordenador do Projeto elaborar a Proposta de Serviços. O marco que estabelece o fim desta etapa é a Proposta de Serviços aprovada e contrato assinado.

• Planejamento

A fase de planejamento reúne todas as informações relativas ao projeto, e refina o escopo, prazos, custo e qualidade do projeto. Estas definições são registradas no Plano do Projeto, que contém as entregas, cronograma, equipe de projeto e os processos de comunicação. À medida que novas informações sobre o projeto forem identificadas, seu impacto sobre o projeto deve ser reavaliado. Caso ocorram mudanças relevantes ao longo do ciclo de vida do projeto, o planejamento inicial deve ser revisto. No final desta fase é estabelecida a primeira linha de base do projeto, contida no Plano do Projeto. O marco que estabelece o fim desta etapa é o Plano do Projeto aprovado.

• Execução por Etapas / Monitoramento e Controle

Esta fase de Execução contém as atividades e processos de coordenação de pessoas e recursos necessários ao trabalho definido no Plano do Projeto. A execução do projeto é feita por etapas. Cada etapa é finalizada com o marco definido no Plano do Projeto e a emissão do relatório da etapa, seguidos de verificação e validação do relatório da etapa antes da emissão ao cliente. Os procedimentos de monitoramento e controle acompanham a execução do projeto de forma a verificar o desempenho da execução do Plano do Projeto. No mínimo, ao final de cada etapa é realizada a análise crítica do desenvolvimento do estudo/projeto. Caso ocorram variações entre o planejado e o executado, como variação na duração

das atividades ou alteração do escopo, estas variações devem ser avaliadas e, em função do seu impacto nos objetivos projeto, pode ser necessária a alteração no Plano do Projeto e a implementação de mudanças. O marco que estabelece o fim desta etapa é o aceite pelo cliente do produto correspondente à etapa, definido no Plano do Projeto.

• Encerramento

Esta fase contempla a finalização formal de todas as atividades do projeto: a formalização da aceitação do produto/serviço final, o encerramento do contrato e armazenamento dos

registros e dados do projeto. Os procedimentos desta fase também são realizados em caso de cancelamento do projeto. O padrão que estabelece o fim desta etapa é o encerramento do contrato, e o arquivamento dos registros e dados do projeto. (LAMCE, PG-MQ rev11)

A interação entre estes os macroprocessos do SGQ está esquematizada no gráfico a seguir. Este é o resultado do trabalho entre a interação dos itens da ISO 9001 e as fases do PMBOK.

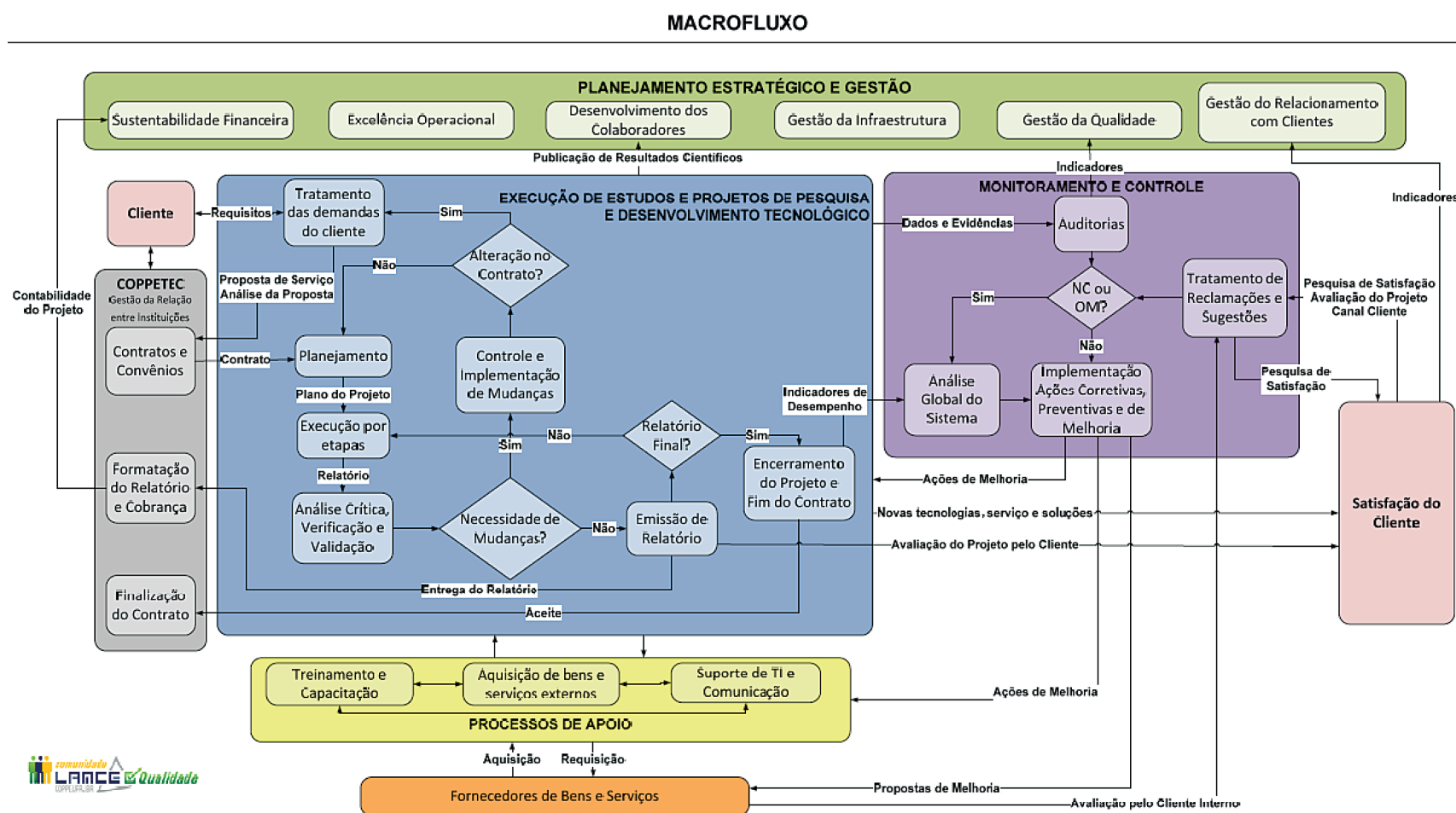


FIGURA 1 • MacroFluxo LAMCE.

FONTE: Fonte: Manual da Qualidade LAMCE, rev11 (elaborado pela autora).

5.1 Dificuldades e potencialidades do SGQ

O SGQ em instituições públicas, por sua natureza essencialmente burocrática, regulamentada e centralizada, e por se considerar que alguns referenciais são mais adequados a empresas, este tipo de organizações não procura a sua implementação. Da experiência de implementação de um SGQ no contexto de Laboratórios de Ensino e Pesquisa de universidade pública, considerou-se pertinente à apresentação de alguns aspectos (positivos e negativos), que podem ser úteis no desenvolvimento de iniciativas semelhantes.

As principais dificuldades encontradas foram:

Promoção da “Cultura da Qualidade”: apesar do esforço da organização para se atender a todos os procedimentos elaborados, a análise e revisão dos processos/atividades com vista à melhoria contínua, pois não se encontrava formalizada.

Resistência à mudança: numa fase inicial, o processo sofreu alguma resistência à mudança. As razões para este fato concentram-se, sobretudo, na insegurança gerada com a alteração de procedimentos, formalidades e rotinas que as pessoas estavam familiarizadas, e com o volume de trabalho que a fase inicial do sistema implicou.

Complexidade dos processos administrativos: a realidade do cotidiano da Universidade que envolve diferentes vínculos empregatícios, instâncias dentro da própria Universidade com autonomia administrativa, pedagógica e científica, e com histórias e procedimentos próprios, implicou um esforço adicional para garantir um SGQ suficientemente abrangente. Com isso considerou-se que o elemento diferenciador em face de outras experiências de executar os sistemas de qualidade encontra-se nesta realidade. Normalmente a execução de um SGQ faz-se para uma realidade organizacional bem definida e delimitada.

Resistência ao relatório de não-conformidades por parte dos colaboradores, que apesar de se fazer um esforço constante na sensibilização para a sua importância e de se tentar desmistificar a perspectiva fiscalizadora e eventualmente punitiva associada. A ênfase tem sido posta, na possibilidade que a identificação e relato destas situações constituem, como oportunidade de melhorar o desempenho da organização e não em apontar o erro de alguém.

O estado atual de implementação do sistema permite identificar algumas potencialidades:

Simplificação de processos: esta percepção resultou de todo o trabalho inicial de definição de processos que originou uma clarificação dos mesmos, bem como a identificação de redundâncias, atividades ou documentos desnecessários.

Cultura Organizacional: verifica-se um reforço da cultura ao incrementar os mecanismos de acompanhamento e monitoramento dos processos, com a definição de objetivos, com o estabelecimento de prazos e padrões de ação para determinadas atividades e com a divulgação a toda a organização desse desempenho através de um relatório de desempenho global do SGQ, além da criação de uma área interna para divulgação dos assuntos relacionados ao SGQ e incentivo a eventos de integração como o *Workshop* realizado anualmente.

Reconhecimento da instituição: o sistema de gestão encontra-se certificado por uma entidade independente, com base num referencial validado e reconhecido internacionalmente. Além do certificado de terceira parte pelo BSI, prêmios internos como o *Self-Audit* reforçam o incentivo institucional para a busca da implementação. O LAMCE em 2010 ganhou a Categoria PRATA, e no ano de 2014 conseguiu a categoria PLATINUM, superando até mesmo a categoria OURO.

Melhoria do serviço: a execução do sistema permitiu identificar necessidades e aumentar a eficiência no desenvolvimento das atividades do Laboratório. A implementação de pesquisas de satisfação do cliente trouxe inúmeras vantagens na percepção do gestor do projeto sobre a qualidade do serviço prestado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente artigo pretendeu-se explorar a metodologia para o desenvolvimento e implementação de um SGQ de acordo com a norma ISO 9001:2008, em um laboratório de estudo e pesquisa. O trabalho inclui ainda a rede de processos, assim como as potencialidades e dificuldades associadas à implementação do SGQ.

O SGQ foi recentemente certificado (Setembro de 2014), encontrando-se estruturado, documentado e cumprindo os requisitos aplicáveis do referencial adotado, o projeto de execução do sistema, pode assim considerar-se bem sucedido. Do trabalho desenvolvido vale destacar a definição da política da qualidade e dos objetivos da qualidade e a criação de uma estrutura documental da organização. Como ponto

forte pode destacar o envolvimento, e comprometimento da alta direção, a dinâmica do SGQ face à sua recente execução e o envolvimento e comprometimento de todos os colaboradores.

Por último, é importante destacar a importância que os colaboradores atribuem à cultura da organização voltada para gestão pela qualidade e, em particular ao SGQ, enquanto caminho estratégico para o desenvolvimento e melhoria da organização. Apesar da implementação do Sistema ainda ser recente, é possível observar alguns resultados positivos. A organização trabalha na ampliação dos processos certificados, bem como na revisão dos processos já executados. Há consciência que a qualidade está em constante mudança, uma vez que existem sempre oportunidades de melhoria a serem exploradas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NBR ISO 9000:2000. **Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulários**, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, dezembro, 2000.

NBR ISO 9001: 2008. **Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, dezembro, 2008.

LAMCE - Manual da Qualidade – PG-MQ revisão 11, LAMCE, setembro, 2014.
LOBO, A., **Qualidade e Produtividade**. Disponível em: <http://repositorios.inmetro.gov.br/handle/10926/760>, acesso em: 23 out. 2014.

GARVIN, David A. **Gerenciando a qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

PAIVA, Ângelo Ribeiro de. Resumo SGQ: **Sistema de Gestão de Qualidade**. Disponível em: <http://gestaopelaqualidade.forumeiros.com/t32-resumo-sgq-sistema-degestao-da-qualidade>, acesso em: 23 out. 2014.

GUEDES, R., **Gestão da Qualidade**. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/gestao-da-qualidade/25638/>, acesso em 23 out. 2014.

Leis federais e estaduais para incentivo de ciência, tecnologia e inovação no Brasil. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/inovacao/leis-federais-estaduais-incentivo-ciencia-tecnologia-e-inovacao-no-brasil.aspx>, acesso em 10 nov. 2014.

Boletim ANP Petróleo e P&D, Edição nº2, Outubro de 2013.

DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR SEGUNDO AS NORMAS NBR 15.575 E 15.220

Bruna Moreira Serra de Sousa ¹
Elaine Garrido Vazquez ²

Resumo

“A elaboração da ABNT NBR 15.575, desde 2008, mobiliza-se esforços em todo o setor da construção civil para adequação das construções nacionais segundo os requisitos propostos pela norma. Sua publicação em 2013 representa um marco para o Brasil, no que diz respeito à preocupação com as necessidades do usuário em termos de desempenho, sendo assim motivação deste estudo. O desempenho térmico, um dos temas que mais gerou discussão na fase de consulta pública da norma, é o foco deste trabalho. Porém, por recomendação da norma de desempenho, uma das metodologias necessárias para a obtenção dos parâmetros de análise deste item está contida na ABNT NBR 15.220. O conforto térmico é um ganho para o consumidor, visto que influencia diretamente a satisfação do homem, a performance humana em atividades intelectuais, manuais, perceptivas e a conservação de energia, ajudando na manutenibilidade da edificação. O presente estudo aplica o procedimento simplificado encontrado na ABNT NBR 15.220, e utiliza os requisitos propostos pela ABNT NBR 15.575 para análise do desempenho térmico em projeto de unidade habitacional multifamiliar, especificamente para os sistemas de vedações verticais externas e de cobertura, sendo discutida posteriormente a conformidade da edificação em questão, com os critérios presente na norma de desempenho. Os principais resultados esperados são a conscientização sobre a relevância do conforto térmico na rotina do usuário, a importância do mesmo na elaboração de projetos, e o posicionamento do cenário nacional no que concerne ao nível de desempenho térmico obtido nas edificações.”

Palavras-chave » Norma de desempenho. Desempenho térmico. NBR 15.220/2005. NBR 15.575/2013. .

¹ E-mail: bru.serra@poli.ufrj.br.

² E-mail: elaine@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil viveu, desde o início dos anos 2000, uma grande expansão no setor da construção civil decorrentes, dentre outros fatores, do crescimento econômico, da estabilidade do país, da melhoria crescente dos índices macroeconômicos brasileiros e da grande capitalização do setor através da abertura de capital de diversas incorporadoras e construtoras (BORGES; SABBATTINI, 2008). Visto este cenário, o mercado buscou diminuir os custos e agilizou o processo de construção, e consequentemente, percebe-se uma queda na qualidade das edificações brasileiras.

No Brasil, tem-se a primeira iniciativa de padronização do desempenho com a elaboração da Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575 iniciada em 2008, idealizada pela Caixa Econômica Federal, a fim de atender as necessidades de mercado, dos projetistas, dos engenheiros e dos consumidores das atuais edificações brasileiras.

O ano de 2013 foi marcado pelo início do vigor da Norma de Desempenho da associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O texto institui nível de desempenho mínimo ao longo de uma vida útil para os elementos principais de toda e qualquer edificação habitacional, sendo eles: estrutura, vedações, instalações elétricas, hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura.

Dentre os requisitos que motivaram a revisão da norma, está o conforto térmico, objeto do presente estudo, normatizado a partir da ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações. No que tange o conforto térmico, esta torna-se uma importante ferramenta para projetistas.

2 DESEMPENHO TÉRMICO

2.1 Variáveis Climáticas

Quando o objeto de estudo é o desempenho térmico, deve-se ter em conta de que ele é resultado de uma junção de fatores, dentre eles as variáveis climáticas. Trata-se do estudo do clima, e do local do projeto a fim de satisfazer às necessidades de conforto.

2.2 Variáveis Humanas

As variáveis humanas estão diretamente ligadas à sensação de conforto térmico. A temperatura interna do organismo humano tende a permanecer constante, independente das condições do clima. Porém, ocorrem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio, sendo o conforto térmico obtido quando o balanço destas trocas é nulo.

2.3 Variáveis Arquitetônicas

O desempenho térmico de uma edificação depende da adequação arquitetônica ao local. A forma, a função e os fechamentos utilizados são responsáveis por atingir o desempenho desejado.

Para o alcance do desempenho térmico faz-se necessário entender os conceitos de transmissão de calor e comportamento térmico dos fechamentos presentes no Quadro 1.

PROPRIEDADES TÉRMICAS	DEFINIÇÃO
Absortância térmica (α)	A radiação incidente no fechamento opaco terá uma parcela refletida, e outra absorvida. A absortância térmica representa o percentual da parcela de radiação que determinada superfície irá absorver. Esta propriedade é determinada pela cor do material.
Condutividade térmica (λ)	A condutividade térmica representa a capacidade de determinado material conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Quanto maior o valor de λ , maior a quantidade de calor transferida entre as superfícies.
Emissividade (ϵ)	A emissividade é a propriedade física dos materiais, que representa a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo de uma superfície em contato com camada de ar.
Resistência térmica (R)	A resistência térmica é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento, ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. Este conceito representa a propriedade do material em resistir à passagem de calor.
Transmitância térmica (U)	A transmitância térmica é determinada pelo inverso da resistência térmica total do fechamento. É através desta variável que se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor.
Fluxo térmico (q)	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície. Quando se trata de conforto térmico, o objetivo na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas no inverno e os ganhos elevados no verão.
Capacidade térmica (C)	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

QUADRO 1 • Propriedades térmicas dos materiais.

FONTE: ABNT NBR 15.220-1, 2005 / Corbella, 2011 / Lamberts, 2004.

2.4 ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações

Ao tratar de desempenho térmico no Brasil, a ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações é a principal referência para metodologia de cálculo do mesmo.

2.4.1 PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

A primeira propriedade a ser analisada é a transmitância térmica de componentes como mostrado na Equação 1.

$$U=1/R_T \quad (1)$$

Para calcular a resistência térmica total de ambiente a ambiente, é utilizada a Equação 2.

$$R_T=R_{SE}+R_t+R_{SI} \quad (2)$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície.”

R_{SE} e R_{SI} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas na Tabela 1.

R_{si} (m ² .K)/W			R_{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

TABELA 1 • Resistência térmica superficial interna e externa.

FONTE: ABNT NBR 15.220-2, 2005.

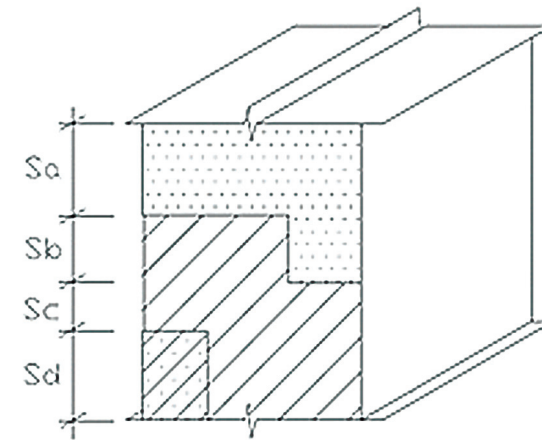
Já o cálculo da resistência térmica de superfície a superfície em vedação é composta por camadas homogêneas, e não homogêneas é dada pela Equação Onde: R_a ,

$$R_t = \frac{A_a + A_b \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (3)$$

$R_{b1}, \dots, R_n$ são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção.

$A_a, A_b, \dots, A_n$ são as áreas de cada seção.

FIGURA 1 • Desenho esquemático de vedação com camadas não homogêneas.



FONTE: ABNT NBR 15.220-2, 2005.

Por fim, a resistência térmica de cada camada é dada pela Equação 4.

Sendo a espessura da camada, os valores para condutividade térmica

$$R=e/\lambda \quad (4)$$

de materiais de uso corrente e a absorvância encontrados na tabela de propriedades térmicas dos materiais padronizada da norma.

Outra propriedade importante para a definição do desempenho térmico é a capacidade térmica, determinada pela Equação 5.

$$C_T = \frac{A_a + A_b \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (5)$$

Onde:

C_{Ta} , C_{Tv} , ..., C_{Tn} são as capacidades térmicas do componente para cada seção.

A_a , A_v , ..., A_n são as áreas de cada seção.

2.4.2 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

A norma propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e para cada uma destas zonas formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática.

Para facilitar a busca do projetista, a norma conta com tabela contendo trezentos e trinta cidades já catalogadas e suas respectivas zonas bioclimáticas. Para cidades não catalogadas pode-se utilizar o mapeamento do território brasileiro presente na Figura 2.

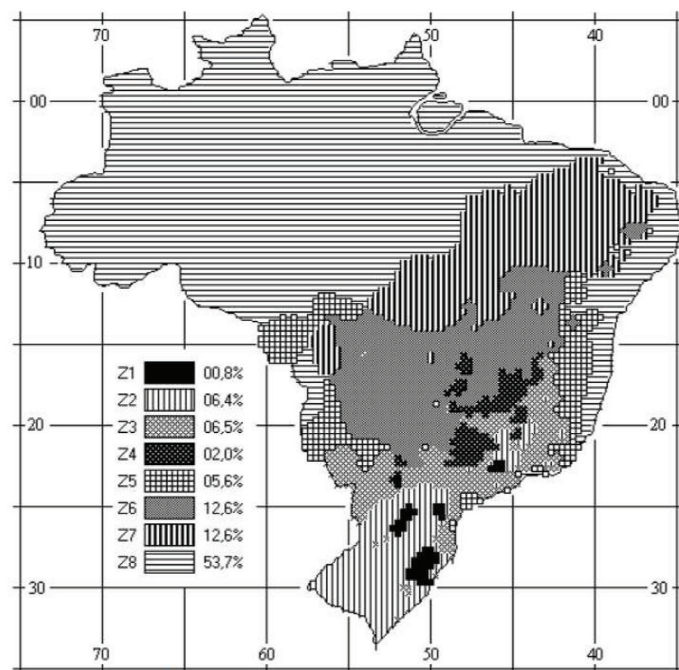


FIGURA 2 • Zoneamento bioclimático brasileiro.

FONTE: ABNT NBR 15.220-3, 2005.

2.5 ABNT NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho

A ABNT NBR 15.575 é a norma de desempenho em vigor no Brasil desde 2013. O foco desta norma está nos requisitos dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao seu comportamento em uso, independente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado. A norma estabelece requisitos mínimos a serem atendidos para o conforto do usuário e, além disso, ela também disponibiliza valores comparativos para níveis intermediários e superiores.

No que concerne ao desempenho térmico, os sistemas contemplados são os de vedações verticais externas e os de coberturas, que podem ser encontrados nas partes 1, 2 e 3. Toda a metodologia de cálculo dos parâmetros é feita com base na ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações.

2.5.1 PARTE 1: REQUISITOS GERAIS

O item 11 da parte 1 da NBR 15.575 introduz os procedimentos de avaliação do desempenho térmico. O texto mostra dois procedimentos para esta avaliação, o procedimento 1 de caráter normativo e o procedimento 2 de caráter informativo, sendo o primeiro o foco deste trabalho.

2.5.1.1 EDIFICAÇÕES EM FASE DE PROJETO

A avaliação de projeto deve ser realizada para um dia típico de projeto, de verão e/ou de inverno. Para edifícios multipiso, a primeira regra a ser observada é selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta.

O próximo passo é considerar as recomendações para a condição crítica do ponto de vista térmico. É preciso levar em consideração que para o verão, deve-se selecionar uma unidade com janela do dormitório ou da sala voltada para oeste, e a outra parede exposta voltada para norte. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste.

Considera-se também que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol ou vento. Por outro lado, dispositivos de sombreamento devem ser considerados na simulação.

2.5.2 PARTE 4: REQUISITOS PARA OS SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS

A ABNT NBR 15.575-4 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15.220.

2.5.2.1 REQUISITO: ADEQUAÇÃO DE PAREDES EXTERNAS

A primeira propriedade a ser avaliada será a transmitância térmica (U) das paredes externas apresentadas na Tabela 2.

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

TABELA 2 • Transmitância térmica de paredes externas.

FONTE: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

A segunda propriedade a ser verificada é a capacidade térmica (CT) das paredes externas apresentadas na Tabela 3.

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

TABELA 3 • Capacidade térmica de paredes externas.

FONTE: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

O cálculo deve estar conforme procedimentos apresentados na ABNT NBR 15.220-2.

2.5.2.2 REQUISITO: ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO

Este requisito aplica-se somente aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios. Quando não houver requisitos de ordem legal, para o local de implantação da obra devem ser adotados os valores indicados na Tabela 4.

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7 % da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL A ≥ 8 % da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
NOTA de frío.	Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frío.	

TABELA 4 • Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

FONTE: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

A análise do projeto arquitetônico deve ser feito considerando, para cada ambiente de longa permanência, a relação apresentada na Equação 6.

$$A=100\times\left(\frac{A_A}{C_p}\right)(\%) \quad (6)$$

Onde:

A_A é a área efetiva de abertura de ventilação.

A_p é a área de piso do ambiente.

2.5.3 PARTE 5: REQUISITOS PARA OS SISTEMAS DE COBERTURAS

A ABNT NBR 15.575-5 apresenta os requisitos e critérios para verificação de níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15.220-1 e ABNT NBR 15.220-3.

2.5.3.1 REQUISITO: ISOLAÇÃO TÉRMICA DA COBERTURA

A edificação deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar de acordo com a Tabela 5.

Transmitância térmica (U) W/m²K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹⁾		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	
¹⁾ Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.					
NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.					

TABELA 5 • Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica.

FONTE: ABNT NBR 15.575-5, 2013.

3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O estudo de caso consiste na análise do projeto de uma edificação multifamiliar, sobre o ponto de vista térmico, que utiliza-se a metodologia de cálculo de parâmetros da ABNT NBR 15.220 aplicada às exigências de desempenho da ABNT NBR 15.575.

3.1 Caracterização do empreendimento

Trata-se de um empreendimento residencial de médio padrão situado em Vila Isabel, zona norte do Rio de Janeiro. O condomínio compreende quatro torres multifamiliares, cada uma contando com 7 pavimentos, sendo eles térreo, 5 pavimentos tipo e 1 dependência. O empreendimento terá 6.198,18 m² de área construída, 180 unidades de 2 a 3 quartos e até 242 m².

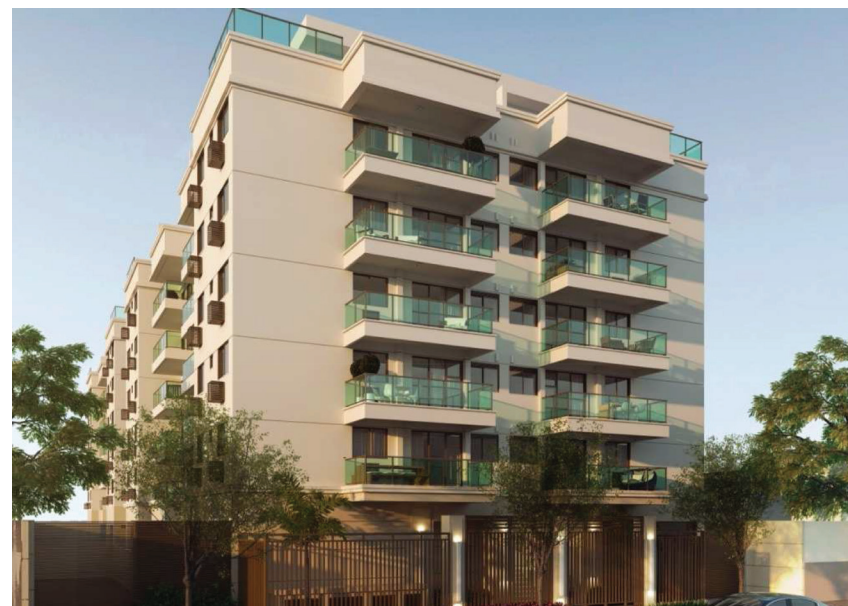


FIGURA 3 • Layout da fachada do empreendimento.

FONTE: Empresa X, 2014.

3.2 Caracterização da construtora

A empresa X está entre as 50 marcas brasileiras mais valiosas, segundo *ranking* das Marcas Mais Valiosas do Brasil da Revista Dinheiro e eleita a empresa mais admirada na categoria Incorporadora e Construtora do *ranking* As empresas mais admiradas do Brasil da revista Carta Capitais. A construtora e incorporadora X atua em 16 estados, e 66 cidades no Brasil. Tem em seu portfólio mais de 300 empreendimentos entregues, e possui certificação ISO 9001.

3.3 Escolha da unidade a ser analisada

Segundo a ABNT NBR 15.220-3, a região está situada na zona bioclimática 8, sendo assim, os únicos critérios a serem analisados serão referentes ao dia típico de verão.

Por se tratar de um edifício multipiso, deve-se selecionar uma unidade no último andar, com cobertura exposta. Além disso, as condições críticas de verão se dão preferencialmente em unidades com janela do dormitório ou da sala voltada para oeste, e a outra parede exposta voltada para o norte.

Leva-se em consideração estas duas condições, a maior área exposta possível, selecionou-se a unidade 501 do edifício Vita, localizado de frente para a Rua Teodoro da Silva. Esta unidade duplex possui 3 quartos com suíte e 233,04 m² de área, como pode-se observar nas plantas humanizadas de seu primeiro pavimento e dependência nas Figuras 4 e 5.



FIGURA 4 • Planta humanizada do primeiro pavimento da cobertura duplex 501 do edifício Vita.

FONTE: Empresa X, 2014.



FIGURA 5 • Planta humanizada da dependência da cobertura duplex 501 do edifício Vita.

FONTE: Empresa X, 2014.

A dependência da cobertura duplex 501 do edifício Vita possui uma suíte com vedação externa voltada para oeste, e sala com vedação externa voltada para norte, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5. Estas características associadas ao fato de ter umas das maiores áreas expostas do empreendimento foram predominantes para a escolha desta unidade.

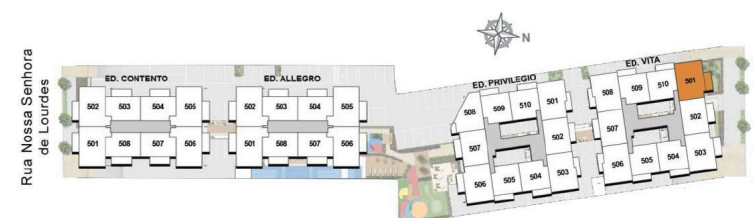


FIGURA 6 • Localização da unidade 501 do Ed. Vita no empreendimento.

FONTE: Empresa X, 2014.

3.4 Análise dos requisitos de sistemas de vedações verticais externas

As vedações verticais externas a serem analisadas são heterogêneas compostas por uma camada externa de emboço em argamassa de 2,5 cm, bloco cerâmico de 6 furos de tamanho 14 x 19 x 39 cm, e uma camada interna de emboço em argamassa de 2,5 cm, como mostrado nas Figuras 7 e 8.

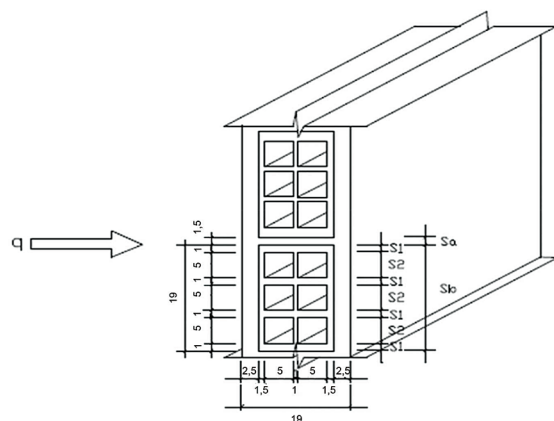


FIGURA 7 • Desenho esquemático da vedação externa, considerando fluxo de calor horizontal.

FONTE: Autor, 2014.

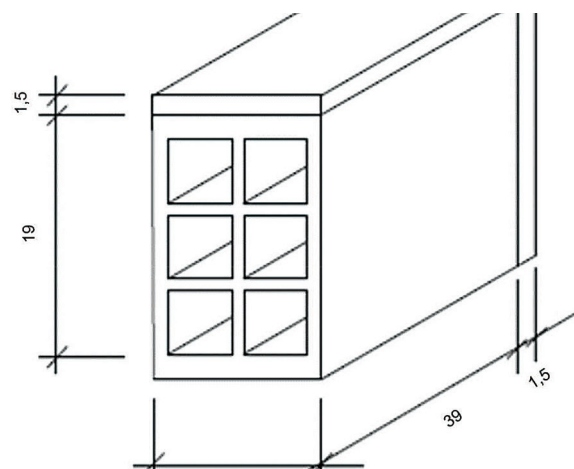


FIGURA 8 • Desenho esquemático do elemento individual mostra-se alvenaria e argamassa.

FONTE: Autor, 2014.

Para o cálculo dos parâmetros, a ABNT 15.220-2 recomenda que a resistência térmica do tijolo seja calculada isoladamente para, em seguida, calcular a resistência da parede, obtendo-se os resultados mostrados no Quadro 2.

REQUISITO	CRITÉRIO	RESULTADO ESPERADO	RESULTADO OBTIDO
Adequação de Paredes Externas	Transmitância Térmica	$\alpha^* < 0,6$ $U \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	$\alpha^* = 0,30$ $U = 2,15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
	Capacidade Térmica	Não há valores mínimos exigidos para a zona bioclimática 8.	
Aberturas para Ventilação	-	$A \geq 8\%$	Sala: $A = 10,96\%$ Suíte: $A = 18,42\%$

QUADRO 2 • Requisitos de Sistemas de Vedações Verticais Externas.

FONTE: Autor, 2014.

3.5 Análise dos requisitos de sistemas de coberturas

A composição da cobertura do edifício em questão poder ser observada na Figura 9.

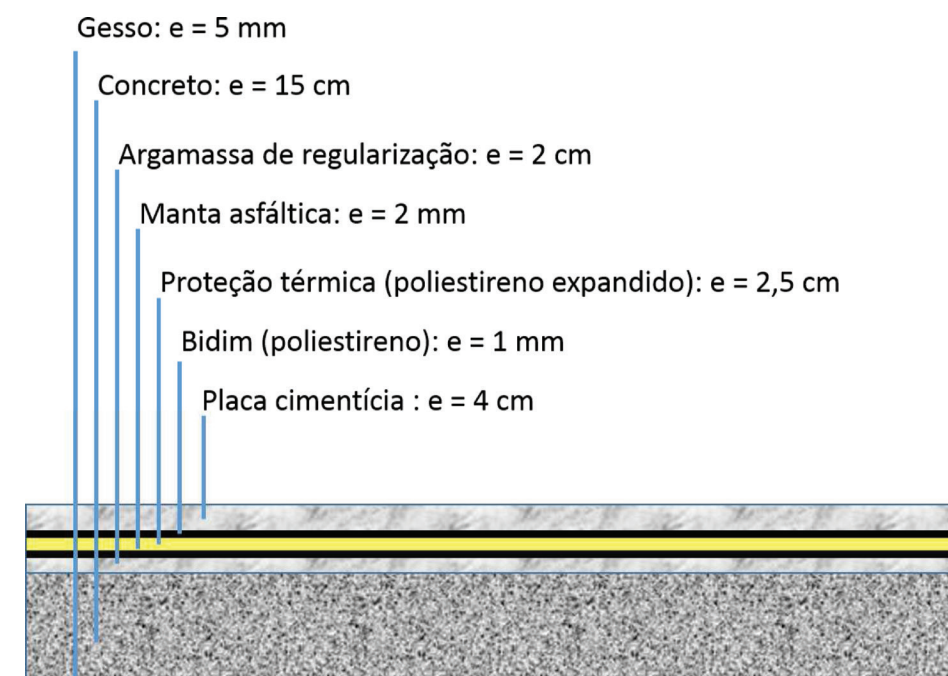


FIGURA 9 • Desenho esquemático das camadas da cobertura.

FONTE: Autor, 2014.

Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 3.

REQUISITO	CRITÉRIO	RESULTADO ESPERADO	RESULTADO OBTIDO
Isolação Térmica da Cobertura	Transmitância Térmica	$U \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	$U = 0,9524 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$

QUADRO 3 • Requisitos de Sistemas de Cobertura.

FONTE: Autor, 2014.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou o histórico da avaliação do desempenho térmico no Brasil. Percebe-se que a preocupação e normatização do desempenho no país é uma iniciativa recente, tendo seu início em 2008, com o início da elaboração da ABNT NBR 15.575 - Edificações Habitacionais - Desempenho. Tal iniciativa é justificada pela necessidade do usuário ter garantido níveis mínimos de desempenho da unidade que recebe, já que após os anos 2000 houve grande expansão do setor imobiliário culminando em uma queda de qualidade das edificações construídas, a partir deste período.

Através do estudo de caso, aplicaram-se os conceitos disponíveis nas normas brasileiras a fim de se ter uma resposta prática para a discussão levantada. Percebeu-se que todos os requisitos propostos pela norma de desempenho foram atendidos pelo empreendimento citado. Vale ressaltar que, a edificação será construída em sistema estrutural convencional, sem preocupações específicas com o conforto térmico, com exceção do tratamento térmico da cobertura. Este fato demonstra que a ABNT NBR 15.575 está branda em relação aos seus parâmetros, visto que, do ponto de vista do autor como usuário, em dias típicos de verão na cidade do Rio de Janeiro é indispensável à utilização de condicionadores de ar.

Sabe-se que desde o início da elaboração da norma de desempenho, passa-se pelo período de consulta pública, houve modificações nos parâmetros mínimos aceitos na norma. Principalmente no que dizem respeito ao conforto térmico, estes parâmetros foram rebaixados a fim de atender ao que usualmente é tido como aceitável no mercado imobiliário brasileiro atual. O autor entende a importância da ABNT NBR 15.575 como um primeiro passo no que concerne à preocupação com o desempenho das edificações, tendo por principal função despertar no setor da construção civil, o hábito do conceito de desempenho. Porém, para que a norma seja realmente efetiva, em suas próximas revisões os parâmetros devem ser gradativamente melhorados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.220 – **Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.575 – **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BORGES, C. A., **O significado de desempenho nas construções**. [S. I.]: Construção, 2010. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx>> Acesso em: 07 jul. 2014.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R., 2004, **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 ed. São Paulo, Pro Livros.

PANORAMA DA LOGÍSTICA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO RIO DE JANEIRO

Liz Boaretto Teixeira Leite ¹
Ana Catarina Jorge Evangelista ²

Resumo

“O acelerado mercado da construção nos leva a pensar nos possíveis impactos a serem causados por ele ao meio em que vivemos. Analisa-se a recorrente questão da degradação do meio ambiente causado pela indústria da construção, o aspecto mais expressivo é a disposição inadequada de resíduos de construção civil, chamados RCC, em locais não regularizados, o que acarreta os mais diversos prejuízos à natureza. Ao inicia-se um empreendimento, o construtor deve prever como dispor corretamente os resíduos e rejeitos que serão gerados no seu canteiro. O processo de gestão de RCC deve prioritariamente focar na não geração, de modo a obter uma obra limpa e sustentável. Reduzir, reutilizar e reciclar os resíduos que são etapas subsequentes a serem desenvolvidas, e buscadas persistentemente nos processos produtivos. Por isso, o presente trabalho foi realizado com a finalidade de reunir informações para gerar dados que mostra-se as facilidades e dificuldades, que o construtor encontra dentro do panorama atual da gestão de resíduos aplicando-o ao município do Rio de Janeiro.”

Palavras-chave » Resíduos de Construção e Demolição. Resíduos da Construção Civil e Panorama.

¹ E-mail: lizboaretto@poli.ufrj.br.

² E-mail: anacatarina@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos de construção nos canteiros de obras, independentemente do porte do empreendimento, é indispensável para a qualidade da gestão ambiental dos centros urbanos. Gestão é o ato de coordenar esforços de pessoas para atingir os objetivos de uma organização. Uma gestão adequada dos resíduos da construção civil que, informalmente são chamados de “entulho” reduz custos sociais, financeiros e ambientais. Esses entulhos são basicamente as sobras dos processos construtivos e de demolições, que devem ser gerenciados do projeto à sua destinação final, para que impactos ambientais sejam evitados ou reduzidos.

A destinação inadequada dos entulhos do processo construtivo gera problemas como o esgotamento de aterros sanitários (chegam a mais de 50% do volume total de resíduos depositados em aterros), a obstrução do sistema de drenagem urbana, e a proliferação de insetos e roedores. Além disso, provoca a contaminação de águas subterrâneas pela penetração através do solo de metais de alta toxicidade de chorume, o desperdício de materiais recicláveis, e o consequente prejuízo aos municípios e à saúde pública.

2 PANORAMA DA LOGÍSTICA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO RIO DE JANEIRO

Os grandes eventos como a Copa do Mundo de 2014, e as Olimpíadas de 2016 trouxeram grande valorização aos imóveis no Rio de Janeiro, principalmente na Zona Sul e na Barra da Tijuca.

2.1 Classificação dos geradores

Um importante instrumento legal relativo ao tema em estudo é a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que além de classificar os RCC em classes A, B, C e D, estabelece outra importante prescrição, na qual cada município deve implantar seu

Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). No Rio de Janeiro este documento institui, para o âmbito da Construção Civil, o Plano Integrado de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC) oficializado através do Decreto Municipal 27.078 de 27 de setembro de 2006. Entende-se como resíduo Classe A os reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, Classe B os recicláveis para outras destinações, Classe C para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, e Classe D os resíduos perigosos. O modo como os RCC devem ser geridos em cada obra diferencia-se em função da classificação do empreendimento como grande ou pequeno gerador.

Pequenos geradores: o Decreto 27.078 classifica como pequeno gerador aquele que produza individualmente um volume inferior a 2 m³ por semana de resíduos de construção. O Decreto impõe ainda que, a gestão para pequenos volumes deve ser feita pelo gerador com intermédio do Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), e estipula diretrizes técnicas para esse documento.

Grandes geradores: de acordo com o Decreto 27.078, empreendimentos que produzam volume superior a 2 m³ por semana de RCC classificam-se como grandes geradores, por isso deve-se obrigatoriamente executar Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) de suas obras.

Por sua vez, o mesmo Decreto que estipula diretrizes para a execução do PGRCC, também assume como pertinente, pois cita-se a seguinte classificação dos geradores contida na Resolução N.º 387 de 24 de maio 2005 da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC), em que são classificados como “geradores que devem executar e apresentar ao Órgão Ambiental Municipal, Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) para obter a Licença Municipal de Instalação de suas obras” apenas os seguintes:

I) **EDIFICAÇÕES** com área total construída (ATC) igual ou maior que 10.000 m²;

II) **EMPREENHIMENTOS OU OBRAS QUE REQUEIRAM MOVIMENTO DE TERRA** com volume superior a 5.000 m³;

III) **DEMOLIÇÃO DE EDIFICAÇÕES** com área total construída (ATC) igual ou maior que 10.000 m², ou volume superior a 5.000 m³.

Essa classificação é reiterada pela Resolução SMAC N.º 519, de 21 de agosto de 2012. Portanto, fica legalmente estabelecido que apenas grandes geradores com ATC maior que

10.000m², e movimentação de terra maior que 5.000m³ têm a obrigatoriedade de apresentar o PGRCC aos órgãos públicos competentes no ato do licenciamento de seu empreendimento. A Figura 1 ilustra a cadeia logística da legislação municipal no que tange a gestão do RCC no Rio de Janeiro para grandes e pequenos geradores:

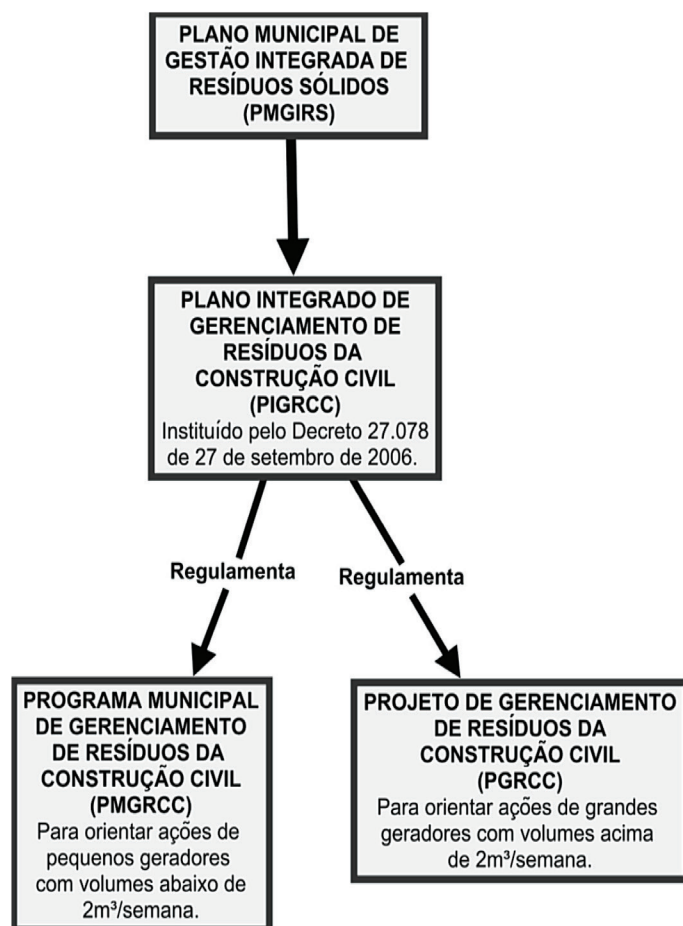


FIGURA 1 • Organograma da Gestão de resíduos no município do Rio de Janeiro.

FONTE: elaborado pela autora (2014).

Médios geradores: como pode ser visto, os dispositivos legais cariocas permitem que existam empreendimentos da Construção Civil que, devido às duas classificações aplicáveis, não terão a obrigatoriedade de apresentar ao INEA / SMAC o PGRCC para

adquirir sua Licença de Instalação de obra. Para estes, a execução do PGRCC é obrigatória apenas para sua implementação no canteiro, e sua apresentação em algum momento ao longo da obra, no caso de fiscalização. Isso acontecerá com empreendimentos que gerarem mais que 2 m³ por semana de resíduos (grandes geradores) mas que tenha ATC menor que 10.000 m³, e sua movimentação de terra seja menor que 5.000 m³. Por isso, empreendimentos desse porte foram classificados pela autora como “Médios geradores” de resíduos.

Confirma-se isso no segundo parágrafo do Art 14 do Decreto Municipal 27.078: “§ 2º Ficam isentos de apresentar, ao órgão ambiental municipal, os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, por ocasião do licenciamento, os geradores de grandes volumes que não se enquadrem nos casos previstos no § 1º, sem prejuízo do atendimento às etapas de caracterização, triagem, condicionamento, transporte e destinação finais estabelecidas no art. 16 deste Decreto, mediante apresentação de Declaração específica ao órgão licenciador.”

O parágrafo primeiro referido acima institui a Resolução 387 como classificadora do porte dos geradores de resíduos: “§ 1º Os PGRCC devem ser desenvolvidos e implementados nos casos de licenciamento de construção ou demolição de edificações previstos na Resolução SMAC nº 387, de 24.05.2005, e aquelas que venham complementá-la ou substituí-la.”

2.2 Panorama no Rio de Janeiro

A dificuldade de encontrar dados atualizados e representativos relativos a qualquer localidade é grande hoje em dia. A ausência de um instrumento que garanta o controle mais efetivo dos processos relativos à gestão do RCC é o principal fator responsável por isso, que é atenuado pela falta de interesse dos órgãos públicos de realizar investimentos na área.

Com o objetivo de centralizar e orientar ações, foi criada a Associação dos Aterros de Resíduos da Construção Civil do Estado do Rio de Janeiro (ASSAERJ). Nela as empresas associadas recebem apoio sobre questões técnicas, administrativas e jurídicas referentes à operação, implantação de Centros de Triagem, Reciclagem, Reaproveitamento e Destinação final de seus resíduos. A Associação também auxilia

no desenvolvimento de pesquisas, na formação de pessoal técnico em tentar alinhar as atividades de seus associados, de acordo com as exigências legais, atuando em parceria com os órgãos públicos. A Visão da empresa é “Ser uma Associação reconhecida como fomentadora de práticas econômicas, sociais e ambientais baseada na ética empresarial e no respeito à qualidade de vida da sociedade fluminense.”

Os aterros associados movimentam um volume aproximado de 160.000 m³ de RCC por mês, sendo aproximadamente 70% resíduos Classe A, 22% resíduos Classe B e 8% resíduos Classe C. (Fonte: ASSAERJ)

No Rio de Janeiro, a fiscalização dos processos é exercida pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente), e pela SMAC (Secretaria Municipal de Meio Ambiente). Porém, podemos dizer que na prática a eficácia de suas ações não é boa, fato que pode ser ilustrado com a quantidade de denúncias de aterros clandestinos recebidas na cidade, além dos que existem e não são denunciados.

A disposição irregular de RCC, que não ocorre somente no Rio de Janeiro, é facilitada pela falta de um instrumento de controle, que mostre de forma transparente os agentes e suas respectivas responsabilidades dentro da cadeia logística que envolva a gestão adequada de resíduos, ou seja, é preciso que seja exposto de forma mais clara quem são os geradores, os transportadores e os receptores possíveis do processo de gestão de resíduos ao mesmo tempo em que se assegure e fiscalize, e que apenas os receptores e transportadores legalizados possam atestar oficialmente o recebimento e transporte de RCC no município.

Para tanto, a SMAC disponibiliza em seu endereço eletrônico a lista de, atualmente 18 empresas licenciadas aptas para a destinação Ambiental de Resíduos da Construção Civil, as quais foram separadas em função da classificação CONAMA dos resíduos que elas recebem, conforme Figura 2:

EMPRESAS LICENCIADAS PELA SMAC							
TOTAL	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE D	CLASSE A,B	CLASSE A,B,C	CLASSE A,B,C,D	DESMONTE DE ROCHA
18	3	2	2	1	6	3	1

FIGURA 2 • Lista de empresas licenciadas para destinação ambiental de RCC no município do Rio de Janeiro.

FONTE: Endereço eletrônico da SMAC.

Atualmente o panorama da gestão de RCC no Rio de Janeiro mostra uma grande burocracia caracterizada pela grande quantidade de documentos e relatórios impressos necessários nas suas atividades, quantidade essa, que aumenta à medida que aumenta a geração de resíduos, desacelerando e coibindo a otimização dos processos que precisam ser executados.

Para ilustrar a importância de Associações como a ASSAERJ, o quantitativo da Figura 3 gerado pela mesma em Março de 2014, em conjunto com a Companhia Municipal de Limpeza Urbana, a *Comlurb*, nos dá uma ideia da quantidade em peso de resíduos da construção dispostos anualmente nos aterros da região metropolitana.

ATERROS	QUANTIDADE RECEBIDA (TONELADAS/ANO)
ASSAERJ	2.808.000
Gericinó	225.015
Seropédica	5.400
Total	3.038.415

FIGURA 3 • Quantitativo de resíduos recebidos por aterro por ano.

FONTE: ASSAERJ (2013).

Pode-se ver que os aterros associados respondem pela maior parte dos RCC dispostos regularmente por ano na região metropolitana.

2.3 A gestão do PGRCC no Rio de Janeiro

O Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), mais do que um mero requisito formal a ser cumprido perante os órgãos públicos para a obtenção das licenças ambientais dos grandes geradores é, na verdade, um importante instrumento da gestão ambiental, uma vez que com sua apresentação nos órgãos públicos podem prever qual volume e tipo de resíduo que será gerado, e assim planejar suas ações.

Para ilustrar os procedimentos que cada obra deve executar ao gerar o PGRCC, são listadas abaixo, algumas boas práticas extraídas da Resolução SMAC N.º 519, de 21

de agosto de 2012 no que diz respeito ao dever do cumprimento das obrigações legais dos empreendimentos do Município do Rio de Janeiro com Área Total Construída superior a 10.000m² e movimentação de terra acima de 5.000m³.

2.3.1 A ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO

Os PGRCC's devem contemplar as seguintes etapas:

1 - Caracterização: etapa em que o gerador deve identificar e quantificar os resíduos de construção e demolição gerados no empreendimento;

2 - Triagem: deve ser realizada preferencialmente pelo gerador, na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação regularizadas, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas na Resolução CONAMA nº 307/2002;

3 - Acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos desde a geração até a etapa de transporte, assegura-se, em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

4 - Transporte: deve ser realizado pelo próprio gerador ou por transportador credenciado/licenciado pelo Poder Público, respeitadas as etapas anteriores, e as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

5 - Destinação: deve ser prevista e realizada em áreas de destinação licenciadas e regulares e estar documentada com Notas de Transporte de Resíduos (NTR).

A emissão de Habite-se ou Aceitação de obras, pelo órgão municipal competente, para os empreendimentos dos grandes geradores de resíduos de construção, deve estar condicionada à apresentação dos documentos de Nota de Transporte de Resíduos (NTR), ou outros documentos de contratação de serviços anunciados no Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, comprovadores da correta triagem, transporte e destinação dos resíduos gerados.

2.3.2 A IMPLANTAÇÃO DO DOCUMENTO

O PGRCC é de implantação obrigatória por parte dos grandes geradores, e pode ser executado mediante a contratação de serviços de terceiros, desde que mantida a responsabilidade do gerador em relação à destinação final dos resíduos. Sua implementação deve seguir os seguintes critérios:

1 - Os documentos do PGRCC devem ser preenchidos e assinados em duas vias pelo Profissional Responsável pela Execução da Obra – PREO, ou por outro profissional devidamente habilitado, com a respectiva anotação de responsabilidade técnica. Um quadro de resumo deve ser elaborado, e permite-se uma leitura rápida e segura, conforme Figura 4.

2 - O PGRCC emitido é uma exigência para a emissão de parecer técnico de Licença Municipal de Instalação – LMI.

3 - Existem casos previstos no Art.2º da Resolução CONAMA 369, de 29.03.2006, como sendo de utilidade pública ou interesse social. Neles, a apresentação do PGRCC, poderá ser postergada para fase posterior a emissão da Licença Municipal de Instalação – LMI, a critério do corpo técnico da SMAC.

4 - A concessão do Parecer de Baixa de Restrições da LMI pela SMAC, que atesta a regularidade do empreendimento “instalado”, é condicionada à apresentação de Relatório de Implantação e Acompanhamento – RIA referente ao gerenciamento dos RCC, através do qual será comprovada a destinação adequada dos resíduos gerados em todas as etapas da obra.

5 - Os Relatórios de Implantação e Acompanhamento – RIAs, ilustrado na Figura 5, também devem ser assinados pelo PREO ou pelo responsável técnico pelo PGRCC, indicando o tipo, a quantidade e o destino final dos resíduos gerados ao final de cada etapa da obra, informando, também, qualquer alteração em sua destinação, prevista inicialmente no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC.

PGRCC – QUADRO RESUMO

(De acordo com a Resolução SMAC nº 519, de 21 de agosto de 2012)

ETAPA: DEMOLIÇÃO		
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO PREVISTO
A		
B		
C		
D		

ETAPA: PREPARO DO TERRENO		
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO PREVISTO
A		
B		
C		
D		

ETAPA: FUNDAÇÃO		
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO PREVISTO
A		
B		
C		
D		

ETAPA: ESTRUTURA		
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO PREVISTO
A		
B		
C		
D		

ETAPA: ACABAMENTO		
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO PREVISTO
A		
B		
C		
D		

FIGURA 4 • Modelo de quadro resumo do PGRCC.

FONTE: Resolução SMAC N.º 519, de 21 de agosto de 2012.

RELATÓRIO DE IMPLANTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO - RIA

(De acordo com a Resolução SMAC nº 519, de 21 de agosto de 2012)

QUADRO 1 – QUADRO DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS

ETAPA: DEMOLIÇÃO				
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO ADOADO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

ETAPA: PREPARO DO TERRENO				
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO ADOADO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

ETAPA: FUNDAÇÃO				
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO ADOADO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

ETAPA: ESTRUTURA				
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO ADOADO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

ETAPA: ACABAMENTO				
CLASSE	QUANTIDADE (m ³)	DESTINO ADOADO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

(*) NTR, DECLARAÇÃO DO PROPRIETÁRIO DO LOTE/TERRENO OU MANIFESTO DE RESÍDUOS.
 (**) QUANDO COUBER, JUSTIFICAR INCOMPATIBILIDADES ENTRE OS VOLUMES INFORMADOS NO PGRCC E NO PRESENTE RELATÓRIO.

 ASSINATURA DO PROFISSIONAL HABILITADO

FIGURA 5 • Modelo de Relatório de Implantação e Acompanhamento.

FONTE: Resolução SMAC N.º 519, de 21 de agosto de 2012.

6 – O RIA deve conter os seguintes documentos que comprovem as suas informações:

I – Para resíduos Classes A, B e C: nota de Transporte de Resíduos (NTR), conforme Figura 6, para cada retirada de RCC, em via única, assinada pelo gerador, transportador e receptor dos resíduos.

II – Para Resíduos Classe D: manifesto de Resíduos do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, conforme Figura 7.

NOTA DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS – NTR	
(De acordo com a Resolução SMAC nº 519, de 21 de agosto de 2012)	
LMI Nº	DATA: ____/____/____ (via única)
NOTA DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS	
1. GERADOR NOME/RAZÃO SOCIAL E CPF/CNPJ	
2. ENDEREÇO DA OBRA RUA/AVENIDA, NÚMERO, BAIRRO E CEP	
3. TRANSPORTADOR NOME/RAZÃO SOCIAL, CPF/CNPJ E INSCRIÇÃO MUNICIPAL	
4. RECEPTOR NOME/RAZÃO SOCIAL, CPF/CNPJ E INSCRIÇÃO	
5. ENDEREÇO DO DESTINO RUA/AVENIDA, NÚMERO, BAIRRO E CEP	
6. DESCRIÇÃO DO MATERIAL TRANSPORTADO E RESPECTIVO VOLUME (m³) INDICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ACORDO COM A RESPECTIVA CLASSE (A, B E C), INFORMANDO OS VOLUMES PARCIAIS E TOTAL	
7. Nº DA LICENÇA/ALVARÁ NÚMERO DO DOCUMENTO QUE COMPROVE A LEGALIDADE DO DESTINATÁRIO	
8. DATA DIA, MÊS E ANO	
9. ASSINATURAS	
GERADOR -	
TRANSPORTADOR -	
RECEPTOR -	
Importante: As NTRs deverão ser mantidas obrigatoriamente no local da obra, à disposição da fiscalização, com as respectivas assinaturas do gerador, transportador e receptor.	

FIGURA 6 • Modelo de Nota de Transporte de Resíduos.

FONTE: RESOLUÇÃO SMAC N.º 519, DE 21 DE AGOSTO DE 2012.

ineia instituto estadual do ambiente		MANIFESTO DE RESÍDUOS		Nº	
① RESÍDUO		N. RESÍDUO	② QUANTIDADE		
		I	KG		
③ ESTADO FÍSICO		④ ORIGEM			
☐ Sólido ☐ Semi-sólido ☐ Líquido		☒ Processo ☐ ETDI ☐ ETE ☐ ETA ☐ Cx. de gordura ☐ Fora do processo ☐ Separador de Água-Óleo ☐ Outros (especificar)			
⑤ ACONDICIONAMENTO		⑥ PROCEDÊNCIA		⑦ TRATAMENTO / DISPOSIÇÃO	
☐ Tambor de 200lts ☐ Sacos plásticos ☐ Bombona ____lts ☐ Fardos ☐ Caçamba ☐ Granel ☐ Tanque ____ m3 ☐ Big-bags ☐ Outros (especificar)		☐ Industrial ☐ Residencial ☐ Restaurante ☐ Shopping/Mercados ☐ Comercial ☐ Clubes/Hotéis ☐ Hospital ☒ Outros:		☐ Aterro Sanitário ☐ Reciclagem ☐ Aterro Industrial ☐ Incorporação ☐ Tratamento BioL/Fis-Qu ☐ Incineração ☐ Co-processamento ☐ Estocagem ☐ Outros; R04 Formulação de Blend de Resíduos	
⑧ Gerador		EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		N. INVENTÁRIO	
		ENDEREÇO		⑪ DATA DA ENTREGA	
		MUNICÍPIO	UF		TELEFONE
		RESPONSÁVEL PELA EXPEDIÇÃO DO RESÍDUO		CARGO	CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL
⑨ Transportador		EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		N. INVENTÁRIO	
		ENDEREÇO		⑫ DATA DO RECEBIMENTO	
		MUNICÍPIO	UF		TELEFONE
		RESPONSÁVEL PELA EMPRESA DE TRANSPORTE		PLACA COMPLETA	ASSINATURA DO MOTORISTA
NOME DO MOTORISTA		VIAJURA	CERTIFICADO DO INMETRO		
⑩ Receptor		EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		N. INVENTÁRIO	
		ENDEREÇO		⑬ DATA DO RECEBIMENTO	
		MUNICÍPIO	UF		TELEFONE
		RESPONSÁVEL PELO RECEBIMENTO DO RESÍDUO		CARGO	CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL

1ª Via - Conservar com o Gerador

FIGURA 7 • Modelo de Manifesto de Resíduos.

FONTE: RESOLUÇÃO SMAC N.º 519, DE 21 DE AGOSTO DE 2012.

7 - As NTRs deverão ser mantidas pelo gerador obrigatoriamente no local da obra, devidamente assinadas e à disposição da fiscalização até que seja emitido o parecer técnico de baixa de restrições dado pela SMAC.

8 - Os resíduos Classes A, B e C deverão ser segregados no canteiro de obras, preferencialmente, ou em áreas de transbordo, triagem, reciclagem e preservação temporárias de resíduos da construção civil (ATTs) licenciadas pelo órgão ambiental competente. Para a movimentação desse tipo de resíduo devem ser contratados transportadores credenciados pela COMLURB, exceto nos casos de transporte exclusivamente de material terroso.

9 - Resíduos oriundos da remoção de vegetação ou poda serão considerados como Classe B.

10 - Resíduos de classificação D deverão ser obrigatoriamente segregados no canteiro de obras e estocados em separado dos demais, em áreas próprias, providas de cobertura e pavimentação impermeável, com possibilidade de adoção de baias, caçambas estacionárias e compatíveis com os volumes a serem gerados. Deverão também ser sempre transportados em separado dos demais, por empresas licenciadas pelo órgão ambiental competente.

3 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES LEVANTADAS

Compilam-se as informações sobre o panorama da logística de RCC no Rio de Janeiro com o que impõem os instrumentos legais do município, podem-se gerar breves análises práticas relacionadas ao volume, à origem e ao custo.

3.1 Quanto ao volume de resíduos

Conforme foi visto, para os geradores de RCC classificados como grandes, com ATC maior que 10.000m² e movimentação de terra maior que 5.000m³, existe a obrigatoriedade de apresentação, no ato do licenciamento de cada empreendimento, do PGRCC. Nele deve-se informar o volume estimado de geração de resíduos por classe, bem como por cada etapa da obra. Já, para os empreendimentos com Área Total Construída inferior a 10.000m² e movimentação de terra abaixo de 5.000m³ a apresentação do PGRCC não é obrigatória.

Entende-se que, dependendo do projeto, um empreendimento com ATC de 9.500m² pode comportar edificações com aproximadamente 180 apartamentos médios de dois quartos, sala, cozinha e banheiro, constata-se que um volume considerável de RCC será gerado nessa obra, e que não precisaria apresentar previamente um plano que gerencie e planeje as movimentações de seus resíduos. Como o PGRCC é uma previsão de geração de RCC para todas as etapas de uma obra, podemos ver que a não obrigatoriedade de se apresentar tal documento antes do início do processo construtivo tira a função principal do documento, e abre brechas no que tange a fiscalização.

Aplica-se isso aos casos de municípios que, assim como o do Rio de Janeiro, passam por período de grande expansão imobiliária, por isso pode-se afirmar que milhares de metros cúbicos de resíduos são gerados em empreendimentos que não apresentaram previamente aos órgãos ambientais competentes, e um Projeto de gerenciamento que planejasse suas destinações.

3.2 Quanto à origem dos resíduos

Segundo a ASSAERJ, aproximadamente 60% dos RCC dispostos de maneira ambientalmente inadequada no Rio de Janeiro vêm de obras domiciliares. Nessas obras, em que sua maior parte são pequenas reformas ou demolições, os geradores que ultrapassarem a quantidade máxima estabelecida para recolhimento gratuito da COMLURB, de 150 sacos de 20 litros de resíduos, devem contratar serviços particulares de recolhimento de entulho. Em sua página na internet consta a listagem de empresas que são regidas por normas instituídas pela Lei nº 3273/2001 de Limpeza Urbana, mas que na prática, em sua maior parte, são empresas que não emitem NTRs dos resíduos transportados.

Dessa forma, existe no município do Rio uma parcela significativa de RCC que é gerado tendo sua destinação desconhecida por qualquer órgão fiscalizador sem que haja nenhuma penalidade para os responsáveis. Obviamente, tais empresas vista a impunidade que têm face ao descumprimento da lei, são induzidas a dispor os RCC coletados em aterros clandestinos, mais próximos e mais baratos.

Portanto, analisa-se a gestão ambientalmente adequada do RCC, pois não devemos focar apenas nos grandes geradores, mas também nas pequenas obras

que juntas geram quantidade total expressiva de resíduo. Para isso, os órgãos públicos devem intensificar a fiscalização nesse ramo, visto sua importância ao se falar do município como um todo.

3.3 Quanto ao custo

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estipula que o governo dê incentivos fiscais para quem se dispôr a fazer beneficiamento de resíduos de modo que eles se reinsiram na cadeia produtiva como insumo de obra. No que tange o RCC, o beneficiamento mais expressivo é o de produtos que sirvam como agregados para concreto não estrutural, apesar de já existirem estudos e ensaios que atestam as possibilidades de os agregados beneficiados serem usados para fins estruturais. Para a indústria da construção civil os agregados são as substâncias minerais mais consumidas e, portanto, as mais significativas em termos de quantidades produzidas.

No Rio de Janeiro, a ASSAERJ estipula o valor de R\$12,00/m³ cobrado pelos aterros para receber o RCC das obras. Depende-se da fase da obra as caçambas chegam aos aterros com maior ou menor quantidade de resíduo com potencial de reciclagem. Por exemplo, uma caçamba retirada de um empreendimento na fase de estruturas será praticamente 100% aproveitada para beneficiamento. Já outra caçamba retirada de um empreendimento em fase de escavação terá pouquíssimo aproveitamento como agregado reciclado. Nos aterros associados estima-se que 70% do material recebido têm condições de ser reutilizado como agregado de concreto. Após beneficiados, os agregados retornam à cadeia produtiva com o custo entre R\$28,00/m³ e R\$32,00/m³. O agregado no Rio de Janeiro é vendido no mercado entre R\$45,00 e R\$75,00.

Analisa-se os dados, das 2.808.000 toneladas de RCC recebidas por ano pela ASSAERJ, 1.965.600 toneladas (70%) têm potencial para serem reinseridas no mercado como agregado beneficiado. Sabe-se ainda que, a população carioca atual é de 6 milhões de habitantes, e que o consumo brasileiro per capita de agregados, segundo a ANEPAC (Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil), era de 3,31 toneladas/ano em 2010, temos:

- Consumo de agregados por ano = 6.000.000 habitantes x 3,31 tonelada/habitante/ano
= **19.860.000 toneladas/ano no Rio de Janeiro**

- Agregados com potencial de beneficiamento nos aterros da ASSAERJ
= **0,7 x 2.808.00 = 1.965.600 toneladas/ano**

- Relação beneficiamento/consumo = 1.965.600/19.860.000 = 0,0989 = 9,89%

Ou seja, 9,89% do consumo de agregados de concreto por ano no Rio de Janeiro tem condição de ser substituído por agregado beneficiado, vindo do próprio RCC apenas devido aos aterros da ASSAERJ, caso haja conscientização dos construtores a importância da utilização desse tipo de material. Esse número poderia ser bem mais expressivo se todo o RCD do município fosse destinado a aterros legalizados, o que traria incontáveis benefícios ao meio ambiente preservando as jazidas naturais. Enfim, as vantagens do beneficiamento são notórias, porém a grande questão nesse assunto são os custos envolvidos para sua reinserção no mercado.

3.4 - Cadeia logística da gestão de resíduos no Rio de Janeiro

Com a intenção de ilustrar a cadeia logística que envolve a gestão e o manejo dos RCC na cidade do Rio de Janeiro, foi criado o organograma ilustrado na Figura 8:

4 CONCLUSÃO

Com a execução deste trabalho, foi visto que os problemas ambientais devidos à má gestão de resíduos de construção são responsabilidade dos principais atores da sociedade: o Estado, a Sociedade e o Mercado, o que requer instrumentos legais de gerenciamento, capazes de regular e regulamentar as questões relacionadas principalmente ao meio ambiente.

Apesar da dificuldade de obtenção de informações sobre o assunto, enxergamos a necessidade de integração, principalmente entre os agentes públicos e o setor produtivo, objetiva-se compartilhar a responsabilidade no trato dos RCC. Aos geradores cabe reduzir as perdas e a geração de resíduos por meio da adoção de métodos construtivos mais racionais, introduzir um sistema eficiente de gestão de resíduos sólidos durante o processo construtivo e conscientizar-se da necessidade de utilizar materiais reciclados. Ao setor público, particularmente no município do Rio de Janeiro, cabe exercer efetiva e rigorosamente a fiscalização que a ele delegada pelos instrumentos legais vigentes, e adequar as Resoluções municipais à situação atual do mercado, de modo a estar apta a efetivamente fiscalizar e controlar as expressivas quantidades de RCC que encontram-se dentro das famosas “brechas” nas leis e desse modo seguem sem o controle técnico adequado, como os “médios geradores” e as obras domiciliares.

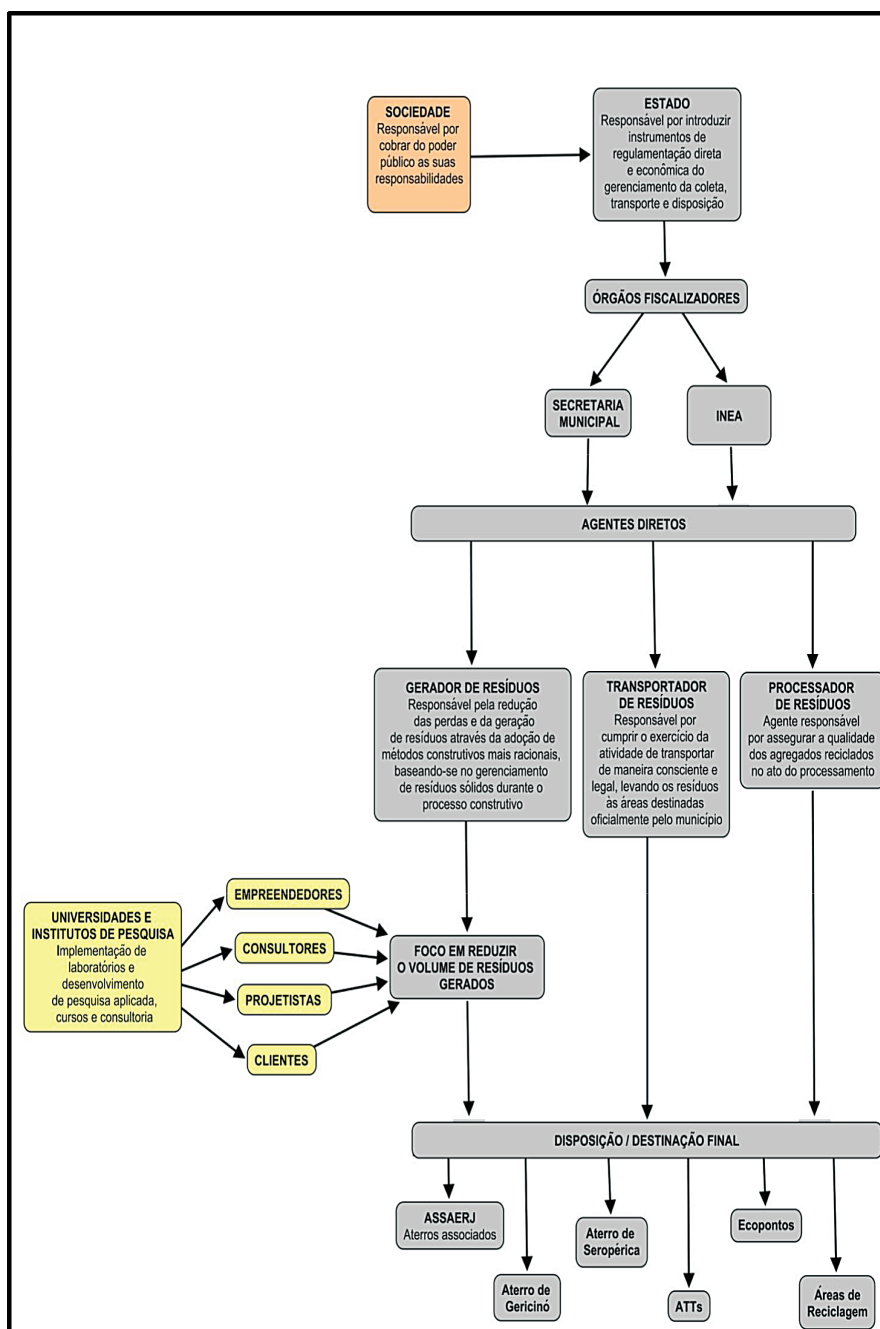


FIGURA 8 • Organograma da cadeia logística da gestão de resíduos no Rio de Janeiro.

FONTE: elaborado pela autora (2014).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAERJ - **Associação dos aterros de resíduos da construção civil do estado do Rio de Janeiro** – Endereço eletrônico: www.assaerj.gov.br. Dados obtidos diretamente com o Presidente da ASSAERJ

DECRETO MUNICIPAL Nº 27078 DE 27 DE SETEMBRO DE 2006 – **Município do Rio de Janeiro.**

LEI Nº12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010: **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;**

LEI Nº 3273*, DE 6 DE SETEMBRO DE 2000: **Dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro.**

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil). **Siac – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil.**

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro. Resolução 307 do CONAMA, de 5 de Julho de 2002.

TÈCHNE, Gerenciamento On-line de Resíduos é testado em Santos, **Revista Técnica**, São Paulo, editora PINI, edição 154, Maio 2014.

SALVADOR LUIZ M. DE ALMEIDA, ADÃO BENVINDO DA LUZ. **Manual de Agregados para a Construção Civil - Rio de Janeiro:** CETEM/MCT, 2009.

SINDUSCON SP (SÃO PAULO). **Cartilhas de conscientização.**

SOUZA, UBIRACI ESPINELLI LEMES DE. **Como Reduzir Perdas Nos Canteiro:** Manual de gestão do consumo de materiais na construção civil - São Paulo: Editora Pini, 2005.

SUSTENTABILIDADE EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO: UMA MATRIZ MULTICRITÉRIO BASEADA EM RISCOS

Simone Zappe Fernandes ¹
Cláudia do Rosário Vaz Morgado ²

Resumo

“ A indústria da construção civil tem papel fundamental para a economia brasileira, e também é uma das mais complexas, sendo uns dos segmentos com maior número de acidentes de trabalho no Brasil. O aumento da demanda por projetos de construção aumenta a exposição aos riscos na sua execução, tanto ambientais quanto relacionados com a saúde e segurança no trabalho. A necessidade de melhorar o desempenho dos projetos e as crescentes obrigações contratuais exige-se a implantação de um sistema de gestão sustentável que resulte em maior produtividade com menores perdas. O risco está presente em todas as empresas e nunca pode ser totalmente eliminado, porém pode ser gerido de forma eficaz para mitigar os impactos e aperfeiçoar a estratégia corporativa que integre produtividade, segurança e sustentabilidade. O objetivo deste trabalho é propor um método de classificação de riscos multicritério eficaz e de alta aplicabilidade, que possa ser adequado às especificidades da construção civil, que contemple os aspectos de saúde e segurança, aspectos ambientais e responsabilidade social para ser utilizado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão do gestor do projeto de construção. ”

Palavras-chave » Construção civil. Sustentabilidade. Multicritério. Saúde e Segurança do trabalho.

¹ E-mail: simone_zappe@poli.ufrj.br.

² E-mail: cmorgado@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

Muitas características inerentes da indústria da construção contribuem para a taxa relativamente alta de lesões e doenças, em que inclui-se ambientes dinâmicos de trabalho, fragmentação da indústria, multiplicidade de operações, a proximidade de várias equipes e a cultura da indústria (FREDERICKS et al. 2005).

Cada uma destas características contribui para o surgimento de riscos imprevistos e desconhecidos, ou o comportamento inseguro de trabalhadores. O ambiente de trabalho inseguro na construção atraiu a atenção das empresas de construção que começaram a reconhecer a conexão entre obras seguras e saudáveis e a produtividade da empresa. A implantação de um sistema de gestão sustentável que resulte em maior produtividade com menores perdas é o objetivo de todas as empresas.

Dawood (1998) mostrou que a gestão de risco sistemática permite a detecção precoce de riscos. Elimina-se a necessidade de planos de contingência para cobrir quase todas as eventualidades. O objetivo deste trabalho é propor um método de classificação de riscos multicritério eficaz e de alta aplicabilidade, que possa ser adequado às especificidades da construção civil, que contemple os aspectos de saúde e segurança, aspectos ambientais e responsabilidade social para ser utilizado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão do gestor do projeto de construção.

2 METODOLOGIA

A metodologista propôs uma revisão bibliográfica dos modelos de análise de riscos mais relevantes encontrados na literatura, e a proposta de um modelo baseado em uma matriz multicritério fundamentada em riscos que contemple a saúde e segurança no trabalho, aspectos ambientais e responsabilidade social para determinar o risco associado em cada etapa da construção de uma obra. Após uma extensa revisão bibliográfica encontramos um número grande de modelos, que se propõem auxiliar os gestores na tomada de decisão perante problemas de risco envolvendo saúde e segurança no trabalho, aspectos ambientais e imagem da empresa. Foi realizada uma análise de 8 modelos, e uma breve descrição de cada um deles encontra-se abaixo.

• MÉTODO 3P + I

De acordo com TEO et al. (2005) o método consiste na construção de um quadro de gestão da segurança, onde os fatores potenciais de influência da segurança são agrupados em quatro grandes designações: política, de processo, de pessoal e de incentivo, formando o quadro 3P+I.

Para a elaboração do quadro são utilizados questionários para analisar o potencial de influência de cada um dos fatores encontrados na segurança do projeto. Os questionários são enviados para profissionais experientes da construção civil para análise. É feita uma análise estatística dos fatores e uma análise fatorial, pois as correlações entre os fatores podem ser reconstruídas em conjuntos menores de parâmetros. O teste t também é utilizado para verificar a população de profissionais que responderam aos questionários.

Dentro de cada uma das quatro designações são analisados os fatores, classificando-os e correlacionando-os. O quadro 3P+I para o gerenciamento de segurança de construção é proposto para ser usado por gerentes de projeto, este quadro mostra os quatro fatores principais (política, processo, pessoal e incentivo) e seus subfatores.

O quadro proposto pelo método é diferente de outros estudos relacionados à segurança, porque ele fornece uma visão holística de gestão de segurança, e os gerentes de projeto podem usá-lo para reduzir o número de acidentes. No entanto, o quadro depende da quantidade de respostas recebidas dos questionários para ser criado.

• MÉTODO DELPHI

Este método foi utilizado para definir os riscos associados às atividades de trabalho necessárias para a construção de formas de concretagem. O método *Delphi* é definido como uma técnica de pesquisa sistemática e interativa destinada a obter consenso no julgamento de um painel de especialistas.

Primeiramente é feita uma lista de atividades que ocorrem durante a etapa analisada. Esta lista então é enviada para o painel de especialistas que respondem a questionários. Com o uso do método *Delphi*, os especialistas atribuem uma nota de segurança para cada atividade selecionada, e assim utilizam-se escalas de frequência e severidade. Também eles quantificam individualmente a frequência e a severidade associada a cada risco, após algumas rodadas de julgamento um consenso é obtido. A multiplicação das classificações de frequência e de severidade finais, que representa o risco unitário para as atividades.

O método é bastante aplicável quando se deseja focar em inspeções, palestras e treinamento em tarefas de alto risco e reduzir a ênfase em tarefas de baixo risco, também pode ser utilizado para avaliar o impacto de risco a segurança de meios e métodos alternativos de construção, pois foca a análise de risco nas tarefas. Porém o método possui uma limitação, pois os riscos definidos para as atividades descritas são aplicáveis apenas quando elas são realizadas como descrito.

• MODELO TRIPLO-ÍNDICE

O KAMARDEEN (2009) explica que o modelo triplo-índice foi formulado para prever riscos de acidentes em projetos de construção, e a estimativa de riscos de acidente em um projeto de construção de edifício envolve três fases principais: estimativa de um índice de risco de projeto (IRP) com base em um quadro de riscos, estimativa de um índice de segurança do projeto (ISP) explorando um quadro de riscos atribuído a ele, e a estimativa de um índice de acidente de projeto (IAP) por uma análise de troca entre o IRP e ISP. Os dois primeiros índices possuem um processo de estudo, identificação, e cálculo de risco para determinar os índices.

Para o cálculo do ISP utiliza-se o Sistema de apoio à decisão (SAD) é um *software* proposto também, que automatiza o modelo triplo-índice. O SAD consiste em dois componentes principais: interface gráfica do usuário e unidade de processamento. A interface gráfica é composta por três interfaces principais: a interface de alimentação dos valores de risco de projeto para calcular o IRP, a interface de alimentação para atribuir os valores de segurança de projeto para calcular o ISP, e a interface de saída final IAP.

Os índices IRP e ISP são então alimentados no SAD, e este calcula o IAP. O *software* mostra uma ótima correlação com os valores calculados e o número de acidentes, quanto maior o valor de IAP, maior o número de acidentes. O modelo revela os índices de acidentes em potencial no projeto, que pode ajudar os gestores a melhorar a segurança da obra. O método, entretanto, possui uma extensa pesquisa inicial para o cálculo dos índices, o que pode tomar muito tempo da equipe.

• MODELO RAM

Já FUNG et al. (2010) descreve o modelo de avaliação de risco (RAM), este foi desenvolvido para auxiliar o trabalho de avaliação de risco por parte dos profissionais de segurança e ajudar os trabalhadores a compreender os riscos existentes em seu trabalho. O modelo pode fornecer uma avaliação quantitativa dos

riscos, com base em dados históricos sobre os níveis de risco de diferentes tarefas nas obras. O RAM é um *software* desenvolvido que considera o número dos acidentes e custos dos danos coletados, a partir de registros de históricos de acidentes.

A taxa de frequência e a de severidade é calculada através dos dados coletados, e finalmente calcula-se a taxa de risco, que é igual à multiplicação da taxa de frequência com a taxa de severidade. O nível de risco relativo de cada tarefa de trabalho, só é possível devido ao tipo de acidente que são avaliados e classificados no RAM.

O modelo ajuda a identificar e prever os níveis de risco existentes nas tarefas nas obras, e também ajuda a melhorar o desempenho de segurança por implementação de medidas para as tarefas de alto risco identificadas. No entanto, para diferentes projetos com diferentes condições, os níveis de aceitação de risco são diferentes, os diferentes profissionais de segurança que avaliam risco, que possuem diferentes critérios de aceitação, assim observa-se que os níveis de risco avaliados pelo RAM são valores relativos, não absolutos.

• MÉTODO DO ÍNDICE DE RISCO OCUPACIONAL (ORI)

O Método é utilizado como um indicador para alimentar ferramentas de análise de decisão multicritério. O ORI é uma medida do risco envolvido em um determinado projeto de construção que depende do volume e tipo de atividades realizadas. É calculada como a quantidade total de trabalho a ser dedicado a cada atividade de risco (i), ponderada pela importância do risco associado (W_i) (CASANOVAS et al., 2014).

$$ORI_i = W_i \times \text{Homem-hora}_i \quad (1)$$

São realizadas análises qualitativas para determinar a consequência, e a probabilidade de um acidente em casa atividade. A avaliação da probabilidade e as consequências de cada risco foram calculadas como a média das avaliações feitas por especialistas em saúde e segurança no trabalho, que se qualificaram de acordo com os critérios estabelecidos. A importância de cada tipo de risco é obtida multiplicando as consequências do acidente pela sua probabilidade.

Ao final chega-se a um quadro com as atividades e seus valores ORIs normalizados. O método é utilizado na fase de projeto, o que torna possível a comparação de diferentes alternativas de projeto. As avaliações feitas pelos especialistas variam de acordo com as regiões, e tecnologias empregadas em cada obra.

• MÉTODO QUANTITATIVO

O método quantitativo proposto é uma ferramenta de avaliação para medir o nível de risco de segurança em projetos de construção, e também irá fornecer uma base consistente para as comparações, entre diferentes empresas de construção e locais de construção.

A primeira etapa começa com a identificação dos riscos nos processos que envolvem a construção, com isso faz-se uma identificação de todos os processos envolvidos na atividade, e depois é feito um inventário com todos os acidentes, para determinar os riscos de segurança. Nesta etapa ainda, utiliza-se um grupo de especialistas para avaliar os níveis de segurança em cada processo definido anteriormente, em que eles avaliam a probabilidade e a gravidade das consequências.

A classificação de significância de um risco é definida como a multiplicação da probabilidade de ocorrência com a gravidade das consequências. Com esta classificação, um risco é considerado significativo, quando seu valor é maior ou igual a três.

Na segunda etapa, juntamente com os especialistas são desenvolvidos os indicadores específicos para avaliar a exposição ao risco na construção, sendo estes baseados em informações observadas ou contidas no projeto de construção. O nível de risco global de um projeto é então, definido como o somatório das exposições dos riscos de segurança de uma construção, o projeto de construção com a maior soma é o que possui o menor nível de segurança. O método classifica a importância dos riscos de segurança envolvidos em um projeto de construção e compara o nível geral de risco para a segurança de projetos.

O método permite a escolha entre diferentes métodos de construção, pois consegue analisar os níveis de risco de todas as opções e calcular o nível de risco global das diferentes opções de projeto. Ele avalia o risco antes da fase de construção. Porém mais pesquisas são necessárias para enriquecer os dados de causas de acidentes do método e a utilização de um sistema de ponderação, também é sugerida para avaliar melhor o nível de risco global.

• MÉTODO FUZZY AHP

Este método de avaliação de risco é baseado na Teoria de conjuntos *fuzzy*, que é uma ferramenta eficaz para lidar com o julgamento subjetivo, e sobre o Processo de Análise Hierárquica (AHP), que é utilizado para estruturar um grande número de riscos.

O modelo consiste em três etapas: etapa preliminar, definição da função de fator de risco e medição de variáveis e a etapa de inferência *fuzzy*.

Na etapa preliminar, os peritos selecionados realizam a medição dos parâmetros da função de riscos, classificando-os em níveis. Durante a segunda etapa o fator de risco é calculado através de três parâmetros: impacto do risco, probabilidade do risco e discriminação do risco. Quando os especialistas possuem informações imprecisas, os riscos expressos em termos linguísticos são então transformados em números *fuzzy* por meio de uma escala de conversão adequada.

Na última etapa os números *fuzzy* são então transformados em números com um único valor. A saída desse método é uma classificação de risco final. Este método apresenta uma metodologia capaz de lidar com os riscos associados a projetos em situações complicadas em que as informações para avaliar os riscos estão incompletas, ou não podem ser quantificáveis.

O método permite que os especialistas avaliem os riscos por meio de termos linguísticos em vez de números reais, os termos serão associados com um número *fuzzy*, que depois será transformado em um número real por meio de operações *fuzzy*. A desvantagem do modelo é a grande quantidade de operações que são necessárias para se chegar ao risco final, pois toma-se muito tempo.

• MODELO INTEGRADO ISO E OSHAS

Este modelo foi desenvolvido para melhorar a identificação, avaliação e controle operacional de impactos ambientais, e riscos à saúde e segurança nos locais de construção e projetos de construção residenciais.

A primeira etapa do modelo consta com a identificação dos principais processos que envolvem as atividades de trabalho em um banco de dados, e dividi-las em pequenas etapas de processos. Depois os riscos de segurança de cada processo são identificados, e os critérios de significância de cada processo são nomeados através da norma OHSAS 18001, e da norma ISO 14004.

Para reduzir a subjetividade durante a identificação dos aspectos ambientais e riscos à saúde e segurança relacionados com o processo de construção, foi desenvolvida uma escala de quatro pontos, e deram-se pontuações numéricas correspondentes para cada componente do significado de risco.

Os limites de significância para indicadores expressos em termos qualitativos são obtidos a partir de experiências anteriores, e as escalas de avaliação são descritas com grande cuidado e precisão. O significado de um impacto específico é obtido através da

multiplicação da gravidade do impacto pelo parâmetro de preocupação e o significado de um impacto particular de risco é igual ao parâmetro de exposição. O modelo avalia por fim o impacto ambiental global, e o nível de risco de segurança de um projeto de construção.

Este método integra os sistemas de gestão de saúde e segurança com o sistema de gestão ambiental, fornece uma visão abrangente do ambiente esperado no projeto de construção, pois analisa a pré-construção, e destaca os impactos ambientais significativos e os riscos de saúde e segurança durante esta fase. Além de orientar os gestores na eliminação e redução dos impactos e riscos a um nível aceitável. Porém o modelo possui uma exaustiva análise preliminar o que consome muito tempo.

2.1 MATRIZ MULTICRITÉRIO DE RISCOS

A matriz será composta por três sistemas de gestão: saúde e segurança no trabalho, gestão ambiental e risco corporativo social. Esta matriz irá calcular o risco envolvido em cada etapa da obra de um projeto para cada um dos três sistemas, isso permite-se que os gestores foquem em etapas com riscos mais significativos, que outras com riscos menores. Após a análise dos oito modelos, encontramos aspectos positivos e negativos que foram analisados para a criação da matriz multicritério de riscos.

Em relação aos pontos positivos observados destaca-se a utilização de um histórico de frequência de acidentes adequado para que se possa calcular a taxa de frequência de acidentes, e a taxa de gravidade corretamente e sem falhas.

O modelo não deve ser complexo (fórmulas, matrizes, muitas etapas) e nem consumir muito tempo do gestor e sua equipe. A utilização de questionários com respostas subjetivas também não é recomendado, pois os riscos não seriam baseados em dados empíricos, e sim na opinião de especialistas.

Atualmente, possuir as certificações ISO é um diferencial e uma exigência por parte de grandes empresas, pois estas se importam com a saúde e segurança no trabalho, com os aspectos ambientais e com a imagem que querem passar para a sociedade. Assim, a utilização de normas para compor os requisitos de não conformidade é uma ótima opção para o modelo.

Para a criação da matriz multicritério de riscos, foram incorporados alguns aspectos positivos encontrados nos modelos analisados e buscou-se contornar os pontos

negativos encontrados. A matriz possui três etapas: definição das etapas da obra e análise dos itens de não conformidade em cada sistema de gestão, cálculo da taxa de frequência de acidentes e da taxa de gravidade, e o cálculo do risco em cada etapa e em cada sistema de gestão.

Primeiramente, o cronograma de etapas da obra é definido, juntamente a isso se analisou os requisitos de sustentabilidade que devem ser atendidos pelas empresas em relação a cada um dos sistemas de gestão, e o grau de atendimento de cada sistema é calculado.

Neste sentido utiliza-se a norma OHSAS 18001, que apresenta uma abordagem prática e sistemática para identificar os riscos, e a BS 8800, que orienta para o desenvolvimento dos sistemas de gestão, para determinar os itens de não conformidade que serão avaliados no sistema de gestão de saúde e segurança do trabalho (SST) em cada etapa da obra.

SEÇÃO	OHSAS 18001/2007	BS 8800	SEÇÃO	BS 8800	OHSAS 18001
1	Objetivo e campo de aplicação		3.1	Generalidades	
2	Referências normativas		3.2	Levantamento da situação inicial	
3	Termos e definições		3.3	Política de SST	4.2
4	Requisitos do Sistema de gestão da SST		3.4	Organização	4.3 e 4.4
4.1	Requisitos gerais		3.4.1	Generalidades	
4.2	Política de SST	3.3	3.4.2	Responsabilidades	
4.3	Planejamento	3.4 e 3.5	3.4.3	Arranjos organizacionais	
4.3.1	Identificação de perigos, avaliação de riscos e determinação de medidas de controle		3.5	Planejamento e implementação	4.3 e 4.4
4.3.2	Requisitos legais e outros requisitos	3.5.4	3.5.1	Generalidades	
4.3.3	Objetivos e programas		3.5.2	Definição de objetivo	
4.4	Implementação e operação	3.4, 3.5, 3.5.6	3.5.3	Avaliação e controle de riscos	
4.4.1	Recursos, atribuições, responsabilidade, obrigações e autoridade		3.5.4	Requisitos legais e outros	4.3.2
4.4.2	Competência, formação e sensibilização		3.5.5	Modalidades de gestão de SST	
4.4.3	Consulta, participação e comunicação		3.5.6	Implementação e documentação	4.4
4.4.4	Documentação		3.6	Medição do desempenho	4.5.1
4.4.5	Controle de documentos		3.7	Investigação e resposta	4.5.1
4.4.6	Controle operacional		3.8	Auditoria	4.5.5
4.4.7	Preparação e resposta a emergências		3.9	Revisão de desempenho	4.6
4.5	Verificação				

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

SEÇÃO	OHSAS 18001/2007	BS 8800	SEÇÃO	BS 8800	OHSAS 18001
4.5.1	Monitoração e medição do desempenho	3.6 e 3.7			
4.5.2	Avaliação da conformidade				
4.5.3	Investigação de incidentes, não conformidades, ações corretivas e preventivas				
4.5.3.1	Investigação de incidentes				
4.5.3.2	Não conformidades, ações corretivas e preventivas				
4.5.4	Controle dos registros				
4.5.5	Auditoria interna	3.8			
4.6	Revisão pela Gestão	3.9			

QUADRO 1 • Itens da OHSAS 18001 e da BS 8800, e suas relações de igualdade/semelhança.

FONTE: adaptado da OHSAS 18001 e da BS 8800.

Foi realizada uma análise comparativa entre as duas normas para determinar quais itens eram iguais ou semelhantes entre elas. No Quadro 1, observa-se os itens de cada norma e sua relação de igualdade ou semelhança com a outra.

No Quadro 2, encontra-se a lista de itens de não conformidade que foi adotada para o modelo proposto.

SEÇÃO	LISTA DE ITENS DE NÃO CONFORMIDADE
1	Generalidades
1.1	Levantamento da situação inicial
1.2	Objetivo e campo de aplicação
2	Referências normativas
3	Termos e definições
4	Requisitos do Sistema de gestão da SST

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

SEÇÃO	LISTA DE ITENS DE NÃO CONFORMIDADE
4.1	Requisitos gerais
4.2	Política de SST
4.3	Planejamento
4.3.1	Generalidades
4.3.2	Responsabilidades
4.3.3	Arranjos organizacionais
4.3.4	Identificação de perigos, avaliação de riscos e determinação de medidas de controle
4.3.5	Requisitos legais e outros requisitos
4.3.6	Objetivos e programas
4.4	Implementação e operação
4.4.1	Generalidades
4.4.1.2	Definição de objetivo
4.4.1.3	Avaliação e controle de riscos
4.4.1.4	Modalidades de gestão de SST
4.4.2	Recursos, atribuições, responsabilidade, obrigações e autoridade
4.4.3	Competência, formação e sensibilização
4.4.4	Consulta, participação e comunicação
4.4.5	Documentação
4.4.6	Controle de documentos
4.4.7	Controle operacional
4.4.8	Preparação e resposta a emergências
4.5	Verificação
4.5.1	Monitoração e medição do desempenho
4.5.2	Avaliação da conformidade
4.5.3	Investigação de incidentes, não conformidades, ações corretivas e preventivas
4.5.3.1	Investigação de incidentes
4.5.3.2	Não conformidades, ações corretivas e preventivas
4.5.4	Controle dos registros
4.5.5	Auditoria interna
4.6	Revisão pela Gestão

QUADRO 2 • Lista de itens de não conformidade adotados.

FONTE: elaborado pela autora.

SEÇÃO	ISO 14001/2007
1	Objetivo e campo de aplicação
2	Referências normativas
3	Termos e definições
4	Requisitos do Sistema de gestão ambiental
4.1	Requisitos gerais
4.2	Política ambiental
4.3	Planejamento
4.3.1	Aspectos ambientais
4.3.2	Requisitos legais e outros requisitos
4.3.3	Objetivos e programas
4.4	Implementação e operação
4.4.1	Recursos, atribuições, responsabilidade, obrigações e autoridade
4.4.2	Competência, formação e sensibilização
4.4.3	Comunicação
4.4.4	Documentação
4.4.5	Controle de documentos
4.4.6	Controle operacional
4.4.7	Preparação e resposta a emergências
4.5	Verificação
4.5.1	Monitoração e medição
4.5.2	Avaliação da conformidade
4.5.3	Não conformidades, ações corretivas e preventivas
4.5.4	Controle dos registros
4.5.5	Auditoria interna
4.6	Revisão pela Gestão

QUADRO 3 • Itens da ISO 14001:2007.
FONTE: adaptado da ISO 14001.

O último impacto incluído na matriz é o impacto relacionado ao risco corporativo social (RCS), pois em algumas situações será o único impacto a ocorrer. Utilizaremos a norma ISO 26000 combinadas com a imagem da empresa atual para determinar esse impacto. Os itens da norma ISO 26000 são encontrados no Quadro 4.

SEÇÃO	ISO 26000
5.2	Reconhecimento da responsabilidade social
5.3	Identificação e engajamento das partes interessadas
6.2	Governança organizacional
6.3	Direitos humanos
6.4	Práticas de trabalho
6.5	Meio ambiente
6.6	Práticas leais de operação
6.7	Questões relativas ao consumidor
6.8	Envolvimento e desenvolvimento da comunidade
7.2	Relação das características da organização com a responsabilidade social
7.3	Compreensão da responsabilidade social da organização
7.4	Práticas para integrar a responsabilidade social em toda a organização
7.5	Comunicação sobre responsabilidade social
7.6	Fortalecimento da credibilidade em relação à responsabilidade social
7.7	Análise e aprimoramento das ações e práticas da organização relativas à responsabilidade social

QUADRO 4 • Itens da ISO 26000:2010.
FONTE: adaptado da ISO 26000.

De posse desses dados, foi atribuída uma ordem de grandeza para o grau de atendimento (G) de cada etapa do sistema de gestão de acordo com a distribuição percentual das não conformidades encontradas: “1” para a prática que apresentou um resultado abaixo de 5%; “3” para prática que apresentou um resultado entre 5 a 15%, e “9” para prática com resultado acima de 15% (HADDAD, GALANTE, CALDAS & MORGADO, 2012). Esta ordem de grandeza será utilizada individualmente de acordo com o impacto, ao qual a não conformidade está ligada, pois uma não conformidade de SST pode ser classificada como “9”, quando associada ao aspecto de SST e ao mesmo tempo receber uma classificação “1” quando associada ao aspecto ambiental.

O Quadro 5 abaixo, representa algebricamente a matriz multicritério, que é composta por uma coluna contendo as etapas do cronograma da obra, três colunas

contendo os graus de atendimento de cada um dos sistemas de gestão. Cada um deles é composto pela taxa de frequência de acidentes, e pela taxa de gravidade em cada etapa da obra, que são os dados a serem coletados, e pelo risco de cada sistema de gestão em cada etapa que será calculada.

ETAPAS	OHSAS	SST			ISO 14000	GA			ISO 26000	RSC		
Cronograma	G_{SST}	TF_{SST}	TG_{SST}	R_{SST}	G_{GA}	TF_{GA}	TG_{GA}	R_{GA}	G_{RSC}	TF_{RSC}	TG_{RSC}	R_{RSC}
E_1	G_{SST1}	TF_{SST1}	TG_{SST1}	R_{SST1}	G_{GA}	TF_{GA1}	TG_{GA1}	R_{GA1}	G_{RSC}	TF_{RSC1}	TG_{RSC1}	R_{RSC1}
E_2	G_{SST2}	TF_{SST2}	TG_{SST2}	R_{SST2}	G_{GA}	TF_{GA2}	TG_{GA2}	R_{GA2}	G_{RSC}	TF_{RSC2}	TG_{RSC2}	R_{RSC2}
E_3	G_{SST3}	TF_{SST3}	TG_{SST3}	R_{SST3}	G_{GA}	TF_{GA3}	TG_{GA3}	R_{GA3}	G_{RSC}	TF_{RSC3}	TG_{RSC3}	R_{RSC3}
E_4	G_{SST4}	TF_{SST4}	TG_{SST4}	R_{SST4}	G_{GA}	TF_{GA4}	TG_{GA4}	R_{GA4}	G_{RSC}	TF_{RSC4}	TG_{RSC4}	R_{RSC4}
E_5	G_{SST5}	TF_{SST5}	TG_{SST5}	R_{SST5}	G_{GA}	TF_{GA5}	TG_{GA5}	R_{GA5}	G_{RSC}	TF_{RSC5}	TG_{RSC5}	R_{RSC5}
...												
E_n	G_{SSTn}	TF_{SSTn}	TG_{SSTn}	R_{SSTn}	G_{GA}	TF_{GAn}	TG_{GAn}	R_{GAn}	G_{RSC}	TF_{RSCn}	TG_{RSCn}	R_{RSCn}

QUADRO 5 • Matriz multicritério de riscos.

FONTE: elaborado pela autora.

O risco de cada sistema de gestão associado a cada etapa i da obra é calculado como demonstrado a seguir:

Onde R é o risco de cada sistema de gestão, G representa o grau de atendimento, TF denota a taxa de frequência de acidentes, TG é a taxa de gravidade e i representa cada etapa

$$R_{SSTi} = G_{SST} \times TF_{SSTi} \times TG_{SSTi} \quad (2)$$

$$R_{GAi} = G_{GA} \times TF_{GAi} \times TG_{GAi} \quad (3)$$

$$R_{RSCi} = G_{RSC} \times TF_{RSCi} \times TG_{RSCi} \quad (4)$$

da obra. O risco então será classificado nos seguintes níveis: 9 (muito sério), 3 (média), e 1 (baixa). Esta ordem de grandeza será utilizada individualmente de acordo com o impacto, ao qual a não conformidade está ligada, pois uma não conformidade de SST pode ser

classificada como “9”, quando associada ao aspecto de SST e ao mesmo tempo receber uma classificação “1” quando, associada ao aspecto ambiental.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em muitas circunstâncias, a aplicação de metodologias de avaliação de riscos podem não dar resultados satisfatórios devido a dados incompletos, ou o elevado nível de subjetividade e incerteza nos dados disponíveis.

Este estudo investigou os modelos encontrados na literatura e elaborou um quadro comparativo. Quadro 6 abaixo, entre os oito modelos apresentados é o modelo proposto na metodologia. Podemos notar as diversas limitações, que os modelos analisados apresentam, pois torna-se alguns menos aplicáveis que outros.

O modelo proposto no artigo é um método de análise de riscos, que se propôs a incluir todos os pontos positivos dos outros modelos e evitar as limitações impostas por eles. A matriz de riscos criada foi pensada para analisar ao mesmo tempo todos os sistemas de gestão, e analisar o risco desses sistemas dentro de cada etapa do cronograma da obra.

A utilização da metodologia irá proporcionar ao gestor a implantação de um sistema de análise de risco integrado. Com um valor de fator de risco atribuído a cada etapa, a equipe

terá um roteiro para mitigar o risco do projeto através do desenvolvimento de planos de contingência apenas para as etapas que têm o maior fator de risco dentro de cada sistema de gestão.

A Matriz de sustentabilidade apresentada: integra e relaciona os diversos requisitos de sustentabilidade; identifica as áreas de gestão corporativa que precisam ser aperfeiçoadas e se torna um PDCA da sustentabilidade.

MODELO	DADOS DE ENTRADA	RESULTADOS ALCANÇADOS	LIMITAÇÕES
3P+I	Questionários.	Quadro 3P+I.	Quantidade de respostas dos questionários pode ser insuficiente.
DELPHI	Seleção das atividades e suas descrições e questionários.	Tabela contendo: descrição de cada atividade, as classificações de frequência e severidade e os riscos calculados.	O risco pode variar de acordo com a descrição da atividade e representam a opinião de especialistas e não dados empíricos.
TRIPLO-ÍNDICE	Identificação das atividades e riscos associados. Elaboração do quadro de riscos para os índices IRP e ISP.	Índice de acidente calculado e correlacionado com o número de acidentes.	Extensa revisão bibliográfica e extensa análise para determinação dos índices.
RAM	Histórico de acidentes com número de acidentes e custos.	A taxa de risco é calculada e é utilizada para classificar o nível de prioridade de cada atividade.	Para diferentes projetos os profissionais que avaliam o risco também têm aceitação diferente quanto aos critérios, tornando o risco avaliado em um valor relativo.
ORI	Identificar as atividades que envolvem risco e calcular o número de homens-hora necessários de cada uma no projeto.	Quadro com as medidas de risco calculadas e normalizados para cada atividade.	As avaliações dos especialistas vão depender de como tecnologicamente desenvolveu uma dada região ou empresa.
QUANTITATIVO	Identificação dos riscos associados a cada processo, histórico de acidentes, lista de indicadores de risco.	Determinação da significância de cada risco e nível global de risco do projeto.	Porém mais pesquisas são necessárias para enriquecer os dados de causas de acidentes do método e a utilização de um sistema de ponderação também é sugerida para avaliar melhor o nível de risco global. Alto gasto de tempo na avaliação de cada projeto.
FUZZY AHP	Avaliação dos riscos dos procedimentos gerando parâmetros.	Classificação do risco final.	Pode ser demorado e complexo de executar.
INTEGRADO ISO E OSHAS	Identificação dos processos de cada atividade, e os aspectos ambientais e os riscos de saúde e segurança são avaliados para cada fase da construção.	Avalia o impacto ambiental global e o nível de risco de segurança do projeto de construção.	Possui uma exaustiva etapa preliminar para análise dos processos das etapas da construção.
MATRIZ MULTICRITÉRIO DE RISCOS	Itens atendidos pela empresa em cada sistema de gestão, taxa de frequência de acidentes e taxa de gravidade.	Classificação do risco em cada etapa da obra e em cada sistema de gestão.	Histórico de acidentes adequado.

QUADRO 6 • Comparação entre os modelos de análise de riscos.

FONTE: elaborado pela autora.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 2600. **Diretrizes sobre responsabilidade social**. 2010.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. *Occupational health and safety management systems – requirements* - BS OHSAS 18001. 2007.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. *Occupational health and safety management systems – guide* - BS 8800. 2004.

CASANOVAS, M.; ARMENGOU, J.; RAMOS, G. *Occupational Risk Index for Assessment of Risk in Construction Work by Activity*. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 140, n.1, 04013035, 2014.

DAWOOD, N. *Estimating project and activity duration: a risk management approach using network analysis*. *Construction Management and Economics*, v.16, n.1, p. 41–48, 1998.

FREDERICKS, T. K.; ABUDAYYEH, O.; CHOI, S. D.; WIERSMA, M.; CHARLES, M. *Occupational injuries and fatalities in the roofing contracting industry*. *J. Constr. Eng. Manage*, v.131, n.11, p.1233–1240, 2005.

FUNG, Ivan W.H.; TAM, Vivian W.Y.; LO, Tommy Y.; LU, Lori L.H. *Developing a Risk Assessment Model for construction safety*. *International Journal of Project Management*, v.28, p.593–600, 2010.

GANGOLELLS, Marta; CASALS, Miquel; FORCADA, Núria; ROCA, Xavier; FUERTES, Alba. *Mitigating construction safety risks using prevention through design*. *Journal of Safety Research*, v. 41, p.107–122, 2010.

GANGOLELLS, Marta; CASALS, Miquel; FORCADA, Núria; FUERTES, Alba; ROCA, Xavier. *Model for Enhancing Integrated Identification, Assessment, and Operational Control of On-Site Environmental Impacts and Health and Safety Risks in Construction Firms*. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 139, n.2, p.138–147, 2013.

HADDAD, Assed; GALANTE, Erick; CALDAS, Rafaell; MORGADO, Claudia. *Hazard Matrix Application in Health, Safety and Environmental Management Risk Evaluation*. ISBN 978-953-51 -0571-8, Published: April, 25, 2012 under CC BY 3.0 license.

HALLOWELL, Matthew R.; GAMBATESE, John A. *Activity-Based Safety Risk Quantification for Concrete Formwork Construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.135, n.10, p.990-998, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 14001:2007. *Environmental management systems. Requirements*. *International Organization for Standardization*, 2007.

KAMARDEEN, Imriyas. *Strategic safety management information system for building projects in Singapore*. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 16, n. 1, p.8 – 25, 2009.

MOROTE, A. Nieto; VILA, F. Ruz. *A fuzzy approach to construction project risk assessment*. *International Journal of Project Management*, v.29, p.220-231, 2011.

TEO, Evelyn Ai Lin; LING, Florence Yean Yng; CHONG, Adrian Fook Weng. *Framework for project managers to manage construction safety*. *International Journal of Project Management*, v. 23, p.329–341, 2005.

GANHOS DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DO USO DE ESTACA SECANTE EM CONTENÇÕES

Louise Nideck Sanglard ¹
Jorge dos Santos ²

Resumo

“ Há dois anos, começou a crescer no Brasil o número de contenções executadas com a técnica de estaca secante. Essa é uma tecnologia muito empregada em países desenvolvidos como os Estados Unidos e lugares da Europa, porém muito recente por aqui, apesar de apresentar muitas vantagens executivas.

O objetivo deste trabalho é mostrar os ganhos de qualidade e produtividade com o uso de Estacas Secantes na construção de paredes de contenção. Para isso, é feita uma apresentação sobre o tema “Estaca Secante”, explicitando as suas vantagens e facilidades executivas e, em seguida, realiza-se uma comparação com as tecnologias de contenção existentes no mercado.

Como parte da metodologia deste trabalho, foram feitas visitas técnicas em diferentes tipos de obras em que foram executadas paredes de contenção com essa nova técnica. Para cada caso foi feito um estudo das características do local, da obra e dos motivos pelos quais a técnica foi escolhida.

Devido aos ganhos de qualidade e produtividade da estaca secante, espera-se que essa técnica cresça nos próximos anos dentro do país.”

Palavras-chave » Paredes de contenção. Estaca Secante. Ganhos. Qualidade. Produtividade.

¹ E-mail: lsanglard@poli.ufrj.br.

² E-mail: jorgesantos@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de ser muito usada nos Estados Unidos e na Europa, é importante ressaltar que a estaca secante é uma técnica muito recente, e ainda pouco utilizada no Brasil. Porém, há pouco mais de dois anos começou a crescer o número de empresas que executam esse tipo de contenção no país, e a tendência é de um crescimento cada vez maior.

Por ser uma tecnologia ainda muito nova, o conhecimento sobre “Estaca Secante” ainda é pouco difundido por aqui.

O objetivo deste trabalho é apresentar a tecnologia de contenção em supracitada, explicitando a sua metodologia construtiva, vantagens e limitações, comparando-a com outras técnicas de contenção existentes no mercado, a fim de evidenciar os ganhos de produtividade e qualidade obtidos. Desta forma, é possível entender porque existe uma tendência de crescimento da tecnologia no país.

Essa é uma técnica extremamente versátil, que pode-se ser empregada tanto em obras de grande porte, quanto em terrenos pequenos através de diversos tipos de solo, sendo exequível abaixo do nível d'água.

2 PAREDES DE CONTENÇÃO

2.1 O que são as principais tecnologias utilizadas

Paredes (ou muros) de contenção são obras civis construídas com a finalidade de prover estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. São estruturas que fornecem suporte a estes maciços, e evitam o escorregamento causado pelo seu peso próprio ou por carregamentos externos e são projetadas para resistir a empuxos de terra e água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas ou equipamentos adjacentes, em razão de uma escavação.

Embora a geometria, o processo construtivo e os materiais utilizados em cada tecnologia sejam muito diferentes entre si, todas elas são construídas para conter a possível ruptura do maciço, pois suporta-se as pressões laterais exercidas por ele.

Algumas das principais técnicas utilizadas hoje no Brasil são: parede diafragma moldada *in loco*, estaca prancha, estaca em hélice contínua, estaca raiz, tubulão e perfil metálico com pranchada de madeira.

2.2 Principais dificuldades executivas e limitações

Uma grande dificuldade executiva, em qualquer tipo de contenção, é a obtenção da estanqueidade da parede para impedir a passagem de água. Muitas técnicas requerem grandes esforços para realizar uma parede totalmente estanque, outras são inexecutáveis ou não são recomendadas para solos em presença de água.

A fuga de partículas de solos situados abaixo do nível do lençol freático, também constitui uma dificuldade oriunda da falta de estanqueidade. Quando tal carreamento não é impedido há a possibilidade da formação de vazios com o perigo de colapso instantâneo, ou de recalques imprevisíveis que podem gerar problemas nas construções vizinhas.

Outra dificuldade executiva é a presença de matacões, pedregulhos e rochas. Algumas tecnologias não conseguem ou tem dificuldades para ultrapassar esses materiais.

Como muitas obras tem um prazo de construção curto, o tempo de execução é uma característica muito importante ao escolher a tecnologia a ser adotada. Todas as técnicas buscam velocidade de execução. Porém, alguns tipos de contenção são muito mais rápidos.

Alguns tipos de contenção necessitam de uma grande área dentro da obra para conseguir realizar os seus serviços. Porém, algumas obras tem uma área muito pequena, o que inviabiliza a utilização de algumas técnicas.

Outra dificuldade executiva de alguns tipos de contenção é a execução de parede faceada na divisa.

A garantia de linearidade também é outra preocupação. As técnicas que tem a utilização de mureta guia garantem uma parede linear.

Uma grande dificuldade é a execução de paredes em solos moles ou arenosos. Estes solos não são estáveis, em que impossibilita-se a execução de algumas técnicas e dificulta-se outras. Além disso, o solo arenoso é muito permeável, o que aumenta a necessidade de uma parede com garantia de estanqueidade.

3 ESTACA SECANTE

3.1 Conceituação

Estaca secante é um tipo de estaca escavada por processo rotativo, moldada *in situ* e composta por estacas justapostas de concreto. A parede final é composta por estacas secantes entre si, conforme se pode observar na figura 1.

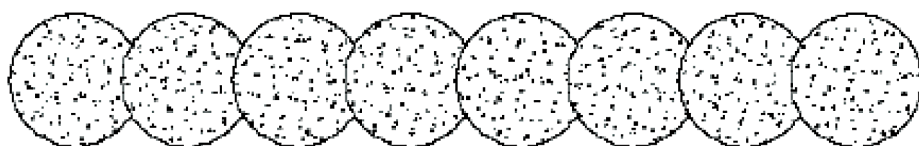


FIGURA 1 • Croquis de estacas secantes.

FONTE: GOMES (2014).

Este método tem origem na adaptação do equipamento de execução de estacas hélice contínua, para a construção de uma cortina de contenção.

Tecnologia ainda recente em nosso país, a estaca secante chegou ao Brasil há cerca de dez anos por uma empresa de São Paulo. Nos últimos dois anos, as paredes de contenção com as mesmas começaram a ganhar espaço no mercado construtivo brasileiro, e também com a chegada de novos equipamentos no país, sua tendência é que cresça ainda mais.

3.2 Processo construtivo

O procedimento executivo apresenta uma metodologia similar a das estacas hélice contínua, com quatro fases distintas: locação - mureta guia, perfuração, concretagem e lançamento da armadura, ou perfil metálico.

3.2.1 LOCAÇÃO - MURETA GUIA

A locação das estacas secantes é um dos procedimentos executivos mais importantes em todas as fases de execução. Diferentemente das estacas hélice, em que pequenas excentricidades são permitidas inclusive pela norma brasileira, as estacas secantes devem obedecer rigorosamente à locação descrita em projeto. Deste modo, é necessária a execução de uma mureta guia em concreto, capaz de garantir a locação exata das estacas. Sua execução consiste basicamente na escavação de uma vala, na qual é posicionada a fôrma onde as estacas serão executadas e, em seguida, é lançado o concreto em suas laterais (figura 2).



FIGURA 2 • Forma de isopor identificada, e com a mureta concretada.

FONTE: (SANGLARD; LIMA, 2013).

3.2.2 PERFURAÇÃO

A fase de perfuração das estacas secantes se divide basicamente em duas etapas, conforme figura 3. Na primeira etapa são executadas as estacas primárias, que serão posteriormente recortadas. Na segunda etapa são executadas as estacas secundárias, entre duas estacas primárias.



FIGURA 3 • Fases executivas das estacas secantes.

FONTE: JOPPERT JR. (2007)

As estacas secundárias sempre devem ser executadas, e recorta-se duas estacas primárias adjacentes. Deste modo, garante-se a interação total das peças e a eliminação de falhas (figura 4).



FIGURA 4 • Vista superior do detalhe da intersecção de estacas secantes.

FONTE: FLEURY (2012).

O equipamento adotado é uma perfuratriz semelhante à empregada na execução de estacas hélice contínua, com o diferencial de possuir cabeçote de dupla rotação, capaz de girar a hélice em sentido horário e o tubo em sentido oposto. A ponta do tubo confeccionada em aço vîdea (figura 5), para permitir o recorte das peças de concreto.



FIGURA 5 • Detalhe da ponta do tubo.

FONTE: FLEURY (2012).

3.2.3 CONCRETAGEM

O procedimento de concretagem é idêntico ao adotado nas estacas hélice, com monitoramento por computador. O bombeamento é feito simultaneamente à retirada do trado, e assim, pode-se o tubo girar em sentido anti-horário, dessa maneira favorece-se a subida do material e diminui-se o atrito com o solo. A saída do concreto se dá por uma "janela" existente na lateral da ponteira da hélice (figura 6).



FIGURA 6 • Detalhe da ponteira com saída lateral.

FONTE: FLEURY (2012).

3.2.4 ARMAÇÃO

Em regra geral, as estacas primárias não são armadas, sendo preenchidas apenas com concreto ou argamassa, enquanto as secundárias devem receber a armação necessária para suportar a solicitação de empuxos a que estarão expostas.

A armação das estacas pode ser composta por “gaiolas” formadas por barras verticais, e estribos soldados (figura 7). Também é possível o emprego de perfis laminados, sendo comum o uso das linhas W200, W250 e W310.



FIGURA 7 • Armação empregada nas estacas secantes.
FONTE: FLEURY (2012).

3.3 Facilidades executivas e vantagens

A contenção com estaca secante apresenta muitas vantagens e facilidades executivas.

O procedimento tem como resultado final uma parede estanque, que é possível devido à forma como a parede é executada, em que as estacas secundárias são fundidas com as estacas primárias, porém constitui-se um tipo de contenção indicado principalmente para solos em presença de água, conforme figura 8.



FIGURA 8 • Vista lateral de tanque submerso executado em estacas secantes (Bélgica).
FONTE: FLEURY (2012).

A produtividade do serviço é alta e pode variar entre 50m² e 80m² por dia. A velocidade de execução dos serviços de uma obra de contenção é, muitas das vezes, elevada se comparada com outras técnicas. Além disso, a mobilização é muito rápida. Pode-se mobilizar um equipamento em uma noite e começar os serviços no dia seguinte.

É possível realizar a execução deste tipo de contenção em terrenos pequenos, pois se utilizam poucos equipamentos de grande porte. O mesmo equipamento é responsável pela escavação, içamento da armadura e concretagem, não sendo necessário um guindaste de apoio.

O equipamento que executa as estacas secantes possibilita a execução de estacas próximas à divisa, à 7 cm da divisa (figura 9). É uma distância pequena se comparada com outras tecnologias. Desta forma, ganha-se maior área de subsolo.



FIGURA 9 • Execução de estacas faceadas à divisa.

FONTE: FLEURY (2012).

No caso desta nova técnica, não é necessária a utilização de lama bentonítica, porque o próprio tubo da perfuratriz já tem a função de dar estabilidade ao furo. Com isso, não é necessária a instalação da central de lama, que ocupa um espaço considerável na obra. Assim, não existem custos e preocupações relativas ao descarte da lama misturada ao solo proveniente da escavação e o processo de execução é mais limpo.

Como a ponta do tubo da perfuratriz é em aço vídeo, além de conseguir cortar o concreto, o equipamento é capaz de penetrar em materiais de grande resistência (argila dura, e rocha gnaisse A4).

A técnica garante uma grande linearidade da parede, devido à existência de mureta guia e ao tipo de equipamento utilizado.

Essa tecnologia de contenção possibilita o controle computadorizado e sensores, que afere-se e registra-se os dados gerados relativos à profundidade, velocidade, inclinação, volume, pressão e injeção de concreto. É uma ótima ferramenta para controle de execução das estacas.

A estaca tem um bom acabamento, porque a injeção do concreto se dá no interior do tubo que serve como molde para a estaca, diferentemente da estaca em hélice contínua que não possui o tubo.

Nesta técnica, a máquina que executa os serviços não produz muito barulho e nem vibrações no terreno, se comparada, por exemplo, a um bate estacas empregadas na cravação de estacas prancha. O que traz melhoria na qualidade do ambiente de trabalho e na vizinhança.

3.4 Dificuldades executivas e limitações

Apesar de ter muitas vantagens, a contenção com estaca secante apresenta algumas dificuldades executivas e limitações.

Uma limitação do equipamento é a profundidade máxima da parede, que se restringe ao comprimento do tubo. Hoje o maior tamanho de parede que pode ser feita no Brasil é de 19 metros (figura 10).



FIGURA 10 • Equipamento que executa estacas secantes com foco no comprimento do tubo.

FONTE: CZM FOUNDATION EQUIPMENT (2014).

Outra limitação é o fato da máquina não ter a capacidade de fazer a parede através de rochas, como no caso da estaca raiz. Entretanto, essa é uma característica muito peculiar de algumas técnicas, todas mais lentas e caras como a nova técnica.

Na execução das estacas secantes, assim como na da hélice contínua, a armadura é colocada somente após a concretagem. Em alguns casos podem existir dificuldades na introdução das armações, dos perfis causada pela perda de água do concreto, ou consistência inferior à necessária.

Tendo em vista que se trata de uma técnica que utiliza um equipamento muito caro, e também é extremamente moderna no Brasil, há uma baixa disponibilidade de mão de obra especializada, e poucas empresas atuantes no mercado. Devido a isso, existe um baixo número de histórico de obras de contenção com a nova técnica no país. Porém, a tendência vista hoje é de crescimento do número de equipamentos, empresas e de obras existentes.

3.5 Custos

O custo do serviço em estaca secante é competitivo com outras técnicas do mercado como a parede diafragma e a estaca prancha. Se consideradas outras variáveis como mobilização e desmobilização, material descarte de lama, execução de mureta guia e prazos, as mesmas podem constituir uma alternativa vantajosa financeiramente.

Para a execução de contenção no empreendimento *Holiday Inn* Porto Maravilha da *Odebrecht* Realizações Imobiliárias, foi feita uma comparação de custos entre dois métodos executivos: estaca prancha vibro-prensada e estaca secante (quadro 1).

Planilha de Preços - Estaca Secante				
Item	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total
<u>Execução de Estacas</u>	m linear	5004	R\$ 115,00	R\$ 575.460,00
Concreto	m³	661	R\$ 250,00	R\$ 165.250,00
Perfil	unid	208,5	R\$ 1.050,00	R\$ 218.925,00
Bombeamento	m³	661	R\$ 30,00	R\$ 19.830,00
Mobilização/Desmobilização	vb	2	R\$ 11.000,00	R\$ 22.000,00
			Total	R\$ 1.001.465,00
Planilha de Preços - Estaca Prancha Vibroprensada				
Item	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total
Mobilização	vb	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Análise de estabilidade + Projeto executivo	vb	1	R\$ 16.000,00	R\$ 16.000,00
Serviço de cravação + material	m²	1800	R\$ 622,97	R\$ 1.121.346,00
Desmobilização	vb	1	R\$ 18.500,00	R\$ 18.500,00
			Total	R\$ 1.175.846,00

QUADRO 1 • Preço calculado para execução do serviço de contenção com estaca vibro-prensada, e com estaca secante para o empreendimento *Holiday Inn* Porto Maravilha.

FONTE: (SANGLARD; LIMA; OLIVEIRA et al 2013).

Pode-se perceber, pela tabela 1, que os valores de mercado para execução de paredes de contenção com estaca secante são competitivos com os da estaca prancha vibro-prensada.

Entretanto, existem técnicas que tem um processo construtivo mais barato, como o tubulão, a estaca hélice contínua e a estaca metálica com pranchada de madeira. Porém, são métodos executivos com maiores limitações e dificuldades executivas.

4 APLICAÇÃO DA ESTACA SECANTE EM PAREDES DE CONTENÇÃO

Para entender melhor os benefícios da estaca secante é importante analisar alguns casos reais de utilização no Brasil. Com isso, foram feitos estudos de caso em que explica-se, o porquê da sua aplicação em relação a outras tecnologias.

Os estudos foram feitos em obras de diferentes construtoras, nas quais as execuções das paredes com elas que foram feitas por uma empresa de fundações especiais do Rio de Janeiro.

4.1 Obra 1 - Hotel no bairro do Catete

Nesta obra, a contenção foi feita para dois níveis de subsolo e o estudo de sondagem feito no local indicou a presença de solo mole nas camadas superficiais do local até, aproximadamente, 15 metros de profundidade. Além disso, as edificações vizinhas são da década de 30, tem mais de 12 pavimentos, não apresentam subsolo e estão apoiadas em radier feito sobre as camadas de solo mole.

O tipo de contenção a ser aplicado não poderia gerar nenhum tipo de desconfinamento de solo na fase executiva. Deste modo, sendo o solo extremamente frágil e houve pontos de carga das edificações vizinhas próximos ao alinhamento da contenção, seria extremamente arriscado fazer parede diafragma. Dessa forma, sabendo-se que a parede diafragma é feita através de lamelas com grandes dimensões da ordem de 2 metros de comprimento, qualquer problema de fechamento de uma lamela ou de desbarrancamento de solo poderia gerar elevados recalques nos prédios vizinhos. Tal condicionante fez restringir a possibilidade de execução de paredes diafragma. Além disso, descartaram-se também, o tubulão e o perfil metálico com pranchada madeira por razões óbvias que os tornam inexecutáveis. Essas técnicas não podem ser aplicadas em solos moles, pois estes não tem estabilidade suficiente necessária para a execução destes métodos.

Era necessária uma técnica que apresentasse o mínimo possível de vibrações que poderiam causar problemas na estrutura dos prédios vizinhos. Por esta razão foram descartados os métodos em que se aplicam cravações ou vibrações, como a estaca prancha.

Além disso, o terreno é pequeno, em torno de 15m x 60m, o que dificulta o trabalho da parede diafragma moldada *in loco*.

Como a tecnologia de hélice contínua não consegue fazer estacas próximas a divisas, também foi descartada. Seria perdida uma área muito grande de subsolo nesse caso.

Deste modo, apenas estacas raiz e secante poderiam ser executadas. No entanto, as estacas raiz justapostas não são totalmente estanques e, tendo em vista o elevado número de estacas da obra (aproximadamente 500 estacas), aliada a baixíssima produtividade, optou-se pela execução de estacas secantes.

4.2 Obra 2 - Hotel em Belo Horizonte

O terreno está localizado na orla da Lagoa da Pampulha e é acidentado com talude de aproximadamente 20 metros nos fundos. Além disso, existem casas apoiadas sobre o topo desse talude.

O solo do local é argiloso de resistência média e o nível de água era próximo à cota original do terreno e acompanhava o talude, ou seja, nos fundos do terreno o nível de água era mais alto do que na frente.

Foi feita uma escavação do talude nos fundos da obra que aumenta se a sua inclinação, e cria-se vários pontos de mina de água. Também foram detectados recalques nas escavações dos fundos. Ao se detectarem esses problemas, o talude foi recomposto para que se fizesse uma contenção completamente estanque em um curto prazo de tempo, com o objetivo de evitar maiores recalques.

Por necessitar de uma parede de contenção completamente estanque, muitos métodos executivos foram descartados, e assim resta-se somente como opção duas técnicas: parede diafragma e estaca secante.

Por ser um terreno íngreme, foi feita uma pequena plataforma no topo (onde foi executada a parede) para movimentação da máquina de estaca secante. No caso da execução em parede diafragma, essa plataforma teria que ser muito maior para conseguir comportar todos os equipamentos necessários, embora incluísse os silos de lama. Com isso, optou-se por ela.

Além disso, essa era uma contenção pequena, com aproximadamente 200 estacas, o que faz com que o prazo de execução e o custo de implantação sejam mais significativos no total da obra. E o tempo e o preço de mobilização da parede diafragma são muito maiores que os da estaca secante.

4.3 Obra 3 – Edifício residencial em Niterói

Esta obra possui dois subsolos, está localizada em um terreno de 30 m x 40 m e o solo é silto-arenoso e tem presença de água a 3 metros de profundidade. De um lado da obra existe um prédio com fundação rasa, enquanto do outro lado há um edifício com fundação profunda. Nos fundos, encontram-se algumas casas afastadas da divisa do terreno da obra.

Do lado do prédio com fundação rasa não pode existir praticamente nenhum recalque. Devido a isso, a parede tem que ser completamente estanque, para não permitir carreamento e movimentação de solo. Assim, as duas possibilidades existentes eram a parede diafragma, a estaca secante e a estaca prancha.

Optou-se por estaca secante (figura 11) porque, como eram poucas estacas (somente de um lado da obra), a parede diafragma seria uma opção mais cara e demoraria mais tempo, devido à mobilização e à desmobilização, assim como no caso da obra em Belo Horizonte. No caso das estacas prancha, o prazo de entrega dos materiais e custo de mobilização inviabilizou o seu emprego.

Nos outros três lados da obra eram admissíveis recalques nos terrenos vizinhos, então foi decidido fazer a parede de contenção com um método mais simples e barato: perfil metálico com pranchada de madeira.



FIGURA 11 • Contenção em estaca secante da obra de Niterói.

FONTE: O AUTOR (2013).

5 CONCLUSÃO

Durante o trabalho foi possível observar muitos ganhos de qualidade e produtividade com a nova tecnologia, principalmente em obras em áreas urbanas, com terrenos pequenos, solo de baixa ou nenhuma coesão e/ou em presença de água.

Entretanto, é preciso lembrar que essa técnica também apresenta algumas desvantagens e limitações. Devido a isso, existem situações, que depende-se das características do local, em que a aplicação da estaca secante não é a mais indicada. Além disso, em obras de contenções que tenham uma menor dificuldade técnica, outras tecnologias de contenção podem ser uma alternativa possível e mais barata. No caso de terrenos coesivos e sem presença de água, por exemplo, é possível, muitas vezes, executar estaca metálica com pranchada de madeira ou fechamento em muro de concreto, por exemplo, que podem ser alternativas mais econômicas financeiramente.

Uma comparação entre as vantagens/facilidades executivas e as desvantagens/limitações pode ser observada no quadro 2.

FACILIDADES EXECUTIVAS E VANTAGENS	LIMITAÇÕES E DESVANTAGENS
Estanqueidade	Limite de profundidade
Alta produtividade	Não escava rocha
Execução em terrenos pequenos	Armadura introduzida após a concretagem
Execução de estacas próximas à divisa	Poucas obras e empresas atuantes no Brasil
Não utiliza lama bentonítica	Baixa disponibilidade de mão de obra especializada
Penetra materiais de grande resistência	-
Garantia de linearidade	-
Controle computadorizado	-
Bom acabamento da estaca	-
Inexistência de vibrações	-
Furo totalmente estável	-

QUADRO 2 • Vantagens e desvantagens da técnica em estaca secante.
FONTE: O AUTOR (2014).

É possível observar que, mesmo com as limitações do sistema, as vantagens e facilidades executivas são muito maiores se comparadas às desvantagens. Além disso, foi possível observar nos três estudos de caso deste trabalho os diversos ganhos em produtividade e qualidade que a técnica pode trazer.

A introdução da tecnologia no Brasil traz um ganho muito grande para a construção civil, porque aumenta a qualidade dos serviços, a competitividade e a produtividade. Devido a isso, é importante que exista um crescimento da utilização da estaca secante no país. Por isso, é necessário que o conhecimento sobre a técnica seja mais difundido.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF – Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. **Manual de execução de fundações e geotecnia – Práticas recomendadas**. 1 ed. São Paulo, Pini, 2012.

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. **Estacas Secantes**. Disponível em: <http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-fundacoes/sistemas_fundacoes_esec.html>. Acesso em: 17 de Julho de 2014.

BARROS, Pêrsio Leister de Almeida. **Obras de Contenção**. Manual Técnico. Maccaferri América Latina. 2005.

CZMFUNDATIONEQUIPMENT. **Estaca Secante – EK180ES**. Disponível em: <<http://www.czm.com.br/website/?menu=Produtos&linha=Estaca%20Secante&produto=EK180ES>>. Acesso em: 19 de Julho de 2014.

FLEURY, Gustavo Vorcáro. **Estacas secantes – características gerais e procedimentos executivos**. Solomek Fundações Especiais (grupo Soloteste / Meksol). 2012.

GOMES, Romero César. **Material didático da disciplina Obras de Terra**. Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. Engenharia Civil. 2014.

HACHICH, Waldemar; FALCONI, Frederico F.; SAES, José Luiz *et al.* **Fundações Teoria e Prática**. 2 ed. São Paulo, Pini, 1988.

JOPPERT JR, Ivan. **Fundações e contenções de edifícios – qualidade total na gestão do projeto e execução**. 1 ed. São Paulo, Pini, 2007.

MARTINS, Juliano Lopes. **Estacas secantes – Uma alternativa à parede diafragma?**2009. Disponível em: <<http://julianolm.wordpress.com/2009/08/30/maestacas-secantes-uma-alternativa-a-parede-diafragma/>>. Acesso em: 23 de julho de 2014.

MUSSARRA, Marcello Duarte. **Parede diafragma** com estacas secantes. Dissertação (Graduação) – Universidade do Estado de Santa Catarina-UESC. *Joiiville*, Junho de 2008.

SANGLARD, *Louise Nideck*; LIMA, Guilherme Borges de. **Contenções de terrenos com a utilização de estacas secante**. Prêmio Destaque 2013 da Odebrecht S. A. 2013.

SANGLARD, Louise Nideck; LIMA, Guilherme Borges de; OLIVEIRA, Bárbara *Tannus de et al.* **Estaca secante**. Projeto de melhoria e inovação 2013 da Odebrecht Realizações Imobiliárias. 2013.

PRINCÍPIOS PARA DESENVOLVIMENTO DE COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS

Marcela Rodrigues Potting ¹
Elaine Garrido Vazquez ²

Resumo

“O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica que aborda-se o conceito de construção sustentável e é apresentado o cálculo da Pegada Ecológica como indicativo sustentável. Esta pesquisa tem como objetivo apresentar estratégias para a obtenção de uma construção verde, com base em dez princípios desenvolvidos pela Iniciativa *One Planet Living*, criada a partir do sucesso do empreendimento *BedZED*. Através da análise comparativa entre duas comunidades sustentáveis, em que são apontadas possíveis estratégias para minimizar os impactos da construção, diminuindo a pegada ecológica do setor, e assim contribui-se com o desenvolvimento sustentável do planeta.”

Palavras-chave » Sustentabilidade. Pegada ecológica. Impactos da construção. *BedZED*.

¹ E-mail: marchpotting@poli.ufrj.br.

² E-mail: elainevazquez@poli.ufrj.br.

1 INTRODUÇÃO

Vivemos hoje imersos nas consequências catastróficas causadas pela atividade humana e seu estilo de produção e consumo desenfreado. O cientista Paul Crutzen (2000) nomeou esse momento da história mundial como a “Era Humana do Planeta”, ou *Anthropocene*, na qual a atividade humana é a principal causa das mudanças climáticas, da desigualdade social e econômica, do esgotamento de recursos primários. (SACHS, 2014)

Entre todos os setores que o Desenvolvimento Sustentável abrange, a vertente relacionada às mudanças climáticas é a mais preocupante, pois representa uma ameaça global. A indústria da construção civil exerce um importante papel no contexto apresentado devido à utilização intensa de recursos na construção e manutenção, e na geração de resíduos e poluição. A emissão crescente de dióxido de carbono na atmosfera, o consumo cada vez maior de energia nos leva a reavaliar o modelo construtivo tradicional, e reticente às necessidades de uma maior conservação ecológica.

É crucial o desenvolvimento de modelo construtivo sustentável embasado na interligação dos pilares da sociedade com o ecossistema. As medidas construtivas e comportamentais devem ser analisadas para que sejam adequadas para diminuição da pegada ecológica dos usuários do edifício construído, e para diminuição do impacto ambiental que irá causar.

1.1 Objetivo

O presente trabalho visa demonstrar e esclarecer os problemas atuais enfrentados pelo planeta, e as consequências tangíveis que o comportamento cotidiano de cada um de nós interfere no funcionamento sustentável do planeta. Através da análise de dois casos, pretende-se explicitar a responsabilidade da indústria da construção civil perante esse cenário.

Pretende-se demonstrar que através de mudanças no planejamento e adoção de novas medidas construtivas focadas na diminuição do gasto energético e da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, quando associadas a medidas comportamentais

podem diminuir o valor da pegada ecológica por pessoa, ou seja, a diminuição quantitativa do uso de hectares globais por pessoa para geração de bens e serviços e absorção de resíduos.

1.2 Metodologia Empregada

A metodologia de pesquisa adotada foi baseada na comparação entre o empreendimento residencial misto *BedZED (Zero Energy Development Beddington)* e o empreendimento também residencial misto *One Brighton*, ambos no Reino Unido. Fornecem-se dados que possibilitem a comparação do indicativo sustentável adotado como parâmetro, a Pegada Ecológica.

1.3 Fundamentação teórica

Segundo *Sachs* (2014), o Desenvolvimento Sustentável é uma maneira de entender o mundo no qual vivemos, assim como é um método para solucionar seus problemas. O economista separa o tema em questão em duas abordagens distintas, analítica e teórica.

O campo analítico é aquele que busca o entendimento da complexidade entre os fatores sociais, econômicos, políticos e ambientais. Os indicadores sustentáveis são ferramentas adotadas pela comunidade científica criadas com o intuito de promover o entendimento dessa relação e avaliar o desenvolvimento sustentável de forma mais simples e menos complexa. (BELLEN, 2007).

De acordo com a pesquisa realizada por *Bellen* (2007) o Método da Pegada Ecológica, desenvolvido por *Wackernager* e *Rees* em 1996, é considerado o mais indicado para avaliação da sustentabilidade, e será adotado como parâmetro comparativo no presente trabalho. (BELLEN, 2007)

O procedimento de cálculo é baseado na ideia de que para cada item de matéria ou energia consumida pela sociedade existe certa área da terra, em um ou mais ecossistemas, que é necessária para fornecer o fluxo desses recursos e absorver

seus dejetos. Fornece-se um índice simples agregado, eliminando o empecilho referente às diferentes unidades de medidas, que reflete o impacto ecológico. (WACKERNAGER & REES, 1996)

A equação a seguir demonstra o cálculo da área produtiva (biocapacidade) disponível no planeta dividida pela população mundial no ano de 2007.

$$\text{Pegada Ecológica} = \frac{\text{Total da Biocapacidade do Planeta}}{\text{População mundial}} = 1.8 \text{ Global Hectare} \quad (1)$$

O número 1,8 Global Hectare (GH) representa o limite sustentável do planeta Terra, a fração justa de hectare global para cada indivíduo, ou seja, a área justa para produção de recursos e absorção de resíduos por pessoa.

No mesmo ano o cálculo foi feito, porém utiliza-se a biocapacidade necessária para suprir a demanda atual de recursos e dejetos, o resultado encontrado foi de 2,7 GH. O que significa que em 2007 a humanidade utilizou o equivalente a 1,5 planetas Terra para suportar o seu consumo e desperdício. De acordo com a organização *Global Footprint Network* (2010), se continuarmos a viver, consumir e descartar como na atualidade, em 2030 a oferta para atender a demanda mundial terá de ser fornecida pelo equivalente a dois planetas Terra.

Wackernagel e *Rees* (1996) afirmam que o método mostra a natureza finita do planeta, e que o sonho do crescimento ilimitado não é realizável.

Com auxílio dos dados coletados na fase analítica obtêm-se uma perspectiva real do contexto global. A abordagem teórica do desenvolvimento sustentável parte dessa análise quantitativa dos indicadores sustentáveis para a elaboração de metas e objetivos de comprometimento mundial para reverter quadro apresentado. É papel da indústria da construção civil contribuir, e assumir responsabilidades a fim de contribuir para o alcance das metas propostas.

2 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

As construções sustentáveis, também chamadas de construções verdes (*Green Buildings*), se referem ao processo ambientalmente responsável e eficiente durante

todo o ciclo de vida da edificação, isso significa que a partir de seu planejamento até a sua construção, manutenção e demolição o edifício deve manter o balanço ecológico positivo, ou seja, a pegada ecológica de seus usuários deve estar dentro do limite estabelecido (1,8 GH/capita) reduz-se o impacto ambiental e asseguram-se condições de saúde e bem estar.

Na busca por um modelo sustentável construtivo, é imperativa a análise da sustentabilidade energética. A indústria da construção civil é o setor com uma das maiores pegadas ecológicas do planeta, responsável por 1/3 do total das emissões de gases efeito estufa. (MOURA & MATA, 2013)

As soluções ligadas à sustentabilidade energética devem ser elaboradas na fase de projeto, implementadas na fase de construção e adotadas na fase de operação e uso do edifício. É pertinente esclarecer que as maiores taxas de emissão de CO₂ do setor estão relacionadas ao gasto energético da fase de operação e manutenção, responsável por mais de 80% do gasto. (MOURA & MATA, 2013)

Os edifícios ZEB (*Zero Energy Building*) representam uma solução inovadora: produzir inteiramente a energia que consomem para seu perfeito funcionamento. Dessa maneira, as concessionárias de energia são poupadas, diminuindo a queima de combustíveis fósseis relacionados ao fornecimento energético.

Seria imprudente não citar o empreendimento pioneiro na categoria ZEB, o condomínio misto no sul de Londres, *BedZED*, é a maior eco vila do Reino Unido. Inaugurado em 2002, ainda hoje sua concepção, metodologia e manutenção são referências no mercado.

3 ONE PLANET LIVING

3.1 Surgimento

A construção do condomínio *BedZED* foi crucial para estabelecer novos e elevados parâmetros para o modelo de construção sustentável no cenário global. Como resultado do sucesso, e do desejo de reproduzir a maneira construtiva em outros

empreendimentos, a Iniciativa *One Planet Living* foi lançada através da parceria da *Bio Regiona Development Group* (BDG) com a *World Wild Fund for Nature* (WWF). Com intuito de guiar e monitorar as ações do setor construtivo diminuindo o impacto causado em escalas locais e globais (BIOREGIONAL DEVELOPMENT GROUP, 2014). Um grande passo para a indústria da construção civil rumo à sustentabilidade, abrangendo todas as etapas do processo construtivo através de diretrizes para concepção e planejamento até o uso e manutenção.

O nome da iniciativa faz uma referência ao estilo de vida e modo de consumo dos dias de hoje que consomem mais do que o planeta pode suportar, embora necessitam-se de mais planetas como o nosso para suprimir a demanda de recursos e absorver a quantidade de resíduos gerados.

A técnica que esta sendo proposta para diminuição da pegada ecológica do setor construtivo irá auxiliar na descaracterização do setor da construção civil como vilão para o desenvolvimento sustentável. Por enquanto, o setor assume esse papel pois é responsável por 25% da geração total de resíduos sólidos, 23% da utilização da água, e 1/3 do total das emissões de gases efeito estufa. São números alarmantes que podem ser reduzidos se as práticas adequadas forem introduzidas em todas as etapas do processo produtivo e operacional. (MOURA & MATA, 2013)

A iniciativa *One Planet Living* pode ser entendida como um selo de certificação. Uma vez que as diretrizes são seguidas e os requisitos estabelecidos pela iniciativa são alcançados, a construção recebe o selo de Comunidade *One Planet Living*. Surge uma comunidade que apresenta além de sistemas e materiais sustentáveis, um comprometimento pessoal de cada usuário para diminuir sua pegada ecológica através de escolhas mais conscientes.

3.2 Princípios

Com intuito de difundir a metodologia construtiva ZEB conjugada com outras tecnologias e mudanças de comportamento foram necessárias à criação de diretrizes que pudessem ser seguidas e posteriormente monitoradas.

Dez princípios foram formulados para servir de base para a construção, operação e comportamento sustentável dos futuros empreendimentos: Zero Carbono (1); Zero Desperdício (2); Transporte Sustentável (3); Materiais Sustentáveis (4); Alimentação Local e Sustentável (5); Gestão Sustentável da Água (6); Uso da Terra e Biodiversidade (7); Cultura e Comunidade (8); Equidade e Economia Local (9); e Qualidade de Vida (10).

A iniciativa consiste em um avanço significativo para a indústria da construção civil na busca por um mundo mais sustentável uma vez que seus princípios focam em questões construtivas (escolha de sistemas e materiais que não agredam o meio ambiente), e comportamentais (incentivo a um estilo de vida que consuma menos os recursos do mundo).

4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DUAS COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS

Para que o método que concede o selo *One Planet Living* para comunidades ao redor do mundo, assim como, para que a pertinência dos dez princípios na busca de um estilo de vida sustentável seja comprovada, será feita uma análise comparativa de estratégias e soluções sustentáveis aplicadas a dois empreendimentos distintos.

Ambos os empreendimentos são comunidades mistas, seguem a linha Zero Energia (ZEB) e foram planejados pela iniciativa BioRegional: o condomínio misto *BedZED*, pioneiro na categoria ZEB e motivo para estruturação do processo de certificação e criação dos princípios dez princípios sustentáveis, e o condomínio *OneBrigthon*, certificado como uma comunidade *One Planet Living* e fruto dos aprendizados do primeiro.

Os dados para tal análise foram recolhidos durante a visita técnica realizada pela autora em Agosto de 2014 à comunidade *BedZED*, as informações referentes à comunidade *OneBrigthon* foram coletadas nos relatórios anuais publicados pela iniciativa *One Planet Living* para cada um dos empreendimentos certificados. As informações complementares foram obtidas pelo parecer da BioRegional através de seu site informativo.

DADOS	BedZED	ONE BRIGHTON
Ano de inauguração	2002	2012
Local	Londres, Reino Unido	Brighton, Reino Unido
Total de unidades	100	172
Blocos	8	2
Total de andares	3	8 e 12
Tipo de construção	ZED	ZED

QUADRO 1 • Características Gerais (Autora, 2014).

Os princípios que merecem destaque e atenção especial são aqueles relacionados ao maior impacto ambiental, tem uma demanda de queima significativa de combustíveis fósseis, para seu funcionamento, que estão relacionados à maior taxa de emissão de CO₂. Estes devem ser estudados e analisados desde o planejamento arquitetônico, passando pela fase construtiva, operacional, até a sua desconstrução. Para tais princípios as principais estratégias são apresentadas na tabela.

PRINCÍPIOS	BedZED	ONE BRIGHTON
Zero Carbono	- Energia produzida no local através de painéis fotovoltaicos, atende-se 20% da demanda total; - 80% restantes através de um sistema combinado de geração de energia e calor através da queima de lascas de madeira; - 100% da geração de calor proveniente do sistema combinado para aquecimento da água; - Medidas construtivas que visem à diminuição da demanda e a eficiência energética.	- Energia não é produzida na comunidade. É proveniente da compra de fazendas energéticas próximas a comunidade com o selo REGO (Renewable Energy Guarantee of Origin); - O empreendimento conta com um boiler de biomassa que queima pellets de madeira certificada FSC (Forest Stewardship Certificate) para atender 100% da demanda por aquecimento de água; - Medidas construtivas que visem a diminuição do uso de energia semelhantes ao BedZED.
Gestão de resíduos	- Adoção do simples sistema de separação do lixo residencial por tipo de resíduo em diferentes lixeiras. Como maneira de incentivar a reciclagem e coleta seletiva; - Redução em 30% dos resíduos orgânicos através da compostagem.	- Meta estabelecida para gerar menos de 15 m³ de resíduos para cada 100 m² de área construída, sendo a média de geração de resíduos no Reino Unido ultrapassa os 30 m³; - Separação do lixo residencial para coleta seletiva e reciclagem; - Troca comunitária de bens, para que estes tenham a vida útil estendida; - Redução em 30% dos resíduos orgânicos através da compostagem.

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

PRINCÍPIOS	BedZED	ONE BRIGHTON
Sistema de Transporte Sustentável	- Ciclovias interligando os pontos comerciais mais próximo do empreendimento. - Terminais de transporte público a curtas distancias do empreendimento; - Área disponível para estacionamento privado reduzida, oferecendo 0,5 vaga por unidade residencial; - Sistema de aluguel de carro dentro do empreendimento; - Pontos de recarga para carros híbridos.	- Na fase construtiva, bicicletários e vestiários disponíveis para os trabalhadores; - Todas as estratégias utilizadas na fase operacional do BedZED foram replicadas no One Brighton; - Área indisponível para estacionamento privado, oferecendo somente vagas para deficientes.
Materiais Sustentáveis	- Uso de materiais locais e certificados (FSC, <i>greensealetc</i>).	- Uso de materiais locais e certificados (FSC, <i>greensealetc</i>); - Análise do Ciclo de Vida dos materiais e serviços implementados na comunidade.
Alimentação Local e Sustentável	- Redução do consumo de alimentos altamente industrializados, importados e baseados em proteína animal; - Hortas orgânicas no próprio empreendimento; - Feiras semanais com produtos locais.	- Na fase construtiva, a cantina oferecia cardápio orgânico, com produtos locais e opções vegetarianas; - Todas as estratégias utilizadas na fase operacional do BedZED foram replicadas no One Brighton.
Gestão Sustentável da Água	- Captação, tratamento e reuso das águas das chuvas; - Permeabilidade do solo da área externa; - Medidas construtivas para diminuir a demanda e aumentar a eficiência.	- Na fase construtiva também houve o planejamento, gestão e monitoramento da água. Além das medidas rigorosas para evitar a poluição de fontes subterrâneas; - Todas as estratégias utilizadas na fase operacional do BedZED foram replicadas no One Brighton.

QUADRO 2 • Estratégias construtivas e comportamentais referente aos principais princípios One Planet Living (Autora, 2014).

É importante ressaltar algumas limitações e aprendizados quanto cada um dos princípios citados para ambas as comunidades.

4.1 Zero Carbono

Infelizmente a tecnologia experimental da queima combinada da biomassa para gerar calor e potência não foi bem sucedida no empreendimento BedZED, sua escala de aplicação era pequena tornando inviável técnico e financeiramente. O que implicou na necessidade de suprir o consumo elétrico com a rede local, proveniente da queima de combustíveis fósseis. Logo, o parâmetro de maior importância para a comunidade Zero-Energia (ZEB) que seria o balanço energético nulo não foi atendido por falta de planejamento e estudo de viabilidade.

A desativação do sistema também levou ao acionamento do sistema de *backup* para aquecimento de água. Hoje em dia, o boiler a gás é responsável por suprir 100% da demanda da comunidade.

O fato acima descrito é um dos ensinamentos e lições do *BedZED* que levaram à evolução do modelo construtivo, assim a avaliação do impacto de todas as etapas da implementação de um serviço foram incorporada pela iniciativa na certificação de futuras comunidades *One Planet Living* como um ferramenta fundamental para cumprimento de seus princípios e diminuição da pegada ecológica de maneira holística e completa, de maneira abranger todas etapas do processo de construção e utilização.

Quanto ao empreendimento *One Brighthon*, que foi planejado e estruturado para atender ao requisitos da certificação, apresenta até hoje resultados positivos quanto ao uso do *boiler* de biomassa para o aquecimento da água. Quase a totalidade de sua energia elétrica é adquirida *off site* através de fontes renováveis confiáveis. E, devido às estratégias de eficiência energética e consciência ambiental, a conta de energia dos usuários é 20% mais barata que o esperado na fase de planejamento.

Mesmo com os problemas apresentados, o empreendimento *BedZED* foi capaz de diminuir em 37% a emissão de gás carbônico na atmosfera. E, como era de se esperar, diante do planejamento e administração mais complexo da comunidade *One Brighton* a diminuição das taxas de emissão de gás carbônico alcançaram 67%. Um resultado que motiva e comprova a eficiência da implementação de medidas energéticas sustentáveis.

4.2 Gestão de Resíduos

Quanto à gestão dos resíduos, a indústria da construção civil é responsável por 25% da geração de resíduos sólidos, dessa forma aponta-se uma necessidade urgente de reverter o quadro.

A taxa de reciclagem de resíduos residenciais no Reino Unido é de 11%. A comunidade *BedZED* atingiu 60% de resíduos reciclados, e a comunidade *One Brighton* superou tal porcentagem atingindo a casa dos 70% em 2010.

A compostagem em ambas as comunidades apresentam resultados satisfatórios na diminuição do volume de resíduos orgânicos, e ajudam na adubagem das pequenas hortas de cada empreendimento.

4.3 Sistema de Transporte Sustentável

Devido ao sucesso das estratégias implementadas na comunidade pioneira *BedZED* para diminuição da pegada ecológica relativas ao transporte, o empreendimento *One Brighthon* repetiu várias delas.

Na fase de construção, por exemplo, o transporte dos materiais e prestação de serviço dos condomínios foram prestados preferencialmente por empresas locais, em um raio máximo de 60Km do local da obra, para que o gás carbônico proveniente do transporte fosse poupado.

Dados recolhidos na visita técnica da autora ao empreendimento *BedZED* apontam que houve uma diminuição no uso de veículos particulares em 65%. Na comunidade supracitada muitos moradores venderam seus carros e adotaram o transporte público como principal meio de locomoção.

No Reino Unido, um cidadão classe média percorre aproximadamente 10.000 Km/ano em veículos particulares como motorista ou carona. No *BedZED* foi constatada a diminuição da quilometragem anual de seus residentes em veículos particulares para 2.300 Km/ano/residente, já na comunidade *One Brighton* os quilômetros anuais foram reduzidos a 1.000 Km/ano/residentes.

4.4 Materiais Sustentáveis

Quanto ao princípio referente ao emprego de materiais sustentáveis, a aplicação da ferramenta ACV (Análise do Ciclo de Vida) amplia a atuação sustentável do setor, que permite-se a identificação das melhores oportunidades para diminuir o impacto ambiental e a pegada ecológica; auxilia na seleção adequada de fornecedores de materiais de

construção e equipamentos; além de permitir a tomada de decisão totalmente consciente dos impactos ambientais relacionados, por isso, evita-se avaliações parciais ou incompletas.

Além disso, os produtos que apresentem os selos ecológicos (como FSC, *Green Seal* etc) garantem a sustentabilidade do processo produtivo do material, tanto no aspecto ambiental, quanto social e econômico.

Na comunidade BedZED o resultado na diminuição do impacto ambiental devido a escolha consciente de materiais não pode ser calculado devido, a falta de planejamento para tal ação e coleta de dados imprecisa. Já na comunidade *One Brighthon* a criação de um plano de ação permitiu a elaboração de estratégias mais eficientes para alcançar o sucesso do princípio em questão, porém os resultados não foram disponibilizados.

4.5 Alimentação Local e Sustentável

Escolhas diárias de alimentos de origem animal e alimentos importados são as principais causas do aumento das emissões de gases efeito estufa relacion dos a esse setor. A indústria da agropecuária é responsável por aproximadamente 30% da emissão de gás carbônico na atmosfera; 70% da água potável; além de incentivar o desmatamento para pastagem e alteração do uso do solo. (SACHS, 2014)

Para ambos as comunidades as estratégias funcionaram, os moradores utilizam os serviços oferecidos e usufruem dos produtos locais. Entretanto, a comunidade certificada foi planejada e construída na busca-se do ideal sustentável, logo a pegada ecológica relacionada à alimentação apresentou uma diminuição mais significativa que o BedZED, onde só foram introduzidas práticas sustentáveis na fase operacional.

O relato de muitos moradores, de ambas as comunidades, confirmam a eficácia dos incentivos à um estilo de vida mais saudável.

4.6 Gestão Sustentável da Água

A abordagem da gestão de água também é fundamental em termos de sustentabilidade ambiental e social. Apenas 3% da água disponível no mundo é doce (própria para consumo humano), sendo 2,94% de difícil acesso (congelada ou subterrânea).

Os dados coletados em ambas as comunidades apontam para uma diminuição significativa no consumo de água pelos moradores. 33% de redução na comunidade BedZED, e 30% em OneBrighthon do consumo médio britânico de 150 litros/dia.

4.7 Outros Princípios

Os outros princípios não deixam de ser essenciais na busca pela diminuição da pegada ecológica. Porém são variáveis comportamentais, ou seja, para atingir o desempenho desejado pela Iniciativa há a dependência do processo de conscientização do usuário e morador. Para atingir tal resultado as estratégias construtivas e comportamentais devem estar interligadas, entretanto geram-se benefícios compartilhados, pois funciona-se como uma engrenagem.

Por exemplo, a integração do princípio de Transporte sustentável com o relacionado à Saúde e felicidade resulta no incentivo ao uso de bicicletas e caminhadas como forma de locomoção. Outro exemplo é a associação dos princípios de Alimentação sustentável e local e Equidade e economia local, fomentando a produção e venda de produtos locais, e assim estimula-se a economia da vizinhança. Indo além, a combinação do princípio Zero Carbono com o relacionado à Biodiversidade, e uso da terra gerando resultados positivos na diminuição das consequências relacionadas a mudanças climáticas que afetam a biodiversidade.

O princípio Saúde e Felicidade foram estabelecidos para garantir a busca pelo estilo de vida relacionando-se a um menor impacto ambiental que não compromettesse de forma negativa a qualidade de vida dos moradores e usuários. Moradores mais satisfeitos tendem a se comprometer mais com o projeto proposto pela iniciativa. Os relatórios anuais de ambas as comunidades apontam que dois terços dos moradores foram influenciados pela Iniciativa *One Planet Living* a mudar seu estilo de vida por um mais saudável.

5 COMPARAÇÃO DO INDICATIVO SUSTENTÁVEL: PEGADA ECOLÓGICA

O indicativo da Pegada Ecológica é usado como ponto de referência e comparação de desempenho sustentável entre as comunidades.

O Reino Unido apresenta uma pegada ecológica referente a 3 planetas, ou seja, se todos os 7,2 bilhões de habitantes do mundo tivessem o mesmo estilo de vida, que os ingleses, seria necessário 3 planetas para suprir a necessidade de demanda de bens, energia, água e alimentação.

O gráfico ilustra o consumo de recursos utilizados em ambas as comunidades e no Reino Unido em termos de números de planetas necessários para suportar o estilo de vida e consumo de recursos.

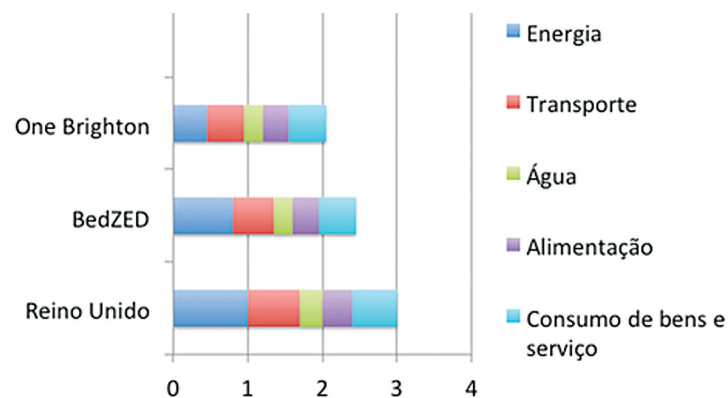


FIGURA 1 • Pegada Ecológica em termos de quantidade de recursos utilizados, traduzidos em quantidade de planetas necessários para suprir tal demanda de recursos (TWINN, 2003)

As principais variáveis para a sobrevivência na sociedade atual foram listadas no gráfico, cada uma delas relacionada a uma quantidade de recursos a serem extraídos do planeta, que por sua vez está relacionada à utilização de uma parcela da área do planeta.

Já foi visto que a indústria da construção civil é um dos setores de maior pegada ecológica, o que significa que as atividades que a compõem geram grande impacto ambiental e altas taxas de emissão de gases estufa na atmosfera, como exemplo a fabricação do cimento; a quantidade de energia que seu processo construtivo e operacional demanda; as emissões associadas ao transporte de matéria prima e subprodutos; alta geração de resíduos e consumo de água.

Na tentativa de amenizar tal impacto, a Iniciativa *One Planet Living* promove mudanças drásticas no setor construtivo, quando associadas a estratégias comportamentais, e assim geram um resultado positivo.

O gráfico mostra que a comunidade *BedZED* proporciona a seus moradores condições de vivência com 2,5 planetas, o equivalente a 4,25 GH / *per capita*. O levantamento anual demonstrou que moradores dedicados a causa sustentável e adeptos a todos os princípios *One Planet Living* conseguem viver consumindo 2,1 GH, apenas 23% maior que a meta ideal.

Já a comunidade *One Brighton*, através de melhorias e aprendizados, apresenta um desempenho médio relativo calculado em 2,1 planetas, ou 3,57 GH / *per capita*. Pode-se ser reduzido através de melhorias construtivas que ofereçam maior eficiência e desempenho sustentável e depende-se do comprometimento dos moradores com o estilo de vida proposto.

A meta desejada da iniciativa é que as comunidades atinjam o ideal da sustentabilidade até 2020, onde as pessoas possam viver, trabalhar, e suprir as suas necessidades de acordo com os recursos disponíveis sem que as próximas gerações sejam comprometidas. Para tal os relatórios anuais são cruciais para detectar oportunidades de melhoria no modelo construtivo, para o atendimento de demandas que não foram previstas no projeto, e para focar no desenvolvimento de novas tecnologias que permitam a diminuição sucessiva da pegada ecológica do empreendimento até o valor anual ideal de 1,8 GH/pessoa.

Além disso, associado ao esforço técnico é importante que o processo de conscientização seja intensificado dentro das comunidades, nas proximidades e em

todos os setores envolvidos. Medidas comportamentais são igualmente cruciais para a diminuição da pegada ecológica, e ainda não há tecnologia disponível para que essas sejam substituídas.

5.1 Limitações do modelo

Uma das limitações do indicativo sustentável é que o cálculo da Pegada Ecológica concentra-se apenas na dimensão ecológica, e avança pouco nas análises das dimensões sociais e econômicas (era de se esperar que um indicativo sustentável compreendesse todos os pilares associados à sustentabilidade).

A dificuldade associada ao levantamento de dados que permite-se a análise profunda da questão e cálculo preciso da pegada ecológica, também representam uma limitação.

O cálculo da pegada ecológica, em termos de planetas e hectares globais, também foi cálculo pela BioRegional e tem como objetivo ilustrar a questão. É importante esclarecer que a autora não teve acesso aos dados que conduziram ao resultado explicitado.

Apesar disso, o indicador escolhido para a análise comparativa é o que apresenta maior campo de aplicação no mundo até o momento pelo fato de sua aplicação ser viável em esferas locais (como é o caso), individuais, nacionais, continentais e global.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados calculados a partir da Pegada Ecológica indicaram a diminuição do impacto ambiental relacionado ao menor consumo de recursos. A comunidade *One Brighton* obteve uma performance mais favorável, devido a inserção de tecnologias e estratégias condizentes com o avanço científico da área nos últimos anos. Além disso, a organização e planejamento prévio de todas as etapas construtivas, operacionais e desconstrutivas permitiram o estudo de todas as variáveis que pudessem interferir negativamente ao longo do processo. Outro fator de suma importância para o melhor desempenho da comunidade certificada foi o maior comprometimento dos usuários e moradores. Durante o estudo e análise de ambas as comunidades, foi identificado

que sem uma mudança essencialmente comportamental dos moradores a meta de viver de acordo com a porção sustentável do planeta não ira se concretizar.

Diante do que foi apresentado, pode-se concluir que o presente trabalho, além de cumprir os objetivos propostos inicialmente, pôde apresentar uma contribuição ao estudo de sustentabilidade na construção e no desenvolvimento de outras construções que tenham por objetivo a diminuição da pegada ecológica em caráter construtivo e comportamental.

Uma sugestão para trabalhos futuros é o acompanhamento evolutivo das comunidades sustentáveis aqui citadas, verifica-se o cumprimento das metas anuais propostas para que em 2020, o objetivo de proporcionar a vivência com os recursos de um só planeta seja alcançado integralmente nessas comunidades.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLEN, H. M. (2007). **Indicadores de Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora FGV.

BIOREGIONAL DEVELOPMENT GROUP. (2014). *The Environmental Challenge*. Acesso em 17 de Setembro de 2014, disponível em One Planet Living Communities: <http://www.oneplanetcommunities.org/about-2/approach/the-environmental-challenge/>

FREITAS, M. (2007). **Mudanças climáticas e o papel das cidades nas políticas públicas**. Acesso em 15 de Setembro de 2014, disponível em Carbono Brasil: <http://www.carbonobrasil.com/simplenews.htm?id=180615>

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. (2014). *Country Trends*. Acesso em 07 de Outubro de 2014, disponível em Global Footprint Network: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/trends/brazil/>

MOURA, M. D., & MATA, A. L. (2013). O fator energia na Construção Civil. **IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão**.

SACHS, J. (2014). *The Age of Sustainable Development*. New York: Columbia University Press.

TWINN, C. (2003). *BedZED*. Acesso em 2 de Dezembro de 2014, disponível em *Energy Cities*: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/bedzed_arup.pdf

WACKERNAGER, M., & REES, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on Earth*. Gabriola Island: New Society Publishers.

WWF. (2014). **Pegada Brasileira**. Acesso em 07 de Outubro de 2014, disponível em WWF: http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/pegada_brasileira/



OS 10 MELHORES
DA MACKENZIE



PRÊMIO OAS/MACKENZIE
INOVAÇÃO, PRODUTIVIDADE
E EMPREENDEDORISMO
NA ENGENHARIA CIVIL



Universidade Presbiteriana
Mackenzie

OS 10 MELHORES DA MACKENZIE

1º Concreto de pós reativos e coeficiente

Amanda Cristina Beneton, André Barbosa Cintra, Lucas Antônio dos Anjos Carvalho, Miguel Roldan Antunes, Simão Prizskulnik

3º Produção mais limpa: ciclo de vida do EPS no sistema monolítico

Aline D. Scarassati, Ariana P. S. Lima, Laruma C. F. Ramalho, Paula J. Marques, Gisela Hernandez Gomes

5º Impactos causados pelas obras de construção civil: Monotrilho linha 17-ouro

Caroline Baião dos Reis, Clara Ribeiro da Luz Gerola, Thaís Steiger Dominguez, Pedro Silveira Gonçalves Neto

7º Comportamento dos solos moles diante de aterros e técnicas de estabilização de recalques

Aline A. Guerra, Marina C. S. Campos, Patricia M. P. de Oliveira, Thiago C. Bosco, Pedro Silveira Gonçalves Neto

9º Concreto com fibra de aço

Adriano José de Santana, Fernanda de Carvalho Pereira, Rafael Mascarenhas de Araújo, Vanessa Baptistella, Simão Prizskulnik

2º Desafios técnicos e econômicos para implantação de sistemas de aquecimento de água por energia solar em novos edifícios residenciais na cidade de São Paulo

Bruna Duarte de Freitas, Fernando Ogando dos Santos, Paulo Salim Assi, Raphael Ribeiro de Mattos Perissinotto, Magda Aparecida Salgueiro Duro

4º Produtividade com o uso do concreto auto adensável

Antônio Cesar Pestana Pavan, Guilherme de Oliveira Gonçalves, Victor Sanches Tobo, Eduardo Ioshimoto

6º Concreto reforçado com fibras de aço: determinação de teores ótimos de fibras de aço

Claudio de Campos Pereira Junior, Alfonso Pappalardo Junior

8º Padronização de componentes visando a minimização de custos e prazos

Giselle Gomes Silva, Jacqueline Prado Caverzan Hunter, Marina Spadoni Mahfuz, Raquel de Souza Arruda, Stella Sokolovskes Oliveira, Raquel Cymrot

10º Reciclagem e gestão de resíduos da construção civil

Gabriela de Souza Santos, Leticia S. Prado, Leonardo Augusto Chaves Frohlich Almeida, Magda Aparecida Salgueiro Duro

CONCRETO DE PÓS REATIVOS E COEFICIENTE

Amanda Cristina Beneton ¹

André Barbosa Cintra ²

Lucas Antônio dos Anjos Carvalho ³

Miguel Roldan Antunes ⁴

Simão Priskulnik ⁵

Resumo

“ Neste trabalho foram estudados traços de concretos de pós reativos com baixo teor de aglomerantes, misturados e curados de forma convencional, de modo a viabilizar a diminuição do consumo de cimento e a otimização do fator rendimento, em resistência à compressão por unidade de massa de material cimentício. Principalmente, trata-se da produção simplificada deste concreto de Ultra Alto Desempenho para aplicação em projetos de diferentes finalidades.”

Palavras-chave » Concreto de pós reativos. Ultra alta resistência e Ecoeficiente.

¹ E-mail: amandabeneton12@gmail.com.

² E-mail: andrebcintra@hotmail.com.

³ E-mail: lucasaac@hotmail.com.

⁴ E-mail: miguel_rantunes@hotmail.com.

⁵ E-mail: sprisz@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A busca constante por soluções inovadoras envolvendo materiais de construção é estimulada pelo mercado, visando melhorias relacionadas a desempenho, custos e prazos de execução. Muito tem-se pesquisado, na área de tecnologia do concreto, e nos últimos anos, surgiram novas soluções que foram disponibilizadas às construtoras, de forma a atender demandas específicas de resistência, tempo de cura e de forma, trabalhabilidade e de durabilidade. A evolução desses aspectos permitiu uma modificação na forma como são concebidos os projetos de estruturas de concreto, de pequeno, ou grande porte, melhorando a qualidade e atuação nos nichos de mercado. Segundo Helene, Isaia e Tutikian (2011), o Concreto de Pós Reativos (CPR) é derivado de pesquisas realizadas na França em meados de 1990, por *Pierre Richards*, ex-diretor científico da empresa francesa *Bouygues* e considerado o inventor desse tipo de concreto, a partir do estudo de concretos de alto desempenho. Os princípios da produção deste concreto especial estão listados a seguir, conforme exposto por *Richards* e *Cheyrezy* (1995 apud ALLENA; NEWTON, 2010):

- Adição de fibras metálicas para aumento da ductilidade;
- Aplicação de pressão na etapa de endurecimento, para melhor compactação;
- Otimização da estrutura granular, visando aumento da compacidade;
- Remoção do agregado graúdo, melhorando sua homogeneidade;
- Tratamento térmico, melhorando a resistência da microestrutura;
- Uso de sílica ativa para potencializar as reações pozolânicas.

No âmbito dos concretos de última geração, o CPR figura como o maior representante dos concretos de ultra alto desempenho (CUAD), exibe-se propriedades mecânicas intermediárias entre os concretos de alto desempenho (CAD), e as estruturas metálicas (DAURIAC, 1997 apud FÁVERO; TUTIKIAN, 2013), e conforme exposto na Tabela 1.

PROPRIEDADE MECÂNICA	CAD	CPR
Resistência à compressão (MPa)	60-100	140-200
Resistência à tração na flexão (MPa)	06-10	30-50
Energia de fratura (J/m ²)	140	1200-40000
Módulo de Young (GPa)	23-37	40-70

TABELA 1 • Concreto de Pós Reativos versus Concreto de Alto Desempenho.

FONTE: adaptado de LEE; CHISHOLM, 2005.

As propriedades mecânicas citadas na Tabela 1 viabilizam ao CPR grande redução de seções transversais nos projetos (Figura 1) e, segundo (REPETTE, 2005), até a eventual retirada de armaduras passivas, devido à incorporação de fibras. Isto coloca o CPR como, uma alternativa para projetos de baixo impacto ambiental, seguindo o conceito preconizado por Helene¹, afirmando que concretos mais resistentes são mais econômicos e sustentáveis.

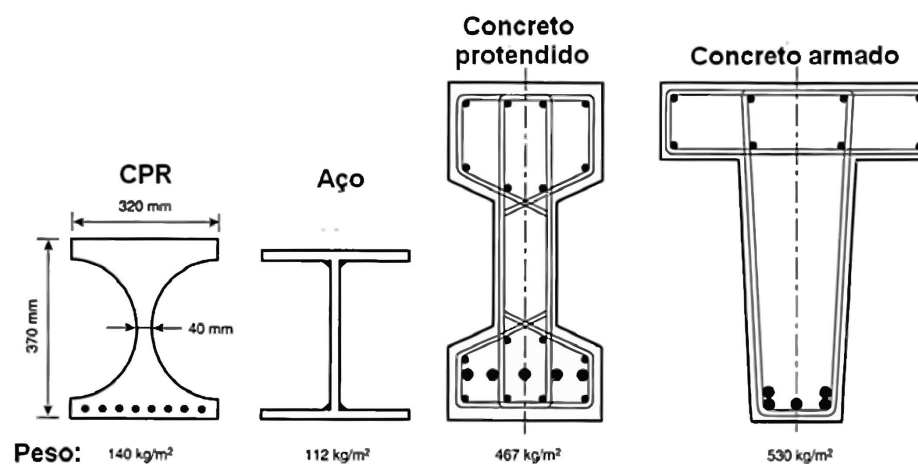


FIGURA 1 • Seções de vigas de CPR e outros materiais para mesmo carregamento.

FONTE: (WALRAVEN, 2000 apud HELENE; ISAIA; TUTIKIAN, 2011).

¹ Conceito apresentado pelo Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene durante o Curso Master PEC de Sustentabilidade na Construção Civil, oferecido pelo IBRACON e SINDUSCON – SP, em 09 de setembro de 2013.

Outro ponto importante, relacionado à economia de recursos naturais é o baixo consumo de água característico dos CPR. Segundo Vanderlei (2004), a relação água/cimento (a/c) típica para o CPR gira em torno de 0,15, valor muito abaixo das quantidades utilizadas em obras correntes. Assim, o desempenho do CPR só se torna possível devido, ao uso de aditivos superplastificantes, e através de uma granulometria ajustada, garante-se a trabalhabilidade necessária para adequada mistura e moldagem.

Como tecnologia emergente, o CPR é muito versátil e, devido a sua alta resistência (comumente em torno de 150 MPa), durabilidade e resistência à abrasão, pode-se ser utilizado em projetos de diferentes finalidades, conforme exposto por (TANG, 2004), (BEHLOUL; ACKER, 2004), (GRAYBEAL; RUSSELL, 2013), e ilustrado nas Figuras 2, 3 e 4:

- Estruturas para fins militares ou de proteção contra radiação;
- Infraestrutura (pontes, passarelas, e pavimentos de concreto);
- Saneamento (tubulações de esgoto e revestimento de vertedouros);
- Obras portuárias (proteção de encostas ou elementos estruturais);
- Painéis ou revestimento de fachadas, novas ou recuperadas (*retrofit*);
- Reparo e reforço de estruturas de concreto;
- Móveis e outras peças de concepções arquitetônicas complexas.



FIGURA 2 • Ponto de ônibus feitos com chapa de CPR em Shawnessy, Canadá.

FONTE: BEHLOUL; ACKER, 2004.

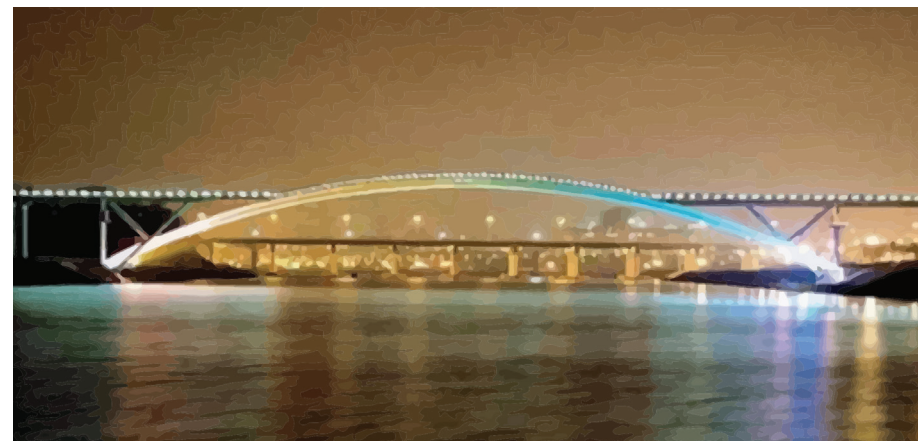


FIGURA 3 • Passarela de Seonyu na Coréia do Sul.

FONTE: HELENE; ISAIA; TUTIKIAN, 2011.



FIGURA 4 • Aplicação de painéis pré-moldados no estádio Jean Bouin na França.

FONTE: LAFARGE, 2014.

Apesar da existência de diversos protótipos e obras em CPR aplicado em outros países, para (HELENE; ISAIA e TUTIKIAN, 2011), o CPR ainda é uma tecnologia inacessível à maioria das empresas, devido às técnicas envolvendo cura do material com grandes

pressões e elevadas temperaturas. Estes processos podem ser desenvolvidos pela emergente indústria brasileira de pré-fabricados ou, na ausência de recursos industrializados, através de mudanças no padrão de produção deste concreto.

Diante de todo cenário exposto, este trabalho busca estudar a dosagem de um CPR modificado, resistente e sustentável, diminuindo as emissões de carbono relacionadas ao elevado consumo de cimento (em torno de 1000 kg/m^3), e sem a utilização de processos de compactação e cura térmica, com vistas a cumprir com a ousada missão de possibilitar a quebra de barreiras do uso deste material versátil, de modo a popularizá-lo no meio técnico nacional.

2 ESTUDO EXPERIMENTAL – MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo de dosagem experimental, tomaram-se como referência requisitos normativos nacionais para a formulação dos traços ecoeficientes, realizando as adaptações necessárias devido à ausência de agregados graúdos e excesso de finos.

Embora a literatura registre o uso de fibras metálicas para certos projetos, o presente estudo dispensou a sua incorporação ao concreto. Assim, para as propriedades analisadas, o CPR ecoeficiente foi ensaiado conforme normalização brasileira e comparado com estudos de outros autores que ensaiaram CPRs sob as mesmas condições (cilindros de dimensões 5 cm de diâmetro, por 10 cm de altura e sem fibras), assim proposto por (VANDERLEI; GIONGO, 2006) e (REGINATO; PIOVESAN, 2012).

2.1 Materiais utilizados

Para a dosagem dos CPRs ecoeficientes, dentre os aglomerantes, foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI) com massa específica de 3100 kg/m^3 , em conjunto com sílica ativa, de massa específica 2200 kg/m^3 . A areia normal brasileira de origem quartzosa empregada (retida entre as peneiras ABNT nº 100 e ABNT nº 16) apresentou massa específica entre 2604 e 2650 kg/m^3 . Também foi empregado pó de quartzo como *filler*, de massa específica de 2650 kg/m^3 .

Além disso, foram investigados aditivos superplastificantes de base Policarboxilato, de forma a identificar o produto de maior compatibilidade com os outros materiais utilizados.

2.2 Empacotamento das partículas

O empacotamento das partículas dos materiais secos, inicialmente, foi estimado com o auxílio do programa computacional EMMA (*Elkem Materials Mixture Analyzer*), devido à ineficiência dos métodos convencionais de estimativa (massa unitária compactada) para concretos com alto teor de finos. Com esta ferramenta, pôde-se estimar uma proporção entre os agregados a ser utilizada nos traços de CPR, e ajustá-la durante a dosagem conforme demanda de água, e trabalhabilidade obtidas no estado fresco. A Figura 5 apresenta, a curva de distribuição teórica (ideal para aumento da compactidade e diminuição da demanda de água), e a curva real (obtida através da combinação da distribuição dos agregados componentes).

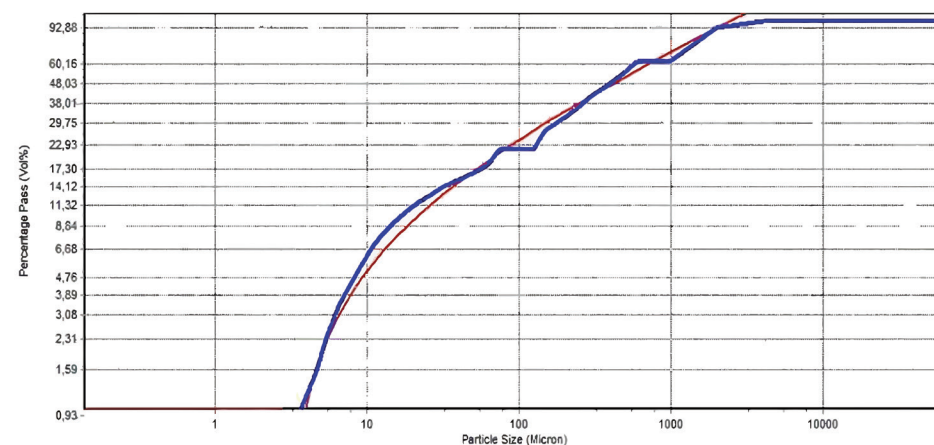


FIGURA 5 • Curvas real (em azul) e teórica (em vermelho) dos materiais secos para estimativa virtual do proporcionamento ideal do CPR, com auxílio do *software* EMMA.

FONTE: ELKEM AS, 2012.

2.3 Testes de compatibilidade de aditivo

O aditivo utilizado nos CPRs deve ser escolhido de forma a garantir a melhor compatibilidade com os materiais utilizados, levando a maiores resistências e boa consistência. Foi utilizado o método de “mini slump”, sugerido por (KANTRO, 1980 apud RAMACHANDRAN; BEAUDOIN, 2001), no qual foi utilizado um traço constante em massa com elevado teor de finos, de proporção 1 : 2,1 : 0,9 : 0,45 [cimento : areia : pó de quartzo : água], e teor fixo de 1,5% de superplastificante sobre a massa de cimento.

Conforme a Tabela 2, o aditivo que gerou melhor consistência, e resistência aos 7 dias de idade foi o tipo B, que foi empregado para as dosagens experimentais.

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA NA MESA DE FLUIDEZ (ASTM C1437:2013) – (MM)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS (ABNT NBR 5739:2009) – (MPA)
Tipo A	Zero	30,6
Tipo B	266	45,7
Tipo C	144	37,4
Tipo D	257	44,6

TABELA 2 • Ensaio de compatibilidade de aditivos.

FONTE: elaborado pelos autores.

2.4 Dosagem de concreto ecoeficiente

Visando aplicabilidade em diversos projetos, o CPR foi dosado de forma a atender a classe de agressividade ambiental IV (em ambiente industrial ou sujeita a respingos de maré) da ABNT NBR 6118:2014, que especifica relação água/aglomerantes (a/agl) máxima de 0,45, e consumo mínimo de 360 kg/m³ de aglomerantes. A proporção entre os materiais secos restantes foi estimada via programa computacional e, por fim, foram feitas várias dosagens, ajustando a quantidade de água e aditivos necessária para boa consistência do CPR, levando a seleção de dois traços, designados por TGI A e TGI B, e dispostos na Tabela 3.

TRAÇO MATERIAL	TGI A QUANTIDADE (kg/m³)	TGI B QUANTIDADE (kg/m³)
Cimento	321	321
Silica ativa	48	48
Superplastificante	15	22
Pó de Quartzo	353	368
Areia Quartzosa	1482	1545
Água	166	129

TABELA 3 • Traços propostos de CPR ecoeficiente.

FONTE: elaborado pelos autores.

2.5 Mistura, moldagem e cura de CPR

Os processos utilizados para a mistura, moldagem e cura dos corpos de prova utilizados para os ensaios de resistência e durabilidade foram baseados na ABNT NBR 5738:2008, para concretos convencionais, de forma a avaliar o desempenho do CPR ecoeficiente, sem a utilização de técnicas de compactação e cura térmica.

Utilizando uma argamassadeira estacionária de eixo vertical, foi realizada a mistura mecânica de todos os materiais secos em velocidade baixa (140 ± 5 rpm), até que se obtivesse uma mistura homogênea. Após este processo, adicionou-se a água e o aditivo de forma gradativa, até se obter uma mistura com aspecto plástico ainda em velocidade baixa. Após esta fase, foi aumentada a velocidade da mistura (285 ± 10 rpm) por 5 minutos.

Para a moldagem, as fôrmas foram revestidas internamente com desmoldante, em quantidade suficiente para possibilitar a desforma dos corpos de prova (CPs) sem danos aos mesmos, principalmente as bolhas superficiais. A moldagem dos CPs ocorreu imediatamente, após o término da mistura e a colocação do concreto nas fôrmas foi realizada em velocidade constante, e ininterruptamente, devido à grande fluidez obtida. Após o término do preenchimento das fôrmas e extravasamento, retirou-se o excesso de massa dos topos.

Para o processo de cura, logo após a moldagem dos CPs, estes foram colocados em câmara úmida à temperatura de 23°C ± 2°C. Sua desforma foi realizada após dois dias,

para posterior recolocação na câmara úmida (ressalta-se que, o tempo de fim de pega foi retardado devido à grande quantidade de aditivos superplastificantes).

2.6 Ensaio de resistência à compressão axial

A determinação da resistência à compressão axial obedeceu a norma brasileira ABNT NBR 5739:2009. Os corpos de prova de cada traço de CPR (TGI A e TGI B) foram armazenados em câmara úmida até, a respectiva data de ensaio, para as idades de 7 dias, 28 dias e 63 dias.

Antes da ruptura, fez-se a medição do diâmetro e da altura de cada corpo de prova, em milímetros, com paquímetro, para obter as respectivas relações altura/diâmetro (h/d). Em seguida, cada corpo de prova foi posicionado na prensa de forma que o centro de aplicação da carga coincidissem com o centro do cilindro. Após a leitura do valor da carga de ruptura, foi considerado o valor da relação dimensional altura/diâmetro que, sendo menor do que 1,94 devem gerar um coeficiente de correção, calculado através de interpolação linear, e que deve multiplicar a carga lida para obtenção da real resistência à compressão do concreto.

2.7 Ensaio de absorção e índice de vazios

Para a obtenção dos valores de índices de vazios e absorção d’água foram utilizados os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 9778:2009. Na realização desse ensaio, foram utilizados CPs com idade de 28 dias curados de forma convencional. Inicialmente, foi realizada a secagem das amostras em estufa e registrada a massa (em gramas) das amostras secas para, posteriormente, proceder-se com a saturação e fervura durante 5 horas, para determinação de sua massa na condição saturada e imersa em água após fervura, com o auxílio de balança digital e balança hidrostática.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios executados nos CPs moldados. As propriedades ensaiadas dos CPRs estudados foram resistência à compressão axial (analisando os concretos sob o âmbito do rendimento, relacionado à da sustentabilidade), absorção e índice de vazios (relacionado à durabilidade dos concretos), de tal modo, que possam ser comparadas com estudos de concretos de ultra alto desempenho semelhantes e disponíveis na literatura.

3.1 Resistência à compressão e rendimento

A Tabela 4 apresenta, os resultados de resistência à compressão para os traços ensaiados. Foi analisada a resistência à compressão obtida em concretos com consumo de cimento de 321 kg de cimento e 369 kg de aglomerantes, atendendo a requisitos da ABNT NBR 6118:2014, para ambientes muito agressivos. Desta forma, através de ensaios normalizados, os CPRs estudados apresentaram, aos 28 dias, resistências acima de 90MPa no caso do traço TGI A, e acima de 100 MPa, no caso do traço TGI B.

	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)		
	7 DIAS	28 DIAS	63 DIAS
TGI A	57,8	82,8	107,4
	59,2	91,8	107,6
TGI B	66,0	104,6	143,9
	66,4	108,8	141,4

TABELA 4 • Resistência à compressão de CPRs ecoeficientes para diferentes idades.

FONTE: elaborado pelos autores.

A Figura 6 evidencia, o desempenho mecânico obtido com os CPRs ecoeficientes, em que foi possível notar um retardamento no crescimento da resistência do traço TGI B, apresentando uma taxa de crescimento de 32% de 7 dias, para 28 dias de idade. Este traço obteve maiores resistências à compressão em curto e em longo prazo, sendo importante ressaltar que, o menor consumo de água e a maior dosagem de aditivo superplastificante utilizada podem ter contribuído para justificar tal comportamento.

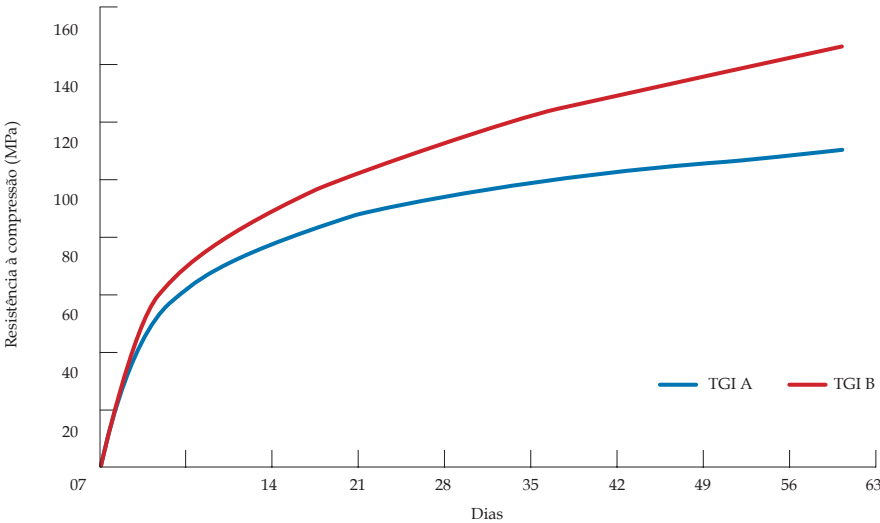


FIGURA 6 • Crescimento da resistência à compressão de CPR ecoeficiente.

FONTE: elaborado pelos autores.

A Tabela 5 apresenta a resistência à compressão do CPR ecoeficiente comparada a valores de pesquisas recentes realizadas sob as mesmas condições. Assim, foram computados valores de CPs cilíndricos moldados sem fibras, e com dimensões de 5 cm x 10 cm. Pôde-se avaliar comparativamente a eficiência dos métodos utilizados para otimização da matriz cimentícia dos CPRs, que permitiram a elaboração de traços com resistências à compressão acima de 140 MPa aos 63 dias de idade. Numa análise aos 28 dias, os traços propostos mostraram altas resistências, mas inferiores aos valores de referência, sendo atribuída tal diferença à ausência de cura térmica e ao conteúdo reduzido de ligantes no concreto.

	CPR	CURA TÉRMICA	7 DIAS	28 DIAS	63 DIAS
1	Reginato e Piovesan (2012)	Sim	173,5	182,7	-
2	Reginato e Piovesan (2012)	Não	112,9	136,5	-
3	Vanderlei e Giongo (2006)	Sim	178,0	183,0	-
4	Vanderlei e Giongo (2006)	Não	105,0	165,0	-
5	TGI A	Não	59,2	91,8	107,6
6	TGI B	Não	66,4	108,8	143,9

TABELA 5 • Resistência à compressão de CPRs sem fibras (valores em MPa).

FONTE: elaborado pelos autores.

Para estes mesmos concretos, de modo a estudar vantagens em termos ambientais e econômicos obtidas com o CPR adaptado, são analisados na Tabela 6, e na Figura 7 os rendimentos (relativos ao consumo de cimento) dos concretos propostos, e dos estudos de outros autores, todos ensaiados aos 28 dias de idade e sem fibras. Com um consumo de cimento de 321 kg por m³, os CPRs ecoeficientes apresentaram rendimentos de até 0,339 MPa por quilo de cimento, e mostraram-se superiores aos rendimentos de todos os concretos de referência (com e sem cura térmica). Tal diferença deve-se, em parte, à aplicação do adequado empacotamento de partículas, em conjunto com o uso do aditivo superplastificante compatível com o cimento e materiais secos empregados.

	CPR	Ccim/m³	MPa/Ccim * 100 (28 DIAS)	MPa/Ccim * 100 (63 DIAS)
1	Reginato e Piovesan (2012)	808	22,6	-
2	Reginato e Piovesan (2012)	808	16,9	-
3	Vanderlei e Giongo (2006)	874	20,9	-
4	Vanderlei e Giongo (2006)	874	18,9	-
5	TGI A	321	28,6	33,5
6	TGI B	321	33,9	44,8

TABELA 6 • Comparativo de rendimento de CPRs relativo ao consumo de cimento.

FONTE: elaborado pelos autores.

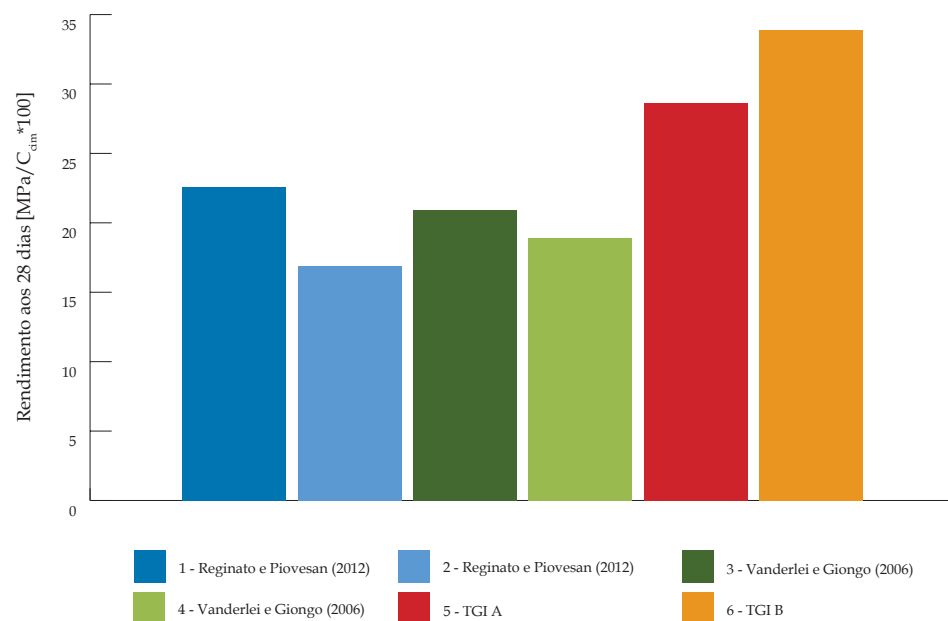


FIGURA 7 • Comparativo de rendimento de CPRs em relação ao consumo de cimento.

FONTE: elaborado pelos autores.

É importante destacar também que, ainda que a comparação de rendimentos em idades posteriores não tenha sido possível pela ausência de resultados de outros autores, a resistência à compressão e o rendimento dos CPRs ecoeficientes continuaram aumentando com o tempo, conforme a Figura 8, sendo este um comportamento favorável à sustentabilidade. Com maior resistência adquirida após dois meses, o CPR proposto apresenta potencial ainda maior, para redução de sessões transversais, emissões de gases, e também de energia para produção.



FIGURA 8 • Rendimento dos CPRs propostos em relação ao consumo de cimento.

FONTE: elaborado pelos autores.

3.2 Absorção e índice de vazios

Através dos ensaios realizados de acordo com ABNT NBR 9778:2009, foram analisadas propriedades pertinentes à durabilidade do concreto no estado endurecido, incluindo o índice de vazios e a absorção de água. Seus valores permitiram classificar a qualidade do concreto através de índices de durabilidade disponíveis na literatura.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para absorção, índices de vazios e massa específica de amostras após imersão e fervura dos CPRs ecoeficientes propostos. Os traços TGI A e TGI B apresentaram absorção de 1,0% e 0,6%, respectivamente, e índice de vazios de 2,6% e 1,5%, respectivamente.

TRAÇO ESTUDADO	Nº DO CP	ABSORÇÃO [%]	ÍNDICE DE VAZIOS [%]
TGI A	CP 24	0,945	2,414
	CP 29	1,130	2,831
Média TGI A		1,037	2,623
TGI B	CP 35	0,583	1,458
	CP 40	0,596	1,500
	CP 33	0,635	1,597
Média TGI B		0,605	1,518

TABELA 7 • Resultados de absorção e índices de vazios(ABNT NBR 9778:2009).

FONTE: elaborado pelos autores.

Foi observado que o traço TGI B, com relação a/agl de 0,35, obteve matriz cimentícia mais compacta e com menor volume de poros permeáveis que o traço TGI A, com relação a/agl de 0,45 (sendo este o limite especificado pela ABNT NBR 6118:2014 para classe de maior agressividade ambiental). Através dos ensaios realizados, notou-se que ambos os concretos ecoeficientes superaram requisitos de durabilidade, para concretos de boa qualidade disponíveis na literatura. Em termos de absorção,(KOSMATKA; KERKHOFF e PANARESE, 2003) recomendam absorção entre 2% e 5% para concretos de alto desempenho, enquanto (WHITING; NAGI, 1998) indicam um índice de vazios próximo de 6% , para concretos em ambientes muito agressivos.

4 CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos estabelecidos para este trabalho, foi possível recomendar composições de concretos de pós reativos, com baixo consumo de aglomerantes e com métodos de cura convencionais. Através do método proposto, foram atingidas

resistências à compressão acima de 100 MPa aos 28 dias, e acima de 140 MPa aos 63 dias de idade.

A dosagem dos CPRs ecoeficientes foi baseada em requisitos mínimos normativos brasileiros em conjunto a ensaios de compatibilidade de aditivos e empacotamento de partículas via programa computacional. As ferramentas utilizadas neste trabalho permitiram a obtenção de concretos adaptados, com 321 kg/m³ de cimento (369 kg/m³ de aglomerantes), e com rendimentos muito superiores aos de CPRs disponíveis na literatura. Este desempenho pode vir a dispensar o uso de compactação, e cura térmica para algumas aplicações deste concreto, tanto *in loco* como em indústrias de pré-fabricados. Entretanto, ressalta-se que o controle tecnológico do concreto, a racionalização, e o monitoramento dos processos de produção devem ser incentivados.

Além disso, foram investigadas características relacionadas à durabilidade, sendo que os concretos atenderam satisfatoriamente aos requisitos normativos brasileiros e recomendações internacionais sobre quantidade mínima de cimento por m³, absorção de água, e índice de vazios, o que pode vir a contribuir futuramente para aplicações específicas em obras em ambientes agressivos ou projetadas para longa vida útil.

Considerando suas altas resistências, sua variabilidade para diferentes tipos de materiais, e também o potencial para redução de emissões de carbono, pesquisas futuras devem abordar as diferentes propriedades mecânicas dos CPRs, estudos de dosagem com grandes misturadores, a influência de diferentes tipos de fibras, e também métodos de ensaio e de controle tecnológico.

Sendo um concreto de última geração, este pode ser uma alternativa para inovação, e em projetos arquitetônicos e estruturais mais ousados inclusive no Brasil, fazendo uso do grande desempenho mecânico desse material, que tem potencial para se tornar ainda mais sustentável e influenciar um mercado que, cada dia mais, se organiza em busca da economia de recursos naturais e da otimização de processos produtivos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLENA, Srinivas; NEWTSON, Craig M. *Ultra High Strength Concrete Mixtures Using Local Materials*. Trabalho apresentado no 2010 Concrete Sustainability Conference, Dubai, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 1437: *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. West Conshohocken, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: concreto – **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Emenda 1. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BEHLOUL, M.; ACKER, P. *Ductal® Technology: a Large Spectrum of Properties, a Wide Range of Applications*. Trabalho publicado no International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Kassel, Alemanha, set. 2004. Cap.1 p. 11.

ELKEM AS. *Material Mix Analyzer (EMMA)*. Elkem AS, 2012.

FÁVERO, Rafael B.; TUTIKIAN, Bernardo F. **Contribuição para o estudo de Concreto de Pós Reativos com aplicação de diferentes níveis de pressão confinante no estado fresco**. Engenharia Civil. Braga, 2013. n. 45. p. 37-49.

GRAYBEAL, B.; RUSSELL, H. *Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community*. N. FHWA-HRT-13-060, McLean, 2013.

HELENE, P; ISAIA, G. C; TUTIKIAN, B. F. Concreto de Alto e Ultra Alto Desempenho. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, Cap 36, 2011.

KOSMATKA, Steven H.; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C. High-Performance Concrete. In: *Design and Control of Concrete Mixtures*, EB001, 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2003.

LAFARGE. **Aplicação de painéis pré-moldados no estádio Jean Bouin na França**. Disponível em: http://www.ductal.com/wps/portal/ductal/3_6_1-Detail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connectlib_ductal/Site_ductal/AllKeyProject/KeyProjectDuctal%2520Page_1385395657489/Content%2520KeyProjectDuctal Acesso em 01 out 2014.

LEE, N. P.; CHISHOLM, D. H. *Reactive Powder Concrete*. Study Report SR 146. Judgeford: BRANZ, 2005.

RAMACHANDRAN, V.S.; BEAUDOIN, James J. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology: Principles, Techniques and Applications*. Building Materials Series. 2001.

REGINATO, Lucas Alexandre; PIOVESAN, Angela Zamboni. **Emprego do modelo teórico de empacotamento de partículas para dosagens de concreto de pós reativos e análise das propriedades mecânicas**. 2012. Trabalho apresentado ao SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS, Fortaleza, 2012.

REPETTE, W. L. Concretos de Última Geração: Presente e Futuro. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, Cap 49, 2005.

TANG, M. C. *High Performance Concrete: Past, Present and Future*. Trabalho publicado no *International Symposium on Ultra High Performance Concrete*. Kassel, Alemanha, set. 2004. Cap.1 p. 3.

VANDERLEI, Romel D. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2004. 168 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Estruturas) -Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

VANDERLEI, Romel D.; GIONGO, José S. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 8, n. 33, p. 115-148, 2006.

WHITING, D. A; NAGI, M. A. *Manual on Control of Air Content in Concrete*. EB116. *National Ready Mixed Concrete Association and Portland Cement Association*. 1998.

DESAFIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR: NOVOS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Bruna Duarte de Freitas ¹

Fernando Ogando dos Santos ²

Paulo Salim Assi ³

Raphael Ribeiro de Mattos Perissinotto ⁴

Magda Aparecida Salgueiro Duro ⁵

Resumo

“O uso de energia elétrica, ou gás natural com o aquecimento de água em edifícios sempre foi muito elevado. Para reduzir este índice a prefeitura de São Paulo criou a Lei nº 14.459 de 3 de Julho de 2007, obrigando novos edifícios a implantarem o Sistema de Aquecimento Solar (SAS). Este artigo analisa a viabilidade da instalação do sistema nos edifícios da cidade. Com dois estudos de caso, foi possível constatar a eficiência da Lei, calcular os custos de implantação do Sistema de Aquecimento Solar e o tempo de retorno do dinheiro investido, estimar a economia de energia gerada pela sua utilização, e apontar os benefícios gerados ao meio ambiente em comparação aos sistemas mais usuais. Porém, sua instalação tem ressalvas técnicas e econômicas a serem consideradas. Foi possível observar, ao fim do trabalho, os benefícios gerados pela implantação do Sistema de Aquecimento Solar (SAS).”

Palavras-chave » Sistema de Aquecimento Solar. SAS. Energia Solar. Aquecimento de Água.

¹ E-mail: brunafreitas@ig.com.br.

² E-mail: feogando@gmail.com.

³ E-mail: paulo_assi@hotmail.com.

⁴ E-mail: r_perissinotto@hotmail.com.

⁵ E-mail: magdad@mackenzie.br.

1 INTRODUÇÃO

A atual situação climática mundial tem oportunizado o uso, cada vez maior, de fontes renováveis de energia. A energia solar, abundante e limpa, tem sido vista como uma aliada para o desenvolvimento sustentável. Diversos setores da sociedade têm ampliado seu uso, o setor da construção civil também. Em busca de edificações sustentáveis, novas tecnologias têm possibilitado inovações que incluem, por exemplo, novos sistemas de aquecimento de água por meio da energia solar direta.

Para incentivar o uso do potencial da energia solar no Brasil, o governo Federal, Estadual e Municipal tem criado diversas leis e incentivos. Mais de oitenta projetos de lei, sobre o uso do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) tinham sido apresentados até 2009 (SOARES; RODRIGUES, 2010). No município de São Paulo, foi aprovada a Lei nº 14.459 de 3 de Julho de 2007 (SÃO PAULO, SP, 2007, p.1), que obriga novas edificações, a possuir sistema de aquecimento solar.

O trecho do território nacional brasileiro, localizado entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, possui o privilégio de receber grande insolação durante o ano todo. O potencial de aproveitamento da energia solar no Brasil é grande. A insolação no território equivale a um potencial de 15 trilhões de *Megawatts-hora* (MWh) (SOARES; RODRIGUES, 2010).

De acordo com Pereira et al. (2006), o uso de energia elétrica para aquecimento de água no Brasil corresponde a aproximadamente 25% do total de energia consumida nas residências, na ordem de 20 bilhões de kWh. Além disso, o problema é agravado, pois grande parte dessa quantia de energia é consumida em períodos específicos, como por exemplo, o horário que as pessoas retornam do trabalho para seus lares, gerando sobrecarga no sistema. Enquanto, que a água é aquecida pela energia dos raios solares em apenas 0,6% das residências, com somente 250.000 aquecedores solares instalados no país.

2 AS DISPOSIÇÕES DA LEI 14.459 E DO DECRETO 48.149

A Lei no 14.459 de 3 de Julho de 2007 (SÃO PAULO, 2007, p. 1), estabelece:

Art. 2º É obrigatória a instalação de sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar, nas novas edificações do Município de

São Paulo, destinadas às categorias de uso residencial, e não residencial na conformidade do disposto nesta lei, e no item 9.3.5 da Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações).

Não estão isentas as edificações não residenciais, e de prestação de serviços públicos e privados, tais quais: hotéis, clubes, clínicas de estética, hospitais, escolas, indústrias e lavandeiras. A Lei define que as edificações residenciais (multi ou unifamiliares) com até 3 banheiros (entendido como aposento dotado de vaso sanitário, tendo ou não água quente prevista) deverão executar em seus sistemas de instalações hidráulicas, as prumadas e rede de distribuição, para futura instalação do sistema de aquecimento solar de água (reservatório térmico e placas solares). A Lei especifica, ainda que equipamentos devam ter eficiência comprovada pelo Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e, em seu Artigo 8º (SÃO PAULO, SP, 2007, p.2), que:

[...] Os sistemas de instalações hidráulicas e os equipamentos de aquecimento de água por energia solar de que tratam esta lei deverão ser dimensionados para atender, no mínimo 40% (quarenta por cento) de toda a demanda anual de energia necessária para o aquecimento de água sanitária e água de piscinas, de acordo com a Metodologia de Avaliação da Contribuição Solar estabelecida no Anexo Único integrante desta lei.

O Decreto no 49.148 saiu em 21 de janeiro de 2008, e após a data da publicação foi concedido um prazo de seis meses para todos os projetos obedecerem às determinações legais. “O SAS é composto por coletor solar, reservatório térmico, aquecimento auxiliar, acessórios e interligações hidráulicas, que funcionam por circulação natural ou forçada.” (SÃO PAULO, SP, 2008, p.1). O Decreto no. 49.148 exclui, em seu artigo 12º (SÃO PAULO, SP, 2008, p.3), a imposição da lei quando houver inviabilidade técnica comprovada, quando houver excesso de sombreamento sobre a área coletora e/ou falta de superfície para a colocação dos coletores solares necessários. Esta deverá ser comprovada mediante parecer técnico acompanhado de estudos técnicos conclusivos elaborados por profissional habilitado.

3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O sistema simples, utilizado em residências unifamiliares, é composto por coletores solares (placas) e reservatório térmico (*boiler*). As placas absorvem a energia

proveniente do sol, e a transfere para a tubulação de água, aquecendo a mesma. O *boiler* armazena a água já aquecida para utilização futura.

A água pode circular entre o coletor e o reservatório através de dois sistemas, o natural chamado de termossifão, no qual a água do reservatório, ao esfriar fica mais densa que a água nos coletores, isso faz com que ela, naturalmente, escoe para os coletores, sendo reaquescida. Este ciclo não termina, e com isso é possível reservar água quente sempre. Neste sistema o reservatório deve ser posicionado acima dos coletores solares para que a água não escoe no sentido contrário (SÁLES, 2008). Outro sistema é o forçado, no qual a água é bombeada para o reservatório. A bomba é acionada automaticamente, quando a temperatura da água do boiler estiver abaixo da mínima desejada e desligada, quando a temperatura máxima permitida é atingida (LIMA, 2003).

De acordo com (MIYAZATO, 2012), em alguns casos é necessária à instalação de um sistema auxiliar de aquecimento, a gás ou elétrico, que entrará em ação caso o consumo de água for elevado, e o SAS não consiga suprir a necessidade durante esse período, ou se a insolação não for suficiente por um longo tempo. Esse sistema passa a funcionar automaticamente quando preciso, não sendo necessária uma interferência humana. Nos edifícios multifamiliares os aquecedores auxiliares podem ser coletivos, auxiliando no aquecimento da água do boiler ou individuais, através do aquecimento da água de cada apartamento.

A NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) recomenda que, na ausência de especificações, manual de instalação ou projeto, os coletores devem ser posicionados para o Norte Geográfico, com desvio máximo de 30°. Quanto ao ângulo de inclinação do coletor, deve-se acrescentar 10° à latitude local, que não poderá ser inferior a 15° (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

4 ESTUDO DE CASO

Foram realizados contatos com oito grandes construtoras que atuam na cidade de São Paulo, em busca de edifícios que comprovaram inviabilidade técnica

e isenção da implantação do SAS. Estas informaram que a prefeitura está sendo rigorosa, e que não é possível comprovar a inviabilidade de instalação do SAS. Como não foram encontrados edifícios nesta situação, o estudo de caso foi realizado em dois edifícios com o SAS.

4.1 Edifício A: sistema com aquecedor auxiliar coletivo

O primeiro caso estudado foi o de um novo edifício residencial, que adotou o sistema de aquecimento de água por energia solar (SAS) com aquecedor auxiliar coletivo. Trata-se de uma obra de apartamentos residenciais com vinte e nove unidades padrão, um duplex e uma cobertura triplex. Preveem-se seis banheiros sociais, e um de serviço, totalizando sete banheiros por unidade. O sistema adotado neste edifício foi projetado com 104 placas solares de dois metros quadrados de área cada, classe A, com potência de 165,9 kWh/mês, da marca Solis. Os seis reservatórios de água aquecida, também da marca Solis, comportam juntos 12,5 mil litros.

Dentre os principais desafios apontados pelo engenheiro da obra, destaca-se o pedido do projetista para a construção de uma prumada de cento e dez metros, contínua e livre de fixações para evitar problemas decorrentes do efeito de dilatação térmica. Os engenheiros da obra, porém, julgaram impossível esse projeto, devido à centralização do peso da carga em um único ponto e adotaram a fixação da prumada a cada seis metros com uma junta de expansão especial para absorver os efeitos da ação térmica. Foi necessário contratar uma empresa especializada para realização desta obra, fazer testes em laboratório da resistência das juntas de dilatação, e ainda testes *in loco* em situações extremas de demanda.

O engenheiro da obra afirma que, as vantagens da adoção do sistema de aquecimento de água por energia solar são a economia de energia (elétrica ou de gás) na operação do edifício e a economia de água, porque não se desperdiça tanta água fria até que a água quente chegue ao ponto de consumo, já que a água quente demora menos para chegar, do que nos sistemas convencionais. A desvantagem maior, para ele, é a manutenção mais especializada e mais frequente que o SAS requer, encarecendo também, o custo de operação do edifício. O engenheiro, contudo, afirma-se favorável

à legislação que obriga o uso do SAS, apontando a importância da sua contribuição para a redução do impacto ambiental de geração de energia no Brasil. Percebe-se, porém, pouca aderência das construtoras, que ainda priorizam suas demandas internas e minimização de custos e cumprem apenas a legislação mínima de forma a obter a autorização para a obra. O principal fator é a dificuldade de repassar o custo extra para o preço final ao consumidor.

4.2 Edifício B: sistema com aquecedor auxiliar individual

O segundo caso estudado foi o de um edifício residencial em fase inicial de construção, composto por duas torres de 21 andares cada, e duas unidades por andar totalizando oitenta e quatro unidades. Os apartamentos terão entre quatro e cinco banheiros sociais, e um de serviço. Foi analisado o SAS de apenas uma das torres. O sistema adotado neste edifício foi projetado com 60 placas solares de dois metros quadrados de área cada placa, classe A, com potência de 165,9 KW/mês. Adotou-se o sistema fechado, com aquecimento complementar individualizado, com complemento de aquecedores de passagem a gás, onde existe um termostato que aciona o aquecedor caso a água esteja com temperatura abaixo de 40°C.

Dentre os principais desafios apontados pelo engenheiro da obra, destaca-se a dificuldade de compatibilização dos projetos: elétrico, hidráulico e solar, que não foram feitos pelos mesmos projetistas. Além disso, desconhecem algumas das especificações de equipamentos de outros profissionais que estarão interligados com os seus, dificultando o processo de montagem, instalação e funcionamento do sistema. Outro desafio encontrado foi à execução da automação das bombas de recirculação que entram em trabalho dependendo do acionamento do sistema complementar, ou não. O engenheiro da obra entende que as vantagens da adoção do sistema de aquecimento de água por energia solar são a economia de energia (elétrica ou de gás) na operação do edifício, e a economia de água, porque não se desperdiça tanta água fria até que a água quente chegue ao ponto de consumo, já que a água quente demora menos para chegar do que nos sistemas convencionais.

5 ANÁLISE

A seguir são apresentados os cálculos de demanda de água quente diária, da área coletora necessária, da fração solar, a economia obtida com a instalação do SAS, e o tempo de retorno do investimento.

Foi utilizada a Metodologia de Avaliação da Construção Solar (Fração Solar), segundo o Decreto nº 49.148 de 21 de Janeiro de 2008, o qual se permite o cálculo da fração solar.

“A fração solar é a relação entre a energia gerada pelo sistema de aquecimento solar e a energia total necessária para atender a demanda de água aquecida.” (AVELAR, 2012, p. 6).

Foi utilizado o método F-chart de (DUFFIE; BECKMAN, 1991, apud AVELAR, 2012, p. 6) para efetuar o cálculo da fração solar, por meio das Equações (1), (2), (3) e (4):

$$f = \frac{Q_{SOLAR}}{Q_T} \quad (1)$$

$$X = \frac{A_C F_R U_L (T_{REF} - T_{amb}) \Delta t_{mês}}{Q_T} \quad (2)$$

$$Y = \frac{A_C F_R U_L (\tau_c a_p)_{\theta} H_T N_{mês}}{Q_T} \quad (3)$$

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (4)$$

Sendo:

A_C = área total de coletores solares, em m²;

$F_R U_L$ = produto do fator de remoção e coeficiente global de perdas térmicas do coletor solar, expresso em W/m²°C, obtido através de tabela do INMETRO;

T_{REF} = temperatura de referência, considerada constante e igual a 100°C;

T_{amb} = temperatura ambiente média para o mês em questão, °C;

- $\Delta t_{\text{mês}}$ = duração do mês, em segundos;
- Q_T = demanda total de energia para aquecimento do volume de água (J/mês);
- $F_R(\tau_c \alpha_p)$ = produto do fator de remoção, transmissividade do vidro, e absortividade da tinta dos coletores, para ângulo médio de incidência da radiação direta, expresso em W/m²°C, obtido através de tabela do INMETRO;
- H_T = radiação solar diária média mensal incidente no plano do coletor por unidade de área, em J/m² (1 kWh = 3,6 x 10⁶ J);
- $N_{\text{mês}}$ = número de dias do mês.

A demanda total de energia para aquecimento da água foi calculada através da Equação (5) fundamental da calorimetria:

$$Q=m*c*\Delta\theta \tag{5}$$

- Sendo:
- m = massa de água em litros/dia, pois o peso específico da água é igual a 1.000 kg/m³;
 - c = calor específico da água igual a 4180 J/kg°C e 1 kcal/ kg°C;
 - $\Delta\theta$ = diferença entre a temperatura de armazenamento e a temperatura da água fria na Cidade de São Paulo de acordo com o mês. (°C).

Para o SAS foi considerada uma temperatura de armazenamento de 50°C, pois segundo Vianna (1998 apud LUCHINI 2007, p. 40), acima destas temperaturas ocorre queda no rendimento térmico dos coletores. Para os sistemas elétricos e o Gás Natural (GN), foi considerada a temperatura de armazenamento de 70°C. Para aquecedores de passagem a GN foi considerado $\Delta\theta$ de 20°C.

5.1 Demanda de água quente diária

A demanda de água quente diária foi calculada, a partir de dados de consumo por pessoa da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (2008-2014), composto por 80 litros para duchas,

5 litros para lavatórios, 15 litros para cozinhas e 250 litros para banheiras levando-se em consideração a população dos edifícios analisados, disponíveis no Quadro 1, sendo que o número de apartamentos foi levantado na visita técnica, o número médio de pessoas por apartamento, e a taxa de ocupação foram obtidos da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (2008-2014).

EDIFÍCIO	A	B
Nº de apartamentos	31	42
Nº médio de pessoas por apartamento (*)	5	5
Taxa de ocupação do edifício (*)	70%	70%
Nº de apartamentos com banheira	31	42
Taxa de utilização de banheira	10%	10%

QUADRO 1 • População dos edifícios A e B.

FONTE: os autores (2014).

(*) Fonte: Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (2008-2014).

A estimativa de consumo de água quente diário é mostrada no Quadro 2.

EDIFÍCIO	A	B
Volume máximo de água quente (VMC)	16.275	21.950
Volume médio de água quente (VMAQ)	11.393	15.365
Volume de água quente dimensionado (VAQD)	11.393	15.365
Volume de água quente recomendado (VAQR)	12.500	16.000

QUADRO 2 • Consumo estimado de água quente diário, em litros.

FONTE: os autores (2014).

- Sendo:
- VMC:** (Nº aptos x Nº pessoas/apto x Consumo/pessoa) + (Nº aptos c/ banheira x Volume banheira x Taxa Utilização).
 - VMAQ:** VMC x (Taxa Ocupação Edifício).
 - VAQD:** VMAQ.

5.2 Área coletora e fração solar

O coletor solar adotado e as áreas coletoras dimensionadas foram fornecidos pelos engenheiros das obras visitadas. No Edifício A foram dimensionados 104 coletores, totalizando uma área de 208 m². No Edifício B foram dimensionados 60 coletores, totalizando uma área de 120 m². Em ambos os edifícios os coletores foram projetados voltados para o Norte Geográfico e inclinados à 33°. Pelo fato de o Edifício B ainda estar, na fase de construção da estrutura, os projetos do SAS ainda não haviam sido concluídos até a data da entrevista, e para efeito de cálculo e comparação foram adotados os mesmos dados do coletor solar do Edifício A, obtidos a partir da tabela do INMETRO: dimensões dos coletores = 2,00m X 1,00m; área dos coletores (AC) = 2,00m²; rendimento = 59,9%; $FR(\tau C_{ap})\theta = 0,75$ e $FRUL(m^{2o}C) = 5,900$.

A demanda total de energia mensal (QT) para aquecer a água foi calculada através da Equação 5, em função do número de dias e da temperatura da água fria de acordo com o mês. Os cálculos são apresentados no Quadro 3.

MÊS	HT (°) (kWh/m² x DIA)	N (DIAS/MÊS)	TAMB(°) (°C)	TAF (°) (°C)	QTA (J/MÊS)	QTB (J/MÊS)
Janeiro	4,50	31	24,0	22,0	45.353.000.000	58.051.840.000
Fevereiro	5,00	28	24,4	22,4	40.378.800.000	51.684.864.000
Março	4,06	31	23,8	21,8	45.676.950.000	58.466.496.000
Abril	3,61	30	22,1	20,1	46.868.250.000	59.991.360.000
Maiο	3,19	31	19,0	17,0	53.451.750.000	68.418.240.000
Junho	2,94	30	18,4	16,4	52.668.000.000	67.415.040.000
Julho	3,22	31	17,7	15,7	55.557.425.000	71.113.504.000
Agosto	3,72	31	19,4	17,4	52.803.850.000	67.588.928.000
Setembro	3,75	30	20,0	18,0	50.160.000.000	64.204.800.000
Outubro	4,03	31	21,6	19,6	49.240.400.000	63.027.712.000
Novembro	5,00	30	22,2	20,2	46.711.500.000	59.790.720.000
Dezembro	4,53	31	23,5	21,5	46.162.875.000	59.088.480.000
Média Anual	3,96				48.752.733.333	62.403.498.667

QUADRO 2 • Cálculo da demanda total de energia por mês, de acordo com a temperatura da água fria, para os Edifícios A e B.

FONTE: elaborado pelos autores a partir de AVELAR (2012).

(*) Fonte: Companhia de Gás de São Paulo (2011).

A fração solar foi calculada pelo método F-chart de (DUFFIE; BECKMAN, 1991, apud AVELAR, 2012, p. 6). O cálculo, por meio das Equações (1), (2), (3) e (4) é apresentado no Quadro 4.

MÊS	EDIFÍCIO A			EDIFÍCIO B		
	YA	XA	fA	YB	XB	fB
Janeiro	1,727409433	5,508056104	85,38%	0,778579973	2,482597403	51,25%
Fevereiro	1,947160391	5,558473093	92,78%	0,877626378	2,505321406	57,74%
Março	1,547453935	5,483383960	78,30%	0,697470223	2,471477145	45,62%
Abril	1,297707510	5,286996996	67,64%	0,584904226	2,382961386	37,77%
Maiο	1,039004785	4,980969395	54,97%	0,468301435	2,245028273	29,35%
Junho	0,940478469	4,928260725	49,23%	0,423893541	2,221271360	25,83%
Julho	1,009026462	4,869097931	53,71%	0,454789571	2,194605438	28,53%
Agosto	1,226496023	5,017186396	65,24%	0,552807702	2,261352042	35,98%
Setembro	1,259569378	5,073209569	66,69%	0,567714563	2,286602871	36,99%
Outubro	1,424860237	5,233416187	74,01%	0,642214650	2,358811383	42,22%
Novembro	1,803410295	5,297928919	89,12%	0,812835169	2,387888636	54,11%
Dezembro	1,708418031	5,447025011	84,94%	0,770020146	2,455089398	50,82%
Média Anual	1,410916246	5,223667024	71,83%	0,635929798	2,354417228	41,35%

QUADRO 4 • Cálculo da Fração Solar pelo método F-chart para os Edifícios A e B.

FONTE: elaborado pelos autores a partir de AVELAR (2012).

5.3 Economia

A seguir tem-se o cálculo para estimar a economia anual ao se utilizar o aquecimento solar. Foram estudados três tipos de aquecimento: elétrico, GN e SAS, neste caso o solar será associado com o GN, pois foi à solução adotada nos dois edifícios visitados, além de ser mais vantajosa financeiramente.

Para os sistemas elétrico e GN foi utilizada a Equação 5, considerando $c = 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}C$, $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ e o poder calorífero do GN de 9.400 kcal/m^3 . Para estimar o consumo de GN na associação Solar + GN foi efetuado o cálculo, a partir do produto do consumo de GN pela porcentagem em que o SAS não atua, calculado subtraindo-se a fração solar (f) calculada no Quadro 4 de 100%.

O custo por unidade considerado para a energia elétrica foi de R\$ 0,43/kWh, segundo dados da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (2014). O GN, de acordo com a Companhia de Gás de São Paulo (2014), tem seu custo composto por um valor fixo de R\$ 36,74/mês e por um valor variável com o consumo, de R\$ 3,42685/m³ para um volume de até 500 m³/mês, de R\$ 3,286003/m³ para um volume de 500, 01 até 2.000,00 m³/mês e R\$ 3,137322/m³ para consumo superior a 2.000,00 m³.

5.3.1 EDIFÍCIO A

De acordo com dados fornecidos pelo entrevistado no Edifício A, o valor total investido no sistema de aquecimento de água do edifício foi de R\$ 679.900,00, sendo R\$ 18.500,00 no projeto executivo das instalações, R\$ 414.000,00 com os coletores, *boilers*, bombas e suas instalações, R\$ 167.400,00 com os trocadores de calor e R\$ 80.000,00 na instalação dos trocadores de calor e prumadas de cobre.

Foi estimado um custo do SAS de R\$ 479.900,00, que inclui os coletores solares e trocadores de calor e descontados os custos do sistema auxiliar coletivo a gás e das prumadas, pois estes seriam necessários caso não fosse adotado o SAS. A economia anual relativa aos gastos com gás natural no período de um ano será de R\$ 55.386,43, e representa 69,80 % do total que seria gasto. O retorno do investimento obtido com a economia de gás natural foi estimado em 9 anos, e o investimento no sistema pode ser considerado viável, pois a economia gerada ao longo dos anos é significativa, trazendo o retorno do investimento em menos da metade da vida útil média do sistema, que é de 20 anos. A fração solar média anual, de 71,83 % tem papel fundamental na economia gerada pelo SAS.

No Quadro 5 estão indicados os consumos mensais, e os custos para cada sistema no Edifício A. Ao observar o quadro, é notável a diferença dos custos

de energia entre os sistemas, inclusive no período em que a insolação, temperatura e fração solar são menores e o gasto com GN como auxiliar é maior.

MÊS	CONSUMO			CUSTO		
	ELÉTRICO (kWh)	GN (m³)	SOLAR + GN (m³)	ELÉTRICO	GN	SOLAR + GN
Janeiro	21.628	1.979	289	9.300,00	6.538,83	1.027,78
Fevereiro	19.372	1.772	128	8.330,00	5.860,66	475,47
Março	21.718	1.987	431	9.338,75	6.565,92	1.514,16
Abril	21.759	1.991	644	9.356,25	6.578,16	2.153,57
Mai	23.881	2.185	984	10.268,75	6.891,29	3.269,90
Junho	23.372	2.138	1.086	10.050,00	6.745,27	3.603,96
Julho	24.467	2.238	1.036	10.520,63	7.059,42	3.441,48
Agosto	23.701	2.168	754	10.191,25	6.839,56	2.513,65
Setembro	22.674	2.074	691	9.750,00	6.545,01	2.307,16
Outubro	22.709	2.078	540	9.765,00	6.555,03	1.811,14
Novembro	21.715	1.987	216	9.337,50	6.565,05	777,75
Dezembro	21.853	1.999	301	9.396,88	6.606,56	1.068,30
Total	268.849	24.597	7.100	R\$ 115.605,00	R\$ 79.350,75	R\$ 23.964,32

QUADRO 5 • Consumo mensal de energia e custos estimados por tipo de sistema de aquecimento no Edifício A.

FONTE: elaborado pelos autores a partir de LUCHINI (2007).

5.3.2 EDIFÍCIO B

A construtora do Edifício B estima investir na instalação do SAS R\$ 200.000,00. A construtora tentou minimizar o custo da obra, e optou por um sistema mais barato. Podemos justificar a diferença de valores entre os dois edifícios, pelo fato do segundo projeto atender a demanda anual de água quente próxima ao mínimo exigido pela lei, e por adotar aquecedores de passagem como aquecimento auxiliar, sistema em que cada proprietário é responsável pela compra de seu aquecedor de passagem.

No Quadro 6 estão indicados os consumos mensais, e os custos para cada sistema no Edifício B.

MÊS	CONSUMO		CUSTO	
	GN (m³)	SOLAR + GN (m³)	GN	SOLAR + GN
Janeiro	1.055	514	3504,52	1727,23
Fevereiro	953	403	3168,93	1417,28
Março	1.055	574	3504,52	1922,67
Abril	1.021	636	3392,66	2125,20
Mai	1.055	746	3504,52	2486,71
Junho	1.021	757	3392,66	2525,83
Julho	1.055	754	3504,52	2515,00
Agosto	1.055	676	3504,52	2256,76
Setembro	1.021	643	3392,66	2151,20
Outubro	1.055	610	3504,52	2040,50
Novembro	1.021	469	3392,66	1642,67
Dezembro	1.055	519	3504,52	1742,31
Total	12.426	7.301	R\$ 41.271,22	R\$ 24.553,34

QUADRO 6 • Consumo mensal de energia, e custos estimados por tipo de sistema de aquecimento no Edifício B (continua).

FONTE: elaborado pelos autores a partir de LUCHINI (2007).

Foi estimado um custo para os coletores e trocadores de calor de R\$ 200.000,00, descontados os custos de um sistema auxiliar de passagem a gás, que serão custeadas pelo proprietário de cada unidade. A economia anual relativa aos gastos com gás natural no período de um ano será de R\$ 16.717,88, e representa 40,51% do total que seria gasto. O retorno do investimento obtido com a economia de gás natural foi estimado em 12 anos, superior ao período de retorno do investimento obtido para o Edifício A. Embora o investimento inicial tenha sido menor, o retorno do investimento ocorrerá em um período maior, visto que a porcentagem da demanda que o SAS atende é significativamente menor.

É possível perceber que a diferença dos custos com energia entre os sistemas estudados para o Edifício B é menor, fato explicado devido à fração solar média anual de 41,35 %, que diminui consideravelmente nos meses mais frios e de menor insolação, devido ao sistema auxiliar escolhido. O aquecedor de passagem tem um consumo menor, pois aquece a água instantaneamente, não necessita de temperaturas elevadas para armazenamento, como ocorre no sistema auxiliar coletivo. Com a diferença de custos menor, a economia também será menor e o tempo para retorno do investimento será maior.

6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos realizados foi possível compreender o funcionamento, e as limitações do SAS em edifícios residenciais na cidade de São Paulo.

Pode-se constatar que a Lei nº 14.459 de 3 de Julho de 2007 (SÃO PAULO, SP, 2007) está sendo cumprida, pelas construtoras e rigorosamente fiscalizada. Ao receber projetos declarados como tecnicamente inviáveis, a Prefeitura os devolve à construtora para sua readequação à Lei, mesmo que sua arquitetura tenha de ser modificada. Isto pode ser comprovado, neste trabalho, através de buscas de edifícios que comprovaram inviabilidade técnica e isenção da implantação do SAS, entre oito das maiores construtoras da cidade de São Paulo.

No entanto, a maioria das construtoras ainda adota, a porcentagem mínima da fração solar anual exigida pela Lei, 40%, o que implica em menor economia, e maior tempo de retorno de investimento, pois a participação do SAS será baixa nos períodos de menor insolação, época em que é necessário maior quantidade de energia devido à temperatura da água estar mais fria. Para a aplicação do SAS é necessário um investimento inicial de valor elevado, porém deve-se considerar a economia nas contas de energia elétrica e gás, que foram estimadas em 69,80 % para o Edifício A e 40,51 % para o Edifício B. O retorno do investimento ocorrerá em nove anos para o Edifício A, e em 12 anos para o Edifício B com a economia obtida.

Além de gerar economia com uma fonte de energia ecologicamente correta, a implantação do SAS auxilia na redução da demanda de energia elétrica nos horários de pico, como no final da tarde, permite que essa energia seja usada por indústrias que demandam grande quantidade, por exemplo, e colabora para a redução das taxas de emissão de CO₂.

Apesar dos custos adicionais na construção, ambos os entrevistados se dizem favoráveis à Lei. Acredita-se que, o desperdício de água será menor já que a água quente chega rapidamente ao ponto de utilização, mas enfatiza-se que o custo de manutenção será mais elevado e frequente.

Os desafios técnicos foram identificados na instalação do sistema. No primeiro edifício estudado, a grande dificuldade foi a inviabilidade de uma prumada de cento e dez metros, contínua e livre de fixações para evitar problemas decorrentes

do efeito de dilatação térmica. Esta foi modificada, a cada seis metros uma junta de expansão especial foi utilizada como fixação para absorver os efeitos da ação térmica. Já no segundo estudo de caso, no qual projetistas diferentes elaboraram os projetos de hidráulica e solar, a compatibilização das duas instalações para que o sistema funcione perfeitamente foi o maior problema técnico.

Sugerem-se para trabalhos futuros, estudos de implantação de sistemas de aquecimento solar em edifícios multifamiliares, com até três banheiros, em padrão inferior e com mais unidades habitacionais; soluções e alternativas arquitetônicas para melhor utilização da cobertura para instalação do SAS, e desenvolvimento de coletores com materiais que possuam maior rendimento e menores perdas térmicas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo**. ([2008-2014]). Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes-2/projeto/>>. Acesso em 02 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de Aquecimento solar**. 2008. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2014.

AVELAR, Aline B. A. **Viabilidade Econômica de Sistemas de Aquecimento Solar para Hospitais**. 2012. Trabalho apresentado no XV SEMEAD – Seminários em Administração, São Caetano do Sul, 2012. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/semead/15semead/resultado/trabalhosPDF/563.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2014.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural**: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural. 2011. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2013.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. **Tarifas do Gás Natural Canalizado**: segmento residencial – medição coletiva. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/residencial.aspx>>. Acesso em 24 abr. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa

Brasileiro de Etiquetagem. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água - coletores solares - edição 14/14**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em 24 abr. 2014.

LIMA, Juliana B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa Trnsys**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-03032004-153752/pt-br.php>>. Acesso em 02 nov. 2013.

LUCHINI, Octávio M. **Projeto básico e estudo de viabilidade econômica de um sistema de aquecimento de água para uso doméstico**. 2007. 66 f. Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007. Disponível em: <http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2007_1/octaviomatosluchini.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2014.

MIYAZATO, Tarsila. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. 2012. 215 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-30052012-141504/pt-br.php>>. Acesso em: 24 abr. 2013.

PEREIRA, Enio B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>. Acesso em 02 nov. 2013.

SÁLES, Isolda C. F. de. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgeq/dissertacao_isolda.pdf>. Acesso em 02 nov. 2013.

SÃO PAULO, SP, 2007. **Lei nº 14.459, de 3 de Julho de 2007**. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=04072007L%20144590000>. Acesso em: 10 jun. 2013.

SÃO PAULO, SP, 2008. **Decreto nº 49.148, de 21 de Janeiro de 2008**. Disponível em: <<http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/9dbde12eb744e4478d6d1291d7b2dc6f.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

SOARES, Renato M. e RODRIGUES, Délcio. **Políticas Públicas de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar no Brasil: acompanhamento das leis aprovadas e dos projetos de lei em tramitação**. Cidades Solares, jan. 2010.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA: CICLO DE VIDA DO EPS NO SISTEMA MONOLÍTICO

Aline D. Scarassati ¹

Ariana P. S. Lima ²

Laruma C. F. Ramalho ³

Paula J. Marques ⁴

Magda Aparecida Salgueiro Duro ⁵

Resumo

“ Este artigo visa apresentar o ciclo de vida do poliestireno expandido (EPS) dentro do sistema construtivo monolítico, sendo analisado em 3 etapas distintas: na fábrica que produz as placas de EPS, no galpão de montagem dos painéis, no canteiro de obras, em que ocorre a instalação dos painéis para construção de edificações unifamiliares. Esse sistema, composto principalmente pelo EPS, e a argamassa armada facilitam a construção dessas habitações, pois, dispõe de características e vantagens que ajudam a reduzir o custo e o prazo da obra, além de contribuir para uma produção mais limpa e com pouca perda de material. ”

Palavras-chave » Poliestireno Expandido. Sistema Monolítico. Produção mais limpa.

¹ E-mail: aline_scarassati@hotmail.com.

² E-mail: ariana.lima@yahoo.com.br.

³ E-mail: lala_framalho@hotmail.com.

⁴ E-mail: paula.junqueira@hotmail.com.

⁵ E-mail: magdaduro@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de produção mais limpa é um conjunto de estratégias de precaução ambiental em processos, produtos e serviços, a fim de aumentar eficiência no uso de matérias-primas através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados. A construção civil destaca-se na sociedade com a contribuição para o desenvolvimento econômico do país, porém gera grande impacto ambiental durante toda sua cadeia produtiva. Sendo assim, o estudo de algum método construtivo que pudesse ser uma alternativa nesse sentido, ou seja, que contribua para uma produção mais limpa, se torna relevante.

O sistema monolítico, também conhecido como estrutura sanduíche, pode suprir essa necessidade. Ele é composto por um núcleo de poliestireno expandido ou EPS, e faceado por argamassa armada interligada por conectores de aço.

Este sistema surge inicialmente nos países europeus com o objetivo de contribuir para que as habitações fossem mais seguras, devidos aos prejuízos causados por abalos sísmicos que atingiam essa região. E em 1992, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) realizou os primeiros ensaios em um protótipo de sistema monolítico no Brasil. Esse método construtivo, ainda encontra rejeição no mercado, em que os possíveis usuários enxergam blocos e concreto como sinônimo de resistência e solidez.

Contudo, a escolha do sistema monolítico em EPS é justificada por diversos fatores. O primeiro deles é a contribuição para a sustentabilidade ambiental, pois um de seus principais componentes, o EPS, não contamina o solo, água ou ar, e não possui em sua composição elementos tóxicos ao meio ambiente e à camada de ozônio. Outro fator importante é o econômico, pois possibilita a redução de custo e prazo da obra, aumentando a produtividade e diminuindo o *déficit* habitacional. Além disso, o surgimento de novas técnicas torna a mão de obra mais especializada e valorizada, contribuindo para o desenvolvimento social.

Para comprovar tais fatores foi analisado o ciclo de vida do EPS no quesito social, econômico e ambiental, considerando a matéria-prima, produção do sistema, perda, custo e manutenção.

2 MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas constituintes do sistema, conforme exposto anteriormente, são: poliestireno expandido e argamassa armada.

2.1. Poliestireno expandido

O poliestireno é proveniente da refinação do petróleo e sofre um processo de polimerização do estireno, que resulta na formação de pequenas pérolas. As características das pérolas, assim como sua granulometria e massa específica, devem ser definidas de acordo com a aplicação final do EPS. Após a escolha do tipo de pérola, ela passa por 3 etapas: pré-expansão; expansões; moldagem.

Para o sistema monolítico, a aplicação do poliestireno expandido tem a função de preencher o núcleo dos painéis, funcionando apenas como enchimento.

2.2. Argamassa armada

Dentro do sistema monolítico, a argamassa e o aço são os responsáveis pela função estrutural, sendo que o aço utilizado é do mesmo tipo de elementos tradicionais (telas soldadas e barras de pequeno diâmetro), capazes de resistir a esforços de tração, torção e compressão de modo a evitar trincas, fissuras e solicitações decorrentes do uso.

Pensando na eficiência desse sistema, normalmente são utilizadas telas nervuradas eletro soldadas, já que não necessita de mão de obra para sua montagem.

O aço também é utilizado na fixação da malha de aço com a placa, através de conectores que são colocados de acordo com o projeto. Recomenda-se que o travamento seja feito a cada 60 cm.

Já a argamassa é composta por cimento, agregado miúdo e água, que são dosados, a fim de atingir boas qualidades, tanto em termos de propriedades físicas como em termos de durabilidade, segundo (BERTINI, 2002).

Com a argamassa pronta, ela pode ser projetada, o que proporciona rapidez de execução e pouca mão de obra nesse processo, como afirma (BERTINI, 2002, pg.53) “As principais vantagens do concreto projetado são eliminação das fôrmas para moldagem do concreto, rapidez de lançamento, e pouca mão de obra no processo executivo [...]”.

3 CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS

O EPS, matéria utilizada como núcleo dos painéis, possui diversas características e vantagens, que são transmitidas para a parede ao final do sistema. Algumas dessas vantagens são:

- **Isolante Térmico:** o EPS se difere dos outros materiais da construção civil devido sua baixa condutibilidade térmica. Tal característica é devida aos componentes do EPS, que formam uma estrutura celular composta principalmente de ar, o que evita a troca de calor entre um meio e outro;
- **Isolante Acústico:** a característica de isolante acústico é devida a composição das partículas, ou seja, basicamente ar;
- **Reação ao Fogo:** o EPS possui variação em relação ao seu tipo, podendo ser da Classe P, não retardante à chama ou da Classe F, retardante à chama que possui uma camada de material resistente ao fogo, o que dificulta a proliferação do fogo;
- **Teor em Água:** o EPS possui baixa absorção de água devido à organização de suas células, as quais são bem estruturadas, dificultando a passagem da água;
- **Leveza:** o EPS é considerado um material leve, possuindo peso específico de 11kg/m^3 . Para ter uma noção de grandeza comparamos com o peso do concreto, de 2500 kg/m^3 . Um material leve otimiza o tempo de transporte e manuseio das peças e possibilita economia na fundação;
- **Resistente ao Envelhecimento e Quimicamente:** o EPS não apodrece, não embolora, não é solúvel em água, não libera substâncias tóxicas ao meio ambiente, não constitui substrato para desenvolvimento de micro-organismos. Sua capacidade de resistir

quimicamente está no fato do EPS ser compatível com os materiais comumente utilizados na construção civil;

- **Resistência à Compressão e à Flexão:** a análise da resistência do EPS deve ser realizada, pois essa característica que torna o sistema capaz de suportar abalos sísmicos, absorver choques e ter comportamento mecânico satisfatório.

4 EPS E O MEIO AMBIENTE

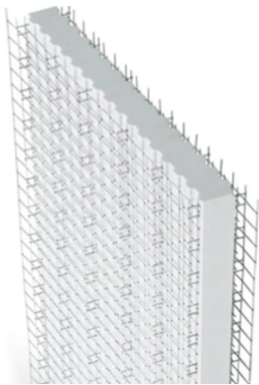
Na composição do EPS não são encontrados cloro flúor carbonetos e cloro flúor metano, gases que destroem a camada de ozônio. A fabricação do EPS é considerada limpa, pois durante o processo de produção, a fonte de energia é o vapor d'água, e a água utilizada ao final do processo pode ser reutilizada. Ao final da produção ocorre baixa geração de resíduos sólidos e líquidos, segundo (BERLOFA, 2009).

O EPS é 100% reciclável, possibilitando que a reciclagem desse tipo de material seja uma alternativa para empresas, considerando a redução de custos e redução de espaço de descarte, já que, o EPS por ter densidade baixa, ocupa muito espaço quando descartado, contribuindo para a desobstrução e aumento da vida útil de aterros, segundo (SILVA, 2010). A reutilização de materiais consiste numa maneira de diminuir geração de resíduos, porque se uma placa de EPS for triturada, o produto pode ser inserido para aeração do solo, agregado para concreto leve ou até mesmo compor, juntamente com outros materiais, tijolos e rebocos.

5 TIPOS DE PAINÉIS

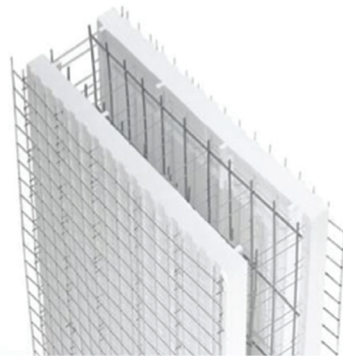
Para execução do sistema monolítico, 4 tipos de painéis podem ser utilizados, são eles:

- **Painel simples:** é utilizado como vedação ou portante, sendo que os empregados com função estrutural pode atingir até 4 pavimentos (Desenho esquemático 1);
- **Painel duplo:** é composto por dois painéis simples ligados por conectores, e no vão formado pode ser utilizado uma armadura convencional, e lança concreto. Normalmente são empregados em construções com vários pavimentos (Desenho esquemático 2)



DESENHO ESQUEMÁTICO 1 • PAINEL SIMPLES.

FONTE: Emmedue (2012).



DESENHO ESQUEMÁTICO 2 • PAINEL DUPLO.

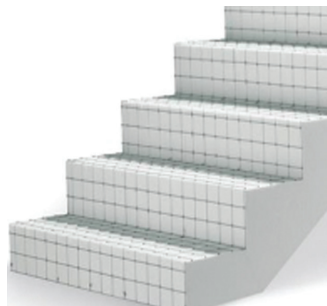
FONTE: Emmedue (2012).

- PAINEL LAJE: a laje convencional pode ser armada em duas direções (Desenho esquemático 3);
- PAINEL ESCADA: é composto por um núcleo de EPS moldado e envolto com aço, seguindo as especificações do projeto (Desenho esquemático 4).



DESENHO ESQUEMÁTICO 3 • PAINEL LAJE.

FONTE: Emmedue (2012).



DESENHO ESQUEMÁTICO 4 • PAINEL ESCADA.

FONTE: Emmedue (2012).

6 CICLO DE VIDA DO EPS NA PRÁTICA

O acompanhamento do ciclo de vida do EPS para a utilização no sistema monolítico se dá através de 3 visitas técnicas: à uma fábrica de EPS, a um galpão de montagem dos painéis; e ao canteiro de obras.

6.1. Produção do poliestireno expandido

Na visita à fábrica de EPS é possível compreender o processo de formação das placas. Numa primeira etapa, a matéria prima sofre um processo de pré-expansão, em que as pérolas são lançadas num pré-expansor (Fotografia 1), e em contato com o vapor d'água sofre aquecimento e consequente expansão. A partir dessa etapa, esse material passa a ser chamado EPS (Fotografia 2).



FOTOGRAFIA 1 • MÁQUINA DE PRÉ-EXPANSÃO.

FONTE: As autoras (2014).



FOTOGRAFIA 2 • PÉROLAS APÓS PRÉ-EXPANSÃO.

FONTE: As autoras (2014).

A segunda etapa é a estabilização das partículas e resfriamento em silos (Fotografia 3), para que se elimine o pentano, gás que existe em grande quantidade na sua composição.



FOTOGRAFIA 3 • SILOS PARA ESTOCAGEM.

FONTE: As autoras (2014).

Dependendo do tipo de aplicação desejada, o EPS pode passar novamente pelo processo de expansão, caso contrário, é destinado para a última etapa que é a moldagem, em que as pérolas são submetidas ao vapor d'água, e devido à falta de espaço, soldam-se umas às outras, adequando-se ao molde (Fotografias 4 e 5). Depois da moldagem, os blocos ficam em repouso por mais 48h, até que possam ser destinados ao corte, sendo este, feito com um fio a quente nos locais exatos, e logo em seguida já são destinados ao transporte.



FOTOGRAFIA 4 • Máquina de moldagem.

FONTE: As autoras (2014).



FOTOGRAFIA 5 • Bloco de EPS saindo da máquina de moldagem.

FONTE: As autoras (2014).

Durante a visita, à fábrica pode-se observar o conceito de produção mais limpa, pois todo o material que sobra do processo de corte é destinado à reciclagem. Este material é triturado e têm duas possibilidades, a primeira é voltar ao processo na etapa de moldagem dando origem à placa com até 50% de material reciclado. Quando não é possível a volta ao sistema, a alternativa é a extrusão, em que é extraído todo o ar de dentro das pérolas, passando a ser um plástico compacto. O resultado da extrusão ainda pode ser matéria prima para produção de outros produtos, como embalagens para canetas.

As placas utilizadas para a montagem dos painéis analisados são do tipo T2F, e sua matéria-prima passa por duas expansões. Esse tipo é assim denominado devido, a sua densidade e por ser retardante a chamas.

6.2 Montagem dos painéis monolítico

A montagem do painel pode ser realizada diretamente no canteiro de obras, onde deve ser destinada uma área específica que atenda todas as etapas de produção. Para a obra analisada, a opção por um galpão externo foi possível devido à disciplina de organização e estocagem dos painéis, e a proximidade entre galpão de montagem e canteiro de obras, assim como facilidade de locomoção na cidade.

Todos os envolvidos no processo de montagem recebem treinamento para manuseio das ferramentas, leitura de projetos e produção. No próprio galpão, uma das paredes construídas, foi com o sistema monolítico em EPS, processo que ajudou a passar credibilidade do sistema para todos os colaboradores.

Para as paredes foi designado o painel simples, já que não há solicitação referente ao uso do painel duplo.

Classificando a pré-montagem dos painéis, ocorre inicialmente o levantamento de todo o material necessário. Os materiais são recebidos e estocados no galpão e utilizados conforme necessidade.

Para iniciar o processo de montagem, é feita separação das placas e o posicionamento das mesmas em um suporte auxiliar respeitando o tamanho do painel a ser montado (Fotografia 6). Posteriormente, ocorre a colocação da tela de aço com malha de 200 mm por 200 mm, na placa de EPS obedecendo onde serão as aberturas de janelas e portas (Fotografia 7). Essa fixação é feita por conectores, material reaproveitado dos cortes realizados na tela.



FOTOGRAFIA 6 • Suporte auxiliar.

FONTE: T-blok (2013).



FOTOGRAFIA 7 • Colocação da malha de aço.

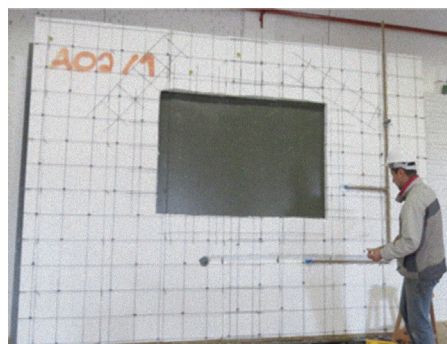
FONTE: T-blok (2013).

O EPS restantes nos locais de abertura de janelas e portas são retirados formando o vão, e a armação em suas extremidades é reforçada (Fotografia 8). As instalações elétricas e hidráulicas também ocorrem nessa etapa, e a abertura das cavidades em que serão inseridas, é realizada com soprador de ar quente nos locais exatos indicados no projeto (Fotografia 9). Nesta etapa também ocorre a identificação dos painéis, de acordo com sua posição de instalação no canteiro.



FOTOGRAFIA 8 • Reforço da armadura.

FONTE: T-blok (2013).



FOTOGRAFIA 9 • Execução da instalação hidráulica.

FONTE: T-blok (2013).

Durante esse processo de montagem dos painéis, os materiais provenientes da sobra de corte, como aço e placa, são reutilizados nos próprios painéis como reforços, conectores e até montagem de outras peças como escadas (Fotografia 10).



FOTOGRAFIA 10 • Escada feita com sobras de EPS

FONTE: As autoras (2014).

Os painéis depois de prontos ficam estocados, e são enviadas para o canteiro conforme necessidade da obra (Fotografia 11).



FOTOGRAFIA 11 • Estoque dos painéis prontos

FONTE: T-blok (2013).

6.3 Instalações dos painéis

Para a definição da fundação das habitações, foi realizada a sondagem do terreno, em que mostra uma predominância de areia fina, sem traço argiloso e sem presença do lençol freático. Por se tratar de um sistema construtivo mais leve, normalmente as fundações mais utilizadas são as sapatas, corridas e radie. Neste caso decidiu-se por fundação do tipo laje radie (Fotografia 12).



FOTOGRAFIA 12 • Execução da fundação

FONTE: T-blok (2013).

Após a execução da fundação, prepara-se a superfície para receber os painéis fixando arranques com produto plastificante.

Os painéis chegam já identificados, e são destinados à fixação no arranque presos por arame recozido, e cada parede é amarrada na sequência com os conectores (Fotografia 13). A execução do escoramento garante a estabilidade, prumada e o nivelamento, feito com auxílio de prumo vertical, garantindo a perpendicularidade da parede com o chão. Nas quinas das paredes são colocados verticalmente recortes da mesma malha de aço como reforço, e de modo a solidarizar o sistema (Fotografia 14).



FOTOGRAFIA 13 • Fixação dos painéis.

FONTE: T-blok.



FOTOGRAFIA 14 • Painéis instalados e escorados

FONTE: T-blok.

Após as paredes estarem fixadas e devidamente posicionadas, inicia o processo de revestimento da argamassa armada. Nesse projeto a argamassa possui traço 1:4 na relação de água cimento e são aplicadas com rebocadores pneumáticas em razão da facilidade de aplicação além da produtividade. Na primeira etapa a argamassa é aplicada até que toda a superfície da placa seja coberta (Fotografia 15). Depois de 48 horas aplica-se a segunda camada com espessura máxima de 2 cm, a fim de cobrir toda a armadura (Fotografia 16). Para minimizar a perda da argamassa, o local da aplicação é protegido com lona plástica para evitar, que a argamassa seja contaminada por outros resíduos, podendo assim, ser reutilizada.



FOTOGRAFIA 15 • Primeira projeção

de argamassa

FONTE: T-blok (2013)



FOTOGRAFIA 16 • Final da segunda projeção

FONTE: T-blok (2013)

Após a cura total das paredes é iniciado o processo de acabamento, em que todas as paredes recebem emboço e reboco, e em seguida, o desempenamento, atingindo o acabamento desejado (Fotografia 17). Logo após, essa etapa, a parede já está pronta para receber o revestimento, que pode ser pintura, gesso, textura, entre outros.

Para a execução das lajes, o sistema adotado foi o de laje treliçada com o próprio poliestireno expandido (Fotografia 18). As lajotas e as treliças são colocadas e amarradas à armadura que transpõe os painéis. O escoramento e concretagem são feitos de maneira convencional.



FOTOGRAFIA 17 • Aplicação do emboço

FONTE: T-blok (2013)



FOTOGRAFIA 18 • Laje treliçada

FONTE: T-blok (2013)

A verificação da resistência dos painéis prontos, já com a argamassa projetada, pode ser feita através de dois tipos de ensaios estabelecidos pela norma brasileira NBR 11675: ensaio de resistência ao impacto de corpo mole, e de corpo duro (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990). Os resultados observados devem ser analisados com os critérios de desempenho estabelecidos pela norma NBR 15575 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013).

7 CUSTO

Para a obra analisada, o custo do sistema monolítico em relação ao uso de alvenaria convencional, verificou-se uma redução de 23,4%. Tal redução se dá aos serviços de estrutura e vedação, que apresentam redução de 60,2% e 15,3%, respectivamente.

No serviço de estrutura, a diferença de preço está no fato de o sistema convencional utilizar vigas e pilares, enquanto que no sistema construtivo em EPS, o painel faz a função desses elementos.

O painel também atua como vedação e não necessita de vergas e contra-vergas, serviços que encareceram o custo no sistema convencional.

Estudos mostram que o prazo influencia indiretamente no custo, pois há necessidade de manter equipe administrativa. Nesse sentido pode se comprovar uma redução no custo indireto da obra em EPS através da análise dos cronogramas de cada sistema, já que a construção de uma casa em sistema monolítico leva aproximadamente 50 dias, e a construção com sistema convencional é de 67 dias, baseado em dados na tabela TCPO e dados obtidos através da construtora.

E ainda estudos reforçam que os custos indiretos atrelados ao uso da edificação, como o fato do EPS ter função de isolamento térmico, diminuem custos com climatização do ambiente.

8 MANUTENÇÃO

Como em qualquer tipo de método construtivo, a utilização de materiais de boa qualidade, aplicação de procedimentos corretos e a realização de ações preventivas

ajudam a aumentar a vida útil das construções. No caso do sistema monolítico em EPS, algumas dessas ações são: não deixar as placas de EPS expostas a intempéries como o sol e a chuva e projetar a argamassa armada até que cubra toda a malha eletrosoldada, evitando possíveis oxidações. Outro fator que ajuda nessa prevenção é o fato de o EPS não reagir quimicamente com a argamassa, gesso e de não adquirir bolores nem micro-organismos com o tempo. Porém, a falta de estudos de manutenção desse sistema não permite garantir a vida útil exata desse material.

Durante a visita ao canteiro, apenas duas casas estavam prontas. Na época, ainda não havia tido tempo suficiente para a elaboração dos manuais que serão entregues aos proprietários.

9 CONCLUSÃO

Este estudo mostra a importância de avaliar o ciclo de vida do EPS no sistema monolítico, apresentando-o como uma alternativa construtiva através da análise social, ambiental e econômica.

Socialmente, podem-se avaliar critérios que tornam a construção mais confortável, devido ao isolamento térmico e acústico, com melhoria na climatização dos ambientes e menor emissão de ruído nos entornos da edificação. A rapidez de execução torna esse sistema uma alternativa para construções populares, ajudando na diminuição do *déficit* habitacional, como já citado anteriormente. O sistema construtivo em EPS minimiza a geração de pó durante sua execução e o barulho normalmente gerado no sistema convencional, fatores de incômodo aos moradores do entorno da obra.

Ambientalmente, são destacadas diversas vantagens, como redução de entulho gerado, possibilidade de reutilização e reciclagem dos materiais envolvidos no processo.

Economicamente, conforme já apresentado, a escolha desse sistema influencia direta e indiretamente no custo da obra, como na redução de etapas produtivas e consequentemente redução de materiais envolvidos, e no prazo final, que favorece a escolha desse tipo de construção.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11675**: Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência a impactos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BERLOFA, Aline da Silva. **A viabilidade do uso de poliestireno expandido na indústria da construção civil**. 2009. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, Centro Paula Souza, São Paulo, 2009.

BERTINI, Alexandre Araújo. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada**. 2002. 209 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

EMMEDUE: *an innovative modular building system based on EPS panels*, c2012. Disponível em: <<http://en.mdue.it/>>. Acesso em 10 out. 2014

SILVA, George da Cruz. **Painéis-sanduiche com núcleo de EPS reciclado**: metodologia de execução e determinação de propriedades termofísicas. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.

PRODUTIVIDADE COM O USO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

Antônio Cesar Pestana Pavan ¹
Guilherme de Oliveira Gonçalves ²
Victor Sanches Tobo ³
Eduardo Ioshimoto ⁴

Resumo

“O concreto auto adensável é uma tecnologia inovadora que foi criada diante de uma dificuldade recorrente: a falta de mão de obra. Devido a isto, pode-se dizer que o concreto criado deveria “fazer o trabalho do operário”, de espalhar e adensar o concreto. Com isto, otimizou-se o trabalho diminuindo o número de operários e realizando mais rapidamente as tarefas de adensamento e espalhamento do concreto. Mas resultou também em um maior custo total, mesmo com a diminuição do custo de mão de obra, devido ao alto custo do material agora empregado. Assim sendo, o trabalho em questão tem a incumbência de analisar o desempenho do concreto auto adensável e a viabilidade de utilizá-lo, ao invés do concreto convencional. Para isto, foram analisadas as características, as propriedades e o custo do CAA e do CCV, comparando os resultados.”

Palavras-chave » Concreto Auto Adensável. Produtividade. Otimização.

¹ E-mail: pavanantonio@hotmail.com.

² E-mail: gui.ggo@uol.com.br.

³ E-mail: victorsanchestobo@uol.com.br.

⁴ E-mail: 1133908@mackenzie.br.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do concreto auto adensável (CAA) teve início na década de 1980, no Japão. Com a gradual diminuição no número de mão de obra qualificada, as estruturas de concreto apresentaram semelhante queda de qualidade. Houve-se a necessidade do CAA, proposta por *Okamura* em 1986, com seu primeiro protótipo concluído em 1988, realizado por *Ozawa* e *Maekawa* na Universidade de Tóquio, utilizando materiais já existentes no mercado (OKAMURA; OUCHI, 2003).

O concreto auto adensável é um concreto com maior fluidez, que se adensa pelo peso próprio, e evita segregação de agregados, por meio do uso de aditivos superplastificantes, que aumentam sua deformabilidade, modificadores de viscosidades em alguns casos, e com maior teor de finos. Diversos estudos sobre o assunto evidenciam uma melhora no tempo de execução da concretagem e otimização de mão de obra.

Por ser auto adensável, dispensa o uso de adensadores por imersão e, também, da mão de obra que executa este serviço. A fluidez do concreto dá mais durabilidade à estrutura, já que preenche todos os espaços da forma, e envolve as armaduras e outros obstáculos.

Deste modo, o uso do concreto auto adensável tem contribuído para aumentar o nível de industrialização na construção civil, especialmente nas indústrias de pré-fabricados. O setor de pré-fabricados trabalha em uma linha de montagem, sendo necessária a sistematização, padronização e produtividade.

Nos dias atuais tem-se uma grande necessidade e desafio de se aumentar a produtividade, que é basicamente produzir mais e melhor, a partir da combinação de recursos (SIMÃO, 2010). Essa necessidade se dá pela competitividade no mercado da construção civil e uma falta de mão de obra qualificada para este trabalho.

Portanto, neste artigo, será apresentado um estudo de caso com dados coletados em campo que demonstram que o Concreto Auto Adensável pode auxiliar na construção civil para suprir as necessidades de produtividade.

2 INFORMAÇÕES COLETADAS

Este item consiste em comparar um traço de concreto auto adensável (CAA) com um traço de concreto convencional (CCV) na produção de pré-fabricados, analisando a produtividade, o custo total, tempo, mão de obra e o método executivo de ambos.

O estudo de caso foi desenvolvido com a empresa T&A Pré-fabricados. Os materiais utilizados foram disponibilizados pela empresa. Os dados e fotos coletados e o acompanhamento das concretagens foram feitos na fábrica de São Paulo da empresa.

2.1 Produção e aplicação do Concreto

Neste item será apresentado o detalhamento das etapas de produção e aplicação do concreto. As Figuras 1 e 2 mostram a sequência em que acontecem as atividades, para CCV e CAA, respectivamente.

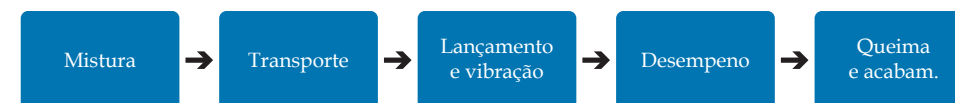


FIGURA 1 • Ciclo de Concretagem do Concreto Vibrado

FONTE: BELOHUBY & ALENCAR, 2007 apud ALENCAR, 2008



FIGURA 2 • Ciclo de Concretagem para o Concreto Auto Adensável

FONTE: (BELOHUBY ; ALENCAR, 2007 apud ALENCAR, 2008

2.1.1 MISTURA

A mistura dos concretos que são utilizados nas peças é feita numa central de concreto situada na própria fábrica. Todo o concreto é dosado em peso e corrigido de acordo com a umidade, medida através do método do fogareiro DER M28-61, o que assegura homogeneidade ao produto final.

O laboratório informa o teor de umidade para o operador da central e a equipe de produção, a quantidade de m^3 de concreto necessário, a partir disto o operador de central roda o traço já cadastrado no sistema.



FOTOGRAFIA 1 • Central de concreto da fábrica

FONTE: Elaboração Própria

2.1.2 TRANSPORTE

Após a mistura, o concreto é despejado em uma caçamba com capacidade de $1,5 m^3$, que é transportada até o local de concretagem através de um trator. No local, a caçamba é içada pelo pórtico rolante para ser despejada na fôrma.

2.1.3 LANÇAMENTO E VIBRAÇÃO

O ajudante responsável pelo manuseio da caçamba, com o auxílio do operador de pórtico rolante, despejam o concreto gradualmente na fôrma da peça. Para o CCV, ajudantes se encarregam de espalhar o concreto enquanto o operador de vibrador o adensa. Já para o uso de CAA, esta etapa de espalhamento e vibração não é necessária, pelo fato do CAA se adensar pelo peso próprio.

2.1.4 DESEMPENO

O desempeno é apenas realizado para peças concretadas com o concreto vibrado. É feito manualmente com desempenadeira de madeira, deixando a nata de cimento na superfície da peça.

2.1.5 ACABAMENTO E QUEIMA

O acabamento é feito passando uma colher de pedreiro na superfície do concreto para eliminar as marcas e as bolhas. A queima do concreto é feita com desempenadeira, manualmente, quando inicia-se a pega do concreto.

2.2 Indicadores de Produtividade

Será utilizado como informação para medir e comparar a produtividade do CAA em relação ao do CCV a quantidade de mão de obra, o custo e o tempo.

2.2.1 MÃO DE OBRA

A diferença do CAA em relação ao CCV, neste aspecto, está apresentada na Tabela 1.

ETAPA	FUNÇÃO	CCV	CAA
Central de Concreto	Operador de pá-carregadeira	1	1
	Auxiliar de produção	1	1
	Operador de central	1	1
	Meio oficial de central	1	1
	Operador de trator	1	1
	Laboratorista	1	1
Concretagem	Encarregado	1	1
	Operador de ponte rolante	1	1
	Pedreiro	1	1
	Ajudante (abrir caçamba)	1	1
	Operador de vibrador	1	0
	Arrastador de vibrador	1	0
	Ajudante (enxada e colher)	2	0
	TOTAL	14	10

TABELA 1 • Quantidade de funcionários necessários para aplicação de cada tipo de concreto.
FONTE: elaboração própria (2014).

2.2.2 CUSTO

O custo será composto apenas pelo custo de mão de obra (R\$/MO) e pelo custo de m³ de concreto (R\$/m³ concreto). As Tabelas 2 e 3 demonstram estas informações. As horas extras não foram levadas em conta neste item.

ETAPA	FUNÇÃO	R\$/h	SALÁRIO*	ENCARGOS	TOTAL
Central de Concreto	Operador de pá-carregadeira	7,72	1698,40	1719,12	3417,52
	Auxiliar de produção	4,45	979,00	990,94	1969,94
	Operador de central	6,87	1511,40	1529,84	3041,24
	Meio oficial de central	5,04	1108,80	1122,33	2231,13
	Operador de trator	6,87	1511,40	1529,84	3041,24
	Laboratorista	6,37	1401,40	1418,50	2819,90
Concretagem	Encarregado	9,83	2162,60	2188,98	4351,58
	Operador de ponte rolante	7,00	1540,00	1558,79	3098,79
	Pedreiro	6,37	1401,40	1418,50	2819,90
	Ajudante (abrir caçamba)	4,45	979,00	990,94	1969,94

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

ETAPA	FUNÇÃO	R\$/h	SALÁRIO*	ENCARGOS	TOTAL
	Operador de vibrador	4,45	979,00	990,94	1969,94
	Arrastador de vibrador	4,45	979,00	990,94	1969,94
	Ajudante (enxada e colher)	4,45	979,00	990,94	1969,94
*Salário baseado em 220 horas mensais.					

TABELA 2 • Custo de mão de obra.

FONTE: elaboração própria (2014).

Concreto auto adensável	294
Concreto convencional	262

TABELA 3 • Custo do Concreto (em R\$/m³).

FONTE: elaboração própria (2014).

2.2.3 TEMPO

Neste item será apresentado o tempo de ciclo para 4,04 m³ de concreto para o CAA e para o CCV. Foram concretadas duas vigas de 2,02 m³ uma em seguida da outra para formar um ciclo. Este processo foi feito quatro vezes para cada tipo de concreto, sendo feita uma média dos tempos obtidos nos quatro ciclos. O ciclo é composto pelas etapas e pelas sub-etapas (apresentadas no item 2.1). Pode-se visualizar estes tempos nas Tabelas 4 e 5.

SUB-ETAPAS	TEMPO	ACUMULADO	M³ CONCRETADOS
Mistura*	05:13	05:13	0,00
Transporte*	01:06	06:19	0,00
Carregamento*	01:01	07:20	0,00
Lançamento 1ª caçamba	01:33	08:53	1,50
Troca de caçamba*	01:56	10:49	1,50
Lançamento 2ª caçamba	02:57	13:46	3,00
Troca de caçamba*	01:56	15:42	3,00

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

SUB-ETAPAS	TEMPO	ACUMULADO	M³ CONCRETADOS
Lançamento 3ª caçamba	02:15	17:57	4,04
Acabamento	00:44	18:41	4,04
Total	18:41		

*Tempo médio em comum para ambos os concretos

TABELA 4 • Tempo de Ciclo do CAA.

FONTE: elaboração própria (2014).

SUB-ETAPAS	TEMPO	ACUMULADO	M³ CONCRETADOS
Mistura*	05:13	05:13	0,00
Transporte*	01:06	06:19	0,00
Carregamento*	01:01	07:20	0,00
Lançamento e vibração 1ª caçamba	06:28	13:48	1,50
Troca de caçamba*	01:56	15:44	1,50
Lançamento e vibração 2ª caçamba	04:23	20:07	3,00
Troca de caçamba*	01:56	22:03	3,00
Lançamento e vibração 3ª caçamba	06:40	28:43	4,04
Acabamento	01:00	29:43	4,04
Total	29:43		

*Tempo médio em comum para ambos os concretos

TABELA 5 • Tempo de Ciclo do CCV.

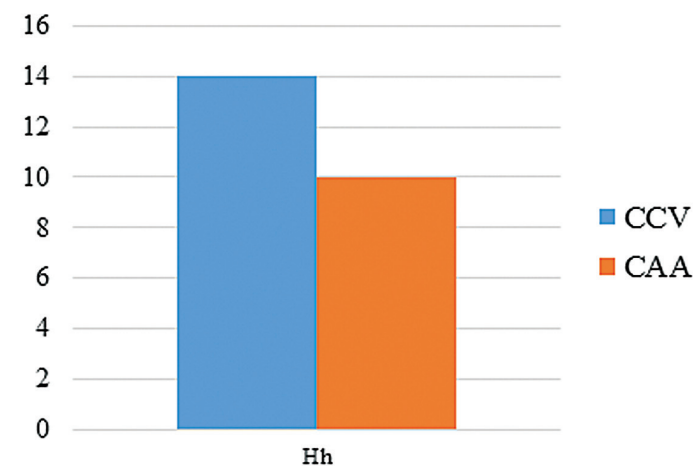
FONTE: elaboração própria (2014).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item serão analisados os indicadores de produtividade listados anteriormente.

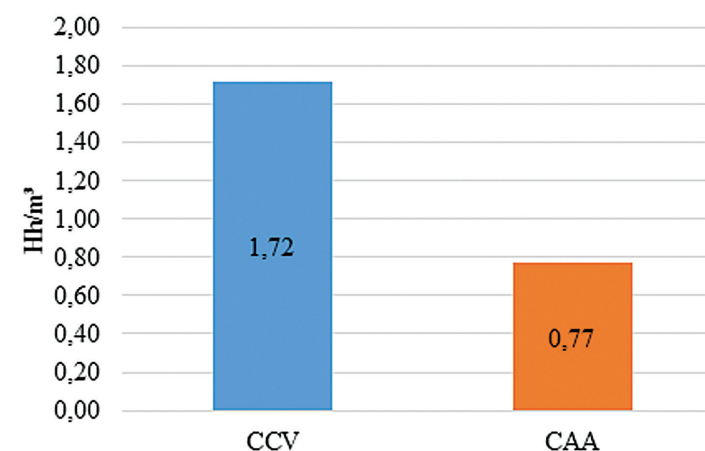
3.1 Mão de Obra

A quantidade de mão de obra necessária, demonstrada pelo indicador Homem-hora demandado (Hh), é utilizado para medir produtividade. Os resultados mostram que é necessário menos Hh para o CAA, verificando-se uma redução de 29% de uso de mão de obra com o CAA, se comparado ao CCV. Esta diminuição pode ser vislumbrada no Gráfico 1.

**GRÁFICO 1 • Quantidade de Hh para CCV e CAA.**

FONTE: elaboração própria (2014).

A relação Hh/m³ demonstra a quantidade de homens necessários em uma hora para concretar um metro cúbico de concreto. Este indicador realça o ganho de produtividade obtido com o uso de CAA, pois além de reduzir o número de Hh, a concretagem foi mais rápida, aumentando a produção. Esse ganho de produção pode ser visto nos Gráficos 2 e 3.

**GRÁFICO 2 • Relação homem-hora por m³ de concreto.**

FONTE: elaboração própria (2014).

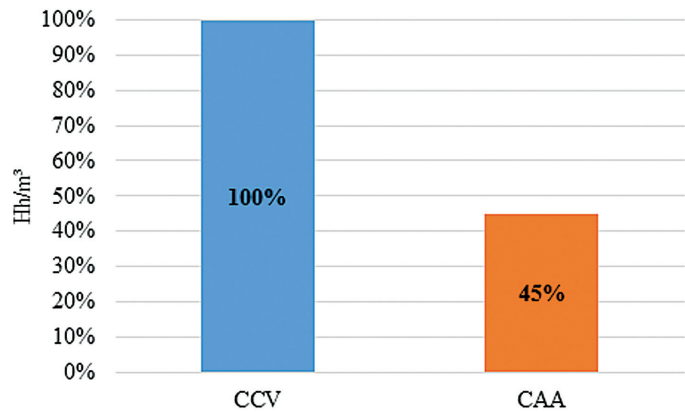


GRÁFICO 3 • Relação de Hh/m³ em valores relativos.

FONTE: elaboração própria (2014).

3.2 Custo

Neste item foi analisado o custo da produção e aplicação do concreto, considerando o preço do material por m³, e o custo da mão de obra, através do tempo para produzi-lo. Verificou-se um aumento do custo do CCV, para o CAA. Pode-se contemplar esta análise na Tabela 6, e no Gráfico 4.

	CCV	CAA	DIFERENÇA	
Custo da mão de obra por m³	20,42	10,07		
Custo do m³ de concreto	262,00	294,00		
Custo total	282,42	304,07	21,65	8%

TABELA 6 • Custo da produção e aplicação de 1 m³ de concreto.

FONTE: elaboração própria (2014).

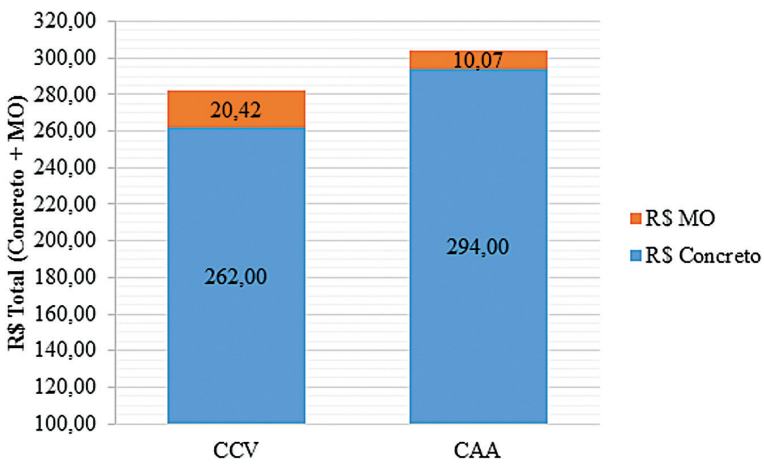


GRÁFICO 4 • Composição do R\$ Total/m³.

FONTE: elaboração própria (2014).

3.3 Tempo

Na análise dos resultados obtidos, verificou-se que, a redução do tempo foi significativa com o uso do CAA em relação ao CCV. Foi comparado o tempo economizado de concretagem para uma mesma quantidade de m³. Essa redução é mostrada na Tabela 7 e no Gráfico 5.

	CCV	CAA	DIFERENÇA	
min do ciclo para 4,04m³	29,72	18,68	-11,04	-37%
m³ concretados neste tempo	4,04	4,04		

TABELA 7 • Redução do tempo de concretagem para uma mesma quantidade de m³.

FONTE: elaboração própria (2014).

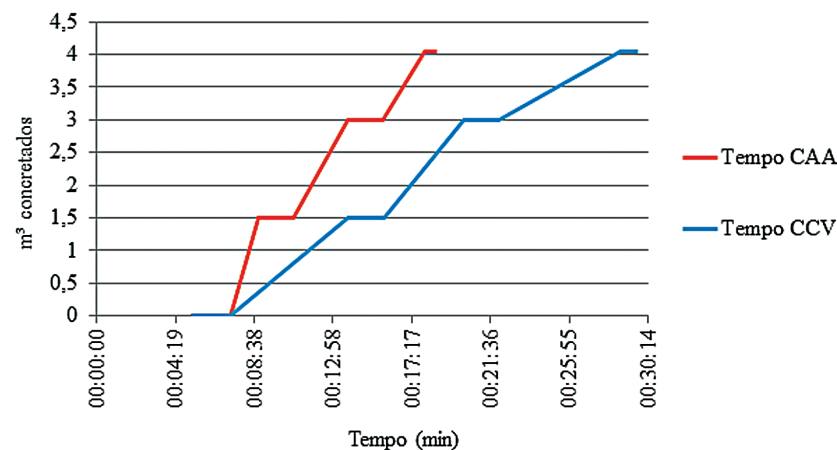


GRÁFICO 5 • m³ concretado em um ciclo de estudo.

FONTE: elaboração própria (2014).

3.4 Qualidade Superficial

Pode-se verificar nas Fotografias 2 e 3, que a qualidade superficial do CAA é significativamente maior que a do CCV. Isto acontece devido à má vibração que há na aplicação do CCV, gerando o aprisionamento de ar, que causa bolhas na face da peça. Para corrigir estas falhas é necessário um retrabalho fazendo-se um tratamento com argamassa de estucagem e *grout*, quando se tem falhas de concretagem (ninhos de pedra).



FOTOGRAFIA 2 • Peça Concretada com CCV

FONTE: T&A Pré-Fabricados



FOTOGRAFIA 3 • Peça Concretada com CAA

FONTE: T&A Pré-Fabricados

4 CONCLUSÃO

O grande trunfo do CAA foi o aumento da produtividade. Existem dois parâmetros que influenciam neste aspecto: a otimização da mão de obra, e a maior agilidade de execução.

Com a eliminação das sub-etapas de espalhamento e compactação, o desempenho e a vibração, e com a facilitação do acabamento, percebe-se uma redução considerável da mão de obra demandada. Também por esta razão a produtividade de cada operário aumenta, fazendo com que cada um seja melhor aproveitado. A mão de obra, em Hh, foi reduzida em 29%, porém levando-se em conta, a maior produtividade de cada operário tem-se uma redução de 55%, em Hh/m³.

O tempo de execução foi reduzido em 37%, considerando o ciclo estudado, devido à otimização do processo de concretagem, citada no parágrafo anterior.

O custo calculado para a produção e aplicação do concreto auto adensável, como esperado, foi maior do que o custo do concreto convencional, apontando em um aumento de 8%. Apesar da diminuição do custo da mão de obra, o CAA ainda apresentou-se mais oneroso, portanto, o aumento do custo deve-se ao elevado preço dos materiais utilizados na composição do CAA. Entretanto, não foi calculado o custo indireto, bem como o custo do retrabalho que o CCV solicita, devido à insuficiência das informações e a dificuldade em obtê-las.

De acordo com os responsáveis técnicos da empresa, existem outras vantagens de difícil mensuração, que são principalmente, a redução considerável de retrabalho (como já dito), a qualidade superficial da peça, economia de energia elétrica e diminuição de ruído. Por esses motivos a empresa optou por usar o CAA, e não mais o CCV.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, R. **Dosagem do concreto autoadensável: Produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. *Self-Compacting Concrete*. In: *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

SIMÃO, P. S. et al. A **Produtividade da Construção Civil Brasileira**. Estudo realizado pela parceria da Câmara Brasileira da Indústria da Construção com a Fundação Getúlio Vargas [201-?]. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/068.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2013.

IMPACTOS CAUSADOS PELAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: MONOTRILHO LINHA 17-OURO

Caroline Baião dos Reis ¹
Clara Ribeiro da Luz Gerola ²
Thaís Steiger Dominguez ³
Pedro Silveira Gonçalves Neto ⁴

Resumo

“Este documento visa apresentar os impactos urbanos e ambientais causados pelas obras da Linha 17-Ouro da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Adquiriu-se o conhecimento teórico do sistema monotrilho e os tipos de modais existentes para justificar a sua escolha. Analisou-se cada impacto causado pelas obras e as características da própria implantação. Assim, foi elaborada a Matriz de Impactos, a qual apresentou a importância de cada impacto através de pontos valorados para os parâmetros, suas justificativas e medidas. Este documento mostrou a importância de analisar os impactos gerados por uma implantação de transporte público.”

Palavras-chave » Monotrilho. Impactos. Transporte público.

¹ E-mail: carolbaiao@hotmail.com.

² E-mail: claragerola@hotmail.com.

³ E-mail: thasteigerd@hotmail.com.

⁴ E-mail: pedrosgneto@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Monorail Society (s/d a) define monotrilho como um único trilho que serve como pista para veículos ferroviários de passageiros ou de carga. Comumente, o modal é elevado, porém os monotrilhos também podem estar na superfície ou abaixo dela, em túneis. Os veículos do monotrilho são suspensos a partir do trilho ou encaixados nele e são mais largos que o trilho que os suporta.

O sistema monotrilho será realizado pela primeira vez no município de São Paulo. O novo sistema gera diferentes impactos, alguns com administração pré-estabelecida. Há, porém, outros impactos em que as soluções devem ser cuidadosamente estudadas por serem pertinentes à novidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos urbanos e ambientais resultantes das obras de construção civil do monotrilho da Linha 17-Ouro no município de São Paulo e avaliá-los e apresentá-los através dos critérios da matriz de impactos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar e analisar a relevância dos impactos durante a fase de implantação do sistema monotrilho da Linha 17-Ouro da cidade de São Paulo, baseados na Companhia do metropolitano de São Paulo e elaborar uma matriz comparativa de impactos como critério de análise.

1.2 Justificativa

O sistema de transporte está diretamente relacionado à qualidade de vida do residente de uma metrópole. O estado de saúde físico e emocional durante o dia a dia de todos os habitantes de qualquer cidade depende de quão adequada é a cidade do ponto de vista de mobilidade urbana (PEDUZZI, 2013).

Rosati e Geraque (2013) afirmam que moradores de áreas nobres da capital paulista têm mostrado temor, comparando a aparência do monotrilho à do Elevado Costa e Silva. Quanto a isso, o Metrô explica que o monotrilho não será um viaduto, mas sim, vigas suspensas, ou seja, uma leve estrutura que permitirá a passagem de luz do sol. Além disso, a obra conta com um projeto de paisagismo que irá embelezar os pilares.

Outro fator que preocupa esses mesmos moradores é a possibilidade de invasão de privacidade, visto que os passageiros terão visão das áreas de lazer dos condomínios. Para isso o Metrô pretende adaptar um sistema que escurece os vidros dos trens em trechos nos quais o monotrilho viaja próximo aos condomínios residenciais (CARVALHO, 2012).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Justificativa da escolha pelo modal monotrilho

De acordo com Santos (2014)¹, a escolha pelo modal baseou-se em dois principais fatores: demanda e tipo de terreno.

Em relação à demanda, a região por onde a Linha 17-Ouro passará, exige média capacidade, portanto não seria necessária a implantação do sistema metropolitano, o qual possui alta capacidade com alto custo de execução.

¹ Entrevista com Ivan Lubarino Piccoli dos Santos, chefe do Departamento de Projetos Executivos Civil e Sistemas – Linha 17-Ouro, concedida em 14/08/2014.

De maneira contrária, os modais BRT (*bus rapid transit*) e ônibus convencional não atendem a demanda da região, por possuírem baixa capacidade.

Em relação ao tipo de terreno, é importante atentar-se à hidrografia e topografia. Quanto à hidrografia, considerou-se o Córrego da Traição, o que descartou o uso de modal subterrâneo, pois haveria a necessidade de executar uma escavação muito profunda. Quanto à topografia, a região possui desníveis expressivos, os quais limitam a escolha dos modais com pouca flexibilidade de realizar subidas. Assim, o sistema metropolitano não é adequado à região.

Implantar um corredor de ônibus não foi cabível, pois, no trecho entre a Estação Morumbi da Linha 9 – Esmeralda da CPTM e a estação São Paulo/ Morumbi da Linha 4 – Amarela, não existiam ruas e/ou avenidas que comportassem uma faixa exclusiva para ônibus e, também, haveria grandes dificuldades de implantação de uma nova avenida na região. Desse modo, o ônibus não conseguiria atingir velocidade estabelecida para a linha, devido aos cruzamentos viários que teriam que atravessar ao longo do percurso (SANTOS, 2014).

O VLT, bem como o monotrilho, atende a necessidade de média capacidade de demanda da região, porém a sua estrutura consiste em um tabuleiro para suporte do modal, o qual se assemelha com a estrutura do Elevado Presidente Costa e Silva – comumente conhecido como “Minhocão”. Com esta característica, do ponto de vista paisagístico, descarta-se a sua inserção, pois o tabuleiro resulta em degradação do meio urbano e maior efeito sombra. Do ponto de vista social, este sistema possibilita a moradia abaixo da estrutura (SANTOS, 2014).

2.2 Características da obra

A implantação da Linha 17-Ouro do monotrilho será localizada nas regiões centro-sul, sul e oeste do Município de São Paulo, passando pelos bairros Jabaquara, Vila Mariana, Santo Amaro e Morumbi. Com a implantação desta Linha foram feitos projetos de adequação urbana, tais como: prolongamento da Avenida Perimetral, canalização do Córrego Antonico e intervenções na Praça Roberto Gomes Pedrosa.

A Linha 17-Ouro ligará o aeroporto de Congonhas à rede metroferroviária, conectando as regiões sul e sudoeste por sistema monotrilho elevado com tecnologias modernas que visam segurança e rapidez. A Linha 17-Ouro possuirá um total de dezoito estações, com início e término nas estações Jabaquara e São Paulo-Morumbi. Fará interligações importantes: a interligação com o aeroporto de Congonhas e as interligações com as linhas 1, 4 e 5 da Companhia do Metropolitano de São Paulo e linha 9 da CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Outra característica importante da linha é o cruzamento com a Marginal Pinheiros – via expressa que interliga regiões da cidade de São Paulo.

Com as análises obtidas a partir do Mapeamento Contínuo de Uso de Solo da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), chegou-se a 73,2% de área urbanizada, e se fosse levar outras categorias como industrial, favelas, equipamento urbano e rodovia chegariam em 93,3% de toda a área influenciada diretamente. Sendo o traçado do monotrilho inserido em uma área densamente urbanizada (ADA) (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, s/d b). O projeto do monotrilho da Linha 17-Ouro sempre que possível utilizou sua implantação nos eixos de logradouros públicos minimizando, assim, os impactos e o número de desapropriações, sendo maior o número das desapropriações pontuais.

Segundo EIA-RIMA (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, s/d b), tanto nos trechos das grandes avenidas como nas residências é quase certo que haverá impacto na especulação imobiliária da região, num trecho comercial a tendência é de crescimento dos valores dos imóveis, em toda a cadeia (locação e venda) e caminhando no sentido contrário, nos trechos residenciais, a tendência é na desvalorização desses imóveis. Porém, de acordo Santos (2014), o sistema de transporte público, implantado pelo Metrô, facilita a mobilidade e acessibilidade ao trabalho, aumentando a valorização imobiliária das áreas onde está inserido.

No caso do monotrilho, também se considera esta valorização imobiliária, levando-se em conta que consiste de uma estrutura que não possui laje de fechamento entre as vigas e, nos poucos casos onde passa próximo às edificações lindeiras, respeita as distâncias mínimas para a preservação das mesmas e, também para a privacidade da população local. Por estes motivos, não deve ser comparado ao “Minhocão”, que possui tabuleiro em sua estrutura e passa muito próximo

as edificações, com a passagem de veículos que produzem alto índice de ruído e grande volume de gases poluentes. Além disso, o monotrilho está inserido sobre canteiro central em avenidas que possuem no mínimo três faixas e calçadas em 16 km dos seus 18 km de percurso total (SANTOS, 2014).

2.3 Definições de impactos urbanos e ambientais

Segundo a Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986:

“[...] considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais” (BRASIL, 1986).

A definição de impactos urbanos, segundo a Lei Nº 10.257 de 10 de Julho de 2001:

“Art. 37 - O EIV será executado de forma a contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade quanto à qualidade de vida da população residente na área e suas proximidades, incluindo a análise, no mínimo, das seguintes questões:

I - adensamento populacional; II - equipamentos urbanos e comunitários; III - uso e ocupação do solo; IV - valorização imobiliária; V - geração de tráfego e demanda por transporte público; VI - ventilação e iluminação; VII - paisagem urbana e patrimônio natural e cultural”.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Importâncias da matriz

De acordo com *Lollo* (2006), a seguir, destacam-se as relevâncias para o uso da matriz de impactos nos estudos de pré-projeto dos empreendimentos: por um processo quantitativo (atribuição de pesos as classificações dos impactos), a matriz consegue qualificar os impactos ocorridos no empreendimento, tornando-se assim uma matriz de análise qualitativa; a matriz tem como objetivo identificar e avaliar os impactos de forma rápida, agilizando as tomadas de decisão; após a análise sobre a relevância dos impactos, é possível determinar onde as medidas mitigadoras, de controle, potencializadoras e compensatórias devem ter maior empregabilidade; impactos possuem análise subjetiva. Porém, se atribuídos pesos com critérios, as suas avaliações se tornam mais precisas, ou seja, destituem de subjetividade. O estudo de impactos urbanos e ambientais é importante para determinar os possíveis impactos gerados pelos novos projetos propostos, bem como subsidiar propostas de planejamentos urbanos setoriais e globais dos municípios, para bairros e distritos ou Plano Diretor, respectivamente.

A gestão responsável e eficaz possibilita à população, em geral, a garantia do direito constitucional a um meio ambiente equilibrado. (GONÇALVES NETO, 2010).

3.2 Critérios para avaliação da matriz de impactos adaptada

Os resultados desse estudo baseiam-se em processo matricial de comparação dos impactos avaliados, tomando por base o modelo elaborado por *Lollo e Röhm* (2005), de modo a apresentar a avaliação dos impactos em áreas urbanas de maneira simples. O sistema matricial atribui agilidade, simplicidade e flexibilidade ao levantamento e avaliação de impactos (LOLLO & RÖHM, 2005, p.7).

A proposta básica da matriz, “de impacto” (LOLLO, 2006) consiste em cruzar ações propostas com fatores ambientais, e atribuir a esses cruzamentos (que caracterizam os impactos urbanos) valores que representam a importância relativa (GONÇALVES NETO, 2010).

A valoração dos impactos, segundo modelo de *Lollo* (2006), consiste em classificá-los quanto à natureza, à ordem, à magnitude e duração. Seguindo os seguintes critérios: natureza: impactos positivos (benéfico) e impactos negativos (maléfico); ordem: diretos, cujas causas são claramente relacionadas as ações do empreendimento, e indiretos, cujas causas não são necessariamente exclusivas do empreendimento; magnitude: alta, alterações que descaracterizam o ambiente; média, alterações que comprometem sua função, mas não o descaracteriza; baixa, alterações pouco significativas ao meio ambiente; duração: permanente, não há prazo para término, ou previsão para controle ou recuperação do impacto; temporário, há prazo previsto para término, ou por execução do trabalho ou por disponibilidade de tecnologia para controle do impacto. “Para cada uma das condições descritas foram estabelecidos valores (pesos) que consideram a importância relativa do impacto, de forma a permitir a valoração dos impactos” (GONÇALVES NETO, 2010, p.35).

CLASSIFICAÇÃO	CLASSES	VALORES
Ordem	Direto	3
	Indireto	1
Magnitude	Alto	3
	Médio	2
	Baixo	1
Duração	Permanente	3
	Temporário	1

TABELA 1 • Pesos atribuídos aos impactos avaliados.

FONTE: *Lollo* (2006).

A matriz proposta pelo autor foi modificada para adequá-la aos impactos da Linha 17 - Ouro do Monotrilho conforme a tabela acima. *Lollo* (2006 apud GONÇALVES NETO, 2010, p.34) distingue “a fase do empreendimento em que o impacto se dá de forma a ponderar corretamente a importância de cada impacto”, porém neste estudo abrange-se apenas a etapa de implantação do modal monotrilho. *Lollo* (2006) estrutura a matriz de impacto de maneira a contemplar: [...] as categorias de informação (aspectos da ocupação, suas categorias, suas consequências, componentes ambientais avaliados, medidas mitigadoras e compensatórias previstas) em colunas, enquanto as ações propriamente ditas são descritas e têm seus impactos avaliados em linhas de matriz. (LOLLO, 2006, p.174).

Os impactos estudados na fase de implantação da Linha-17 Ouro encontrassem na Matriz de Impacto.

IMPACTOS	OCORRÊNCIA IMPACTANTE	IMPACTOS POTENCIAIS	ELEMENTO IMPACTADO	JUSTIFICATIVA	MEDIDAS	CLASSIFICAÇÃO				
						NATUREZA	ORDEM	MAGNITUDE	DURAÇÃO	TOTAL
Potencial alteração da qualidade das águas superficiais	Resíduos de construção civil e de demolição depositados nas águas; vazamentos de combustíveis e óleos lubrificantes	Risco à saúde pública e contaminação das águas superficiais	Águas superficiais	Quanto à ordem, classifica-se como direto, os resíduos de construção civil e demolição e vazamentos de combustíveis e óleos lubrificantes estão claramente relacionados as ações da implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente, à construção propriamente dita e ao uso de frota de veículos (leves e pesados) e de máquinas e equipamentos movidos por motores à combustão necessários à implantação; quanto à magnitude, apesar da provável ocorrência, considera-se trabalhos realizados em cuto período e medidas de controle de alta resolução e de responsabilidade do empreendedor, a potencial alteração da qualidade das águas superficiais torna-se pouco significativa; quanto à duração, o impacto classifica-se como permanente, quando as águas superficiais são contaminadas não se configura prazo para término da intervenção ou previsão de tecnologia para controle ou recuperação do impacto.	CONTROLE: implantação de Plano de Gestão e Controle Ambiental das Obras, implantação de específicos dispositivos de controle e redirecionamento do escoamento pluvial de superfície e de contenção de sedimentos, de tal forma evitar o fluxo de sedimentos / detritos em geral para o interior dos corpos hídricos locais.	Negativa	3	1	3	7
Potencial alteração da qualidade do solo	Vazamento de combustíveis e óleos lubrificantes	Risco à saúde pública e contaminação do solo	Solo	Quanto à ordem, classifica-se como direto, os resíduos de vazamentos de combustíveis e óleos lubrificantes estão claramente relacionados as ações da implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente ao uso de frota de veículos (leves e pesados) e de máquinas e equipamentos movidos por motores à combustão necessários à implantação; quanto à magnitude, considera-se medida de controle de alta resolução e de responsabilidade do empreendedor, a potencial alteração do solo torna-se de baixa relevância; quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, condição em que há disponibilidade de tecnologia de controle e de reversão do impacto.	CONTROLE: implantação do Plano de Gestão e Controle Ambiental das Obras	Negativa	3	1	1	5
Potencial alteração da qualidade das águas subterrâneas		Risco à saúde pública e contaminação das águas subterrâneas e lençol freático	Águas subterrâneas	Quanto à ordem, classifica-se como direto, os resíduos de vazamentos de combustíveis e óleos lubrificantes estão claramente relacionados as ações da implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente ao uso de frota de veículos (leves e pesados) e de máquinas e equipamentos movidos por motores à combustão necessários à implantação; quanto à magnitude, considera-se medidas de controle de alta resolução e de responsabilidade do empreendedor, a potencial alteração da qualidade das águas subterrâneas torna-se de baixa relevância; quanto à duração, o impacto classifica-se como permanente, quando as águas subterrâneas são contaminadas não se configura prazo para término da intervenção ou previsão de tecnologia para controle ou recuperação do impacto.		Negativa	3	1	3	7

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

IMPACTOS	OCORRÊNCIA IMPACTANTE	IMPACTOS POTENCIAIS	ELEMENTO IMPACTADO	JUSTIFICATIVA	MEDIDAS	CLASSIFICAÇÃO				
						NATUREZA	ORDEM	MAGNITUDE	DURAÇÃO	TOTAL
Risco de alteração pontual na qualidade do ar	Aumento das concentrações de material particulado em suspensão, poeiras e emissão de gases veiculares	Risco à saúde pública	Ar	Quanto à ordem classifica-se como direto, o aumento das concentrações de material particulado em suspensão, de poeiras e de emissão de gases veiculares estão claramente relacionados as ações de implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente às operações de movimentação de terra e rocha, ao trânsito de veículos leves, pesados e de máquinas e equipamentos, à montagem de estruturas de obras civis, ao manuseio de insumos e materiais pulverulentos, ao trânsito dos caminhões, às ações dos ventos locais, ao aumento dos poluentes associados, principalmente, à emissão de gases dos motores dos veículos, máquinas e equipamentos; quanto à magnitude propõe-se classe alta, independente das medidas de controle de alta resolução e de responsabilidade do empreendedor, o risco de alteração pontual na qualidade do ar é inerente as atividades de implantação; quanto à duração o impacto classifica-se como temporário, o prazo previsto para término do impacto associa-se ao término das atividades de implantação.	CONTROLE: manutenção permanente dos veículos empenhados na construção do monotrilho; uso de EPT's; umectação das principais praças e frentes de serviços (Plano de Gestão e Controle Ambiental das Obras e Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar	Negativa	3	3	1	7
Alteração pontual dos níveis de ruídos	Equipamentos para escavações e carregamentos, para sondagens / estaqueamentos, caminhões, tratores, retro-escavadeiras	Desconforto à população linceira	Níveis de ruídos	Quanto à ordem classifica-se como direto, a alteração pontual dos níveis de ruídos tem sua causa claramente relacionada as ações de implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente ao uso de veículos, máquinas e equipamentos necessários à construção; quanto à magnitude propõe-se classe alta, independente das medidas de controle de alta resolução e de responsabilidade do empreendedor, os causadores do impacto são imprecindíveis à construção e a alteração pontual dos níveis de ruídos são inerentes as atividades; quanto à duração o impacto classifica-se como temporário, o prazo previsto para término do impacto associa-se ao término das atividadesde implantação.	CONTROLE: Adequações dos horários das atividades; Inspeções e manutenções sistemáticas de níveis de ruído de máquinas, veículos e equipamentos; Uso de EPIs; Medições periódicas do nível de pressão sonora, segundo requisitos da norma ABNT NBR 10151 (Programa de Monitoramento dos Níveis de Ruídos e Vibrações); Instalação de proteção com involucro ou barreira acústica em segmentos onde os ruídos sejam mais incômodos	Negativa	3	3	1	7
Riscos de ocorrências de vibrações induzidas no solo	Operação dos equipamentos mecânicos que executam os serviços de escavações, aterros, implantação de pilares e vigas de sustentação, construções; características geológico-geotécnicas do local.	Recalques e/ou abalos estruturais e desconforto à população	Construções/edificações vizinhas	Quanto à ordem classifica-se como direto, os riscos de ocorrências de vibrações induzidas no solo tem sua causa claramente relacionada as ações de implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, mais especificamente à operação dos equipamentos mecânicos que executam os serviços de escavações, aterros, implantação de pilares e vigas de sustentação, construções, características geológico-geotécnicas do local; quanto à magnitude propõe-se classe média, com medida mitigadora torna-se de ocorrência pouco provável, porém caso ocorra tem alta relevância; quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, o prazo previsto para término do impacto associa-se ao término das atividades de implantação.	MITIGADORA: implantação do Programa de Monitoramento dos Níveis de Ruídos de Vibrações e do Plano de Gerenciamento de Riscos de Ações de Emergência	Negativa	3	2	1	6

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

IMPACTOS	OCORRÊNCIA IMPACTANTE	IMPACTOS POTENCIAIS	ELEMENTO IMPACTADO	JUSTIFICATIVA	MEDIDAS	CLASSIFICAÇÃO				
						NATUREZA	ORDEM	MAGNITUDE	DURAÇÃO	TOTAL
Risco de ocorrência de afugentamento da avifauna	Aumento do nível de ruído e mudança na paisagem	Fuga das aves no entorno da Linha 17-Ouro do Monotrilho	Avifauna	Quanto à ordem classifica-se como indireto, o aumento do nível de ruído e mudança na paisagem não está exclusivamente relacionada as intervenções da implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, o deslocamento da avifauna pode ocorrer em toda a região do entorno, mas apenas intensificado pelo empreendimento, uma vez que os ruídos de trafego já ocorrem na zona urbana; quanto à magnitude propõe-se classe baixa, as medidas de controle têm bom grau de resolução, além disso, a avifauna identificada é típica de área urbana e com alta plasticidade ecológica; quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, o prazo previsto para término do impacto associa-se ao término das atividades de implantação.	CONTROLE: adaptação dos horários de determinadas atividades que geram ruídos excessivos; manutenção e inspeção dos motores, silenciadores e escapamentos de máquinas; segundo ABNT NBR 10151 medições em pontos estratégicos do nível de pressão sonora feito pelo Programa de Monitoramento dos Níveis de Ruídos e Vibrações; instalação de proteção com involucro ou barreira acústica em segmentos onde os ruídos sejam mais incômodos	Negativa	1	1	1	3
Supressão de indivíduos arbóreos	Remoção da vegetação	Transplantes e supressões de indivíduos arbóreos	Vegetação	Quanto à ordem classifica-se como indireto, a remoção da vegetação não está exclusivamente relacionada a intervenções da implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho; quanto à magnitude propõe-se classe baixa, consideradas medidas mitigadoras e compensatórias de alta resolução, a cobertura atual é totalmente antropizada, área cujas características originais (solo, vegetação, relevo e regime hídrico) foram alteradas por consequência de atividade humana; quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, mediante medida compensatória.	MITIGADORA: replantar espécies de maiores significância ecológica COM-PENSATORIA: projetos paisagísticos nas implantações da Avenida Perimetral e na praça localizada em frente ao estádio do Morumbi	Positiva	1	1	1	3
Reestruturação do sistema viário nas proximidades do empreendimento	Mudanças nas vias para melhor inserção do monotrilho	Reestruturação nas vias do entorno do monotrilho, canalização de corregos e melhor drenagem pela inserção de reservatórios	Vias	Quanto à ordem classifica-se como indireto, mudanças nas vias não são exclusivamente relacionadas a intervenções do empreendimento; quanto à magnitude propõe-se classe alta, embora haja medida mitigadora, as intervenções são feitas em meio saturado; quanto à duração o impacto foi classificado como permanente, o sistema viário permanece reestruturado.	MITIGADORA: Programa de Comunicação Social; diversas sinalização indicadora das alterações das vias	Positiva	1	3	3	7
Risco de ocorrência de diminuição da fluidez e/ou mobilidade do trânsito nas proximidades da obra e de acidentes de trânsito e/ou congestionamentos, decorrentes da reestruturação do sistema viário	Remoção da vegetação, alargamentos do sistema viário e inserção de infraestrutura	Probabilidade no aumento de acidentes na região e redução na mobilidade urbana local	Vias e população	Quanto à ordem classifica-se como indireto, tem sua causa não exclusivamente relacionada a intervenções do empreendimento; quanto à magnitude propõe classe alta, alteração que descaracteriza o componente urbano, quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, o prazo previsto para término do impacto associa-se ao término das atividades de implantação.	MITIGADORA: Programa de Comunicação Social	Negativa	1	3	1	5

Continua na pág. xx

Continuação da pág. xx

IMPACTOS	OCORRÊNCIA IMPACTANTE	IMPACTOS POTENCIAIS	ELEMENTO IMPACTADO	JUSTIFICATIVA	MEDIDAS	CLASSIFICAÇÃO				
						NATUREZA	ORDEM	MAGNITUDE	DURAÇÃO	TOTAL
Geração de Empregos	Alto número de novas vagas para diferentes tipos de atividades	Menor índice de desemprego	Taxa de desemprego	Quanto à ordem classifica-se como indireto, alto número de novas vagas para diferentes tipos de atividades não está exclusivamente relacionado a intervenções do empreendimento, quanto à magnitude propõe classe alta, alteração promove descaracterização do componente urbano, quanto à duração o impacto foi classificado como temporário, o número de empregos associa-se a duração da implantação.	POTENCIALIZADORA: Programa de Comunicação Social responsável pela divulgação das vagas	Positiva	1	3	1	5
Alteração da paisagem da ADA	Implantação e operação de um sistema elevado de transporte público	Melhora na mobilidade urbana; aumento do fluxo veicular nas proximidades das residências	Paisagem	Quanto à ordem classifica-se como direto, alteração da paisagem da área diretamente afetada está claramente relacionada à implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho; quanto à magnitude propõe-se classe alta, alteração que promove recaracterização do meio urbano; quanto à duração o impacto foi classificado como permanente, mediante implantação do sistema monotrilho e projetos paisagísticos.	MITIGADORA: projetos paisagísticos	Negativa	3	3	3	9
Incremento da ação do mercado imobiliário e oscilação do valor dos imóveis	Implantação e operação de um sistema elevado de transporte público	Valorização do imóvel comercial e residencial.	Imóvel	Quanto à ordem classifica-se como direto, a valorização do imóvel comercial e residencial está claramente relacionada as ações da implantação do sistema monotrilho; quanto à magnitude, visto que não possui medida de potencialização deve ser considerado um impacto de alto grau de relevância; quanto à duração, o impacto foi classificado como permanente, não se configura prazo para término da intervenção no mercado imobiliário.		Negativa	3	3	3	9
Perda de imóveis e impacto social pelo processo de desapropriação	Faixa necessária para a implantação do monotrilho	Desapropriação e relocação dos moradores	Moradores da região de implantação	Quanto à ordem classifica-se como direto, a desapropriação e relocação dos moradores está claramente relacionada a ações de implantação da Linha 17 - Ouro do Monotrilho, propriamente dita; quanto à magnitude propõe-se classe alta, embora suas medidas mitigadoras e compensatórias apresentem alto grau de resolução, o impacto descaracteriza o componente urbano; quanto à duração o impacto foi classificado como permanente, a faixa desapropriada dá lugar ao sistema monotrilho.	MITIGADORA E COMPENSATÓRIA: auxiliando o processo de desapropriação com Programa de Negociação do Processo de Desapropriação dos Imóveis Afetados	Negativa	3	3	3	9

TABELA 2 • Matriz de Impactos da etapa de implantação da Linha 17-Ouro.

4 RESULTADOS

A matriz de impactos da Linha 17-Ouro apresenta como o impacto mais relevante durante a implantação do monotrilho a perda de imóveis e o impacto social pelo processo de desapropriação, visto que este item levou a nota máxima nos três critérios de classificação. Como segundo impacto mais relevante, tem-se o incremento da ação do mercado imobiliário e oscilação do valor dos imóveis. Desta forma, é possível notar que os dois impactos mais relevantes têm em comum o setor imobiliário e são classificados como impactos negativos.

No impacto, perda de imóveis e o impacto social pelo processo de desapropriação, a desapropriação e a relocação dos moradores são obrigatórias. Enquanto no segundo impacto, incremento da ação do mercado imobiliário e oscilação do valor dos imóveis, os motivos desta desvalorização envolveram fatores como: ruído e poeira geradores de desconforto dos moradores; falta de segurança no entorno do empreendimento, devido ao maior fluxo de pessoas atraídas pela construção do sistema monotrilho; alteração no tráfego de veículos e circulação de pedestres.

Nos demais impactos, é possível concluir que a maioria deles é classificada como negativo e estão ligados principalmente a saúde e bem estar da população. Dentre os positivos, destacam-se a supressão de indivíduos arbóreos e a reestruturação do sistema viário nas proximidades do empreendimento.

Apesar das remoções e dos transplantes dos indivíduos arbóreos, através das medidas compensatórias, a região por onde passar a Linha 17 – Ouro, após conclusão dos projetos, terá mais vegetação no local do que tinha antes de sua implantação e a reestruturação do sistema viário proporcionará a canalização de córregos, a qual interfere como melhoria para a saúde pública e melhoria do trânsito.

5 CONCLUSÕES

Seria inviável uma conclusão assertiva a respeito da viabilidade de implantação do monotrilho sem análise da etapa de operação do sistema, além da implantação abordada no estudo. Portanto, partiu-se do pressuposto de operação bem sucedida e duradoura, ou seja, uma operação que atenda à demanda da região de maneira eficiente e eficaz durante os cem anos de operação estipulados no projeto. Mesmo com impactos urbanos e ambientais significativamente elevados durante a etapa de implantação, seus atributos positivos e relevância à malha urbana permitem afirmar que sua implantação é viável satisfatoriamente e que os benefícios à população superam eventuais malefícios que possam ocorrer durante a fase de implantação.

É importante destacar que as conclusões são reais caso as medidas de controle ambiental exibidas na matriz proposta sejam efetivamente cumpridas pelos empreendedores responsáveis. Espera-se então, que o poder público se manifeste de maneira fiscalizadora e exija o cumprimento efetivo das medidas e programas estabelecidos no projeto. As medidas são voltadas ao controle, correção, prevenção, compensação e potencialização dos impactos ambientais identificados.

Iniciativas de pesquisa como este estudo serão cada vez mais fundamentais para desenvolver o tema “Impactos urbanos e ambientais do transporte público”. Não foi encontrada farta bibliografia a respeito do tema abordado no trabalho, apesar de sua importância relacionada ao transporte público, ao ambiente antrópico, e por representar uma nova alternativa à malha urbana.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Resolução Conama**. [S.I.], 17 fev. 1986.

_____. **Lei nº 10257 de 10 de julho de 2001**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em 14 out 2014.

CARVALHO, Pedro. **Saiba como o monotrilho vai impactar áreas importantes de São Paulo**, Infraestrutura, IG, 19/04/2012. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/2012-04-19/saiba-como-o-monotrilho-vai-impactar-areas-importantes-de-sao-pa.html>>. Acesso em: 19 out. 2013.

_____. **EIA-RIMA** - Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental: Linha 17 - OURO- Ligação do Aeroporto Congonhas à Rede Metroferroviária, Metrô Gestão Ambiental, São Paulo, s/d b.

GONÇALVES NETO, Pedro Silveira. **Análise de Impactos de Vizinhança Decorrentes da Implantação de Supermercados no Município de São Carlos**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em engenharia urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. Disponível em: <http://www.bdtf.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_arquivos/11/TDE-2010-06-30T160525Z-3139/Publico/3076.pdf>. Acesso em 12 out 2014.

LOLLO, J.A. **Utilização de Sistema de Informações Geográficas em Estudo de Impacto de Vizinhança**: o caso do Pólo Tecnológico de São Carlos, Relatório de Pós-Doutorado entregue à CNPQ, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

LOLLO, J.A.; ROHM, S.A. **Proposta de Matriz para Levantamento e Avaliação de Impactos de Vizinhança**. Holos Environment, v. 5 n. 2, 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/lollo2matriz.pdf>. Acesso em: 06 out. 2014.

MONORAIL SOCIETY, The. *Definition of monorail*. s/d a. Disponível em: <<http://www.monorails.org/tMspages/WhatIs.html>>. Acesso em: 09 ago. 2014.

PEDUZZI, Pedro. **Agência Brasil Empresa Brasil de Comunicação**: Transporte público ruim afeta saúde, educação e cultura da população, dizem especialistas, Agência Brasil, 06/07/2013. Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-07-06/transporte-publico-ruim-afeta-saude-educacao-e-cultura-da-populacao-dizem-especialistas>>. Acesso em: 08 set. 2014.

ROSATI, César; GERAQUE, Eduardo. **Obra do monotrilho de SP gera críticas; moradores temem degradação**, Cotidiano, Folha de São Paulo, 01/10/2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/10/1349923-obra-do-monotrilho-de-sp-gera-criticas-moradores-temem-degradacao.shtml>>. Acesso em: 30 set. 2014.

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO: DETERMINAÇÃO DE TEORES ÓTIMOS DE FIBRAS DE AÇO

Claudio de Campos Pereira Junior ¹
Alfonso Pappalardo Junior ²

Resumo

“Estruturas em concreto são utilizadas em elevada escala no setor de construção civil no Brasil, e em maior abrangência do mesmo setor no mundo. Sendo assim, este material torna-se alvo de análise das engenharias de estruturas, de materiais, química, entre outras, pois seu potencial socioeconômico é de fundamental importância para o desenvolvimento de qualquer sociedade. Portanto, estudos e pesquisas possibilitam a adição e/ou o aumento de qualidades referentes às propriedades estruturais do concreto, vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de agregar valores no setor de construção civil.

Assim, o presente trabalho apresenta um enfoque às características do concreto reforçado com fibras de aço, demonstrando resultados de resistências do concreto reforçado com fibras de aço em relação ao concreto simples, utilizando-se para isto, ensaios mecânicos e computacionais.

Os ensaios mecânicos foram realizados utilizando corpos de prova cilíndricos e prismáticos, com e sem o reforço de fibras de aço, submetidos à carga de teste nas idades de 7 e 28 dias. Os teores de fibras de aço adicionados as matrizes cimentícias foram de 0,6%, 1,0% e 2,2%, obtendo-se assim, resultados de resistências nos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão do concreto fibroso em relação ao simples.

Para os ensaios computacionais foi utilizado o *software* ANSYS MULTIPHYSICS, buscando a simulação por modelagem matemática dos ensaios de compressão axial e de tração na flexão, via método dos elementos finitos e de convergência pelo algoritmo *Newton-Raphson*. ”

Palavras-chave » Fibras de aço. Concreto com fibras de aço. Comportamento mecânico.

¹ E-mail: claudio_camperjr@hotmail.com.

² E-mail: alfonso.pappalardo@mackenzie.br.

1 INTRODUÇÃO

Fibras de aço são elementos descontínuos, que possuem como característica dimensional sua medida longitudinal superando de forma significativa sua medida transversal. As fibras destinadas ao reforço do concreto também são chamadas de macro fibras, e geralmente possuem extremidades em formato de gancho para aumentar a ancoragem (FIGUEIREDO, 2011).

1.1 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho estão subdivididos em objetivo geral e objetivo específico, e são apresentados a seguir.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer teores ótimos de fibras de aço por volume unitário de concreto, que permita observar as vantagens estruturais de sua adição em função de variações de resistências, através de ensaios mecânicos e computacionais.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar as propriedades do concreto adicionado de fibras de aço, em relação à tração, flexão e compressão, e investigar as situações em que o concreto fibroso apresenta melhor resposta dinâmica, observando assim, possibilidades de vantagens socioeconômicas, a partir das melhorias estruturais provenientes desta adição.

2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)

O concreto reforçado com fibras de aço é um tipo de compósito, que interessa mutuamente o setor de pesquisas de estruturas da construção civil, o mercado empresarial abrange, por consequência, o consumidor. Esta última parte, apesar de não ter consciência do assunto propriamente dito na maioria dos casos, provém recursos que possibilitam a continuidade de produção deste material, além disso, esta parte é a maior beneficiária de estruturas de concreto reforçada com fibras de aço, pois é confirmado que as atribuições deste tipo de estrutura apresentam maior amplitude a nível de durabilidade estrutural, em comparação às estruturas de concreto sem o reforço das fibras de aço.

Estudos realizados por Barboza et al (2011) constataram que a posição da linha neutra em corpos de prova prismáticos de concreto reforçado com fibras de aço, alterou-se de maneira a se distanciar da borda superior, em relação aos mesmos sem fibras, quando submetidos à flexão. Assim sendo, os corpos de prova fibrosos ensaiados passaram a possuir maior área de compressão, possibilitando menores deformações.

2.1 Fibras de aço

As fibras de aço utilizadas neste trabalho apresentam comprimento igual a 50 mm, diâmetro igual a 0,75 mm, sendo a resistência à tração superior a 1100 MPa, deformação de ruptura inferior a 4%, e módulo de elasticidade igual a 210000 MPa. Os formatos dessas fibras possibilitam melhor adesão entre estas e a matriz, esta vantagem é fatídica, pois a existência de curvatura nas extremidades possibilita a transferência de tensões de forma similar à ancoragem de armaduras. Essas fibras são produzidas, a partir de aço com baixo teor de carbono com trefilamento a frio. A modelagem e corte são

realizados através de estampagem de arames de aço, conforme as normas: ASTM A 820/20, ASTM C 1116/03, DIN 1045, UNI 11037, EN 14889-1 e NBR 15530 (ABNT, 2007).

A Fotografia 1 mostra as fibras utilizadas para esta pesquisa.



FOTOGRAFIA 1 • Fibras de aço utilizadas nesta pesquisa.

FONTE: elaborado pelo autor.

3 PROGRAMA EXPERIENTAL E RESULTADOS

Na presente seção encontra-se o detalhamento dos ensaios com seus respectivos procedimentos para verificação das propriedades mecânicas do concreto fibroso, nos âmbitos real e virtual, realizados nos laboratórios da UPM (Universidade Presbiteriana Mackenzie). Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção, e os ensaios computacionais efetuados no Laboratório

de Informática, que utiliza *softwares* de modelagem matemática por meio do Método dos Elementos Finitos.

3.1 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados objetivando quantificar o teor de fibras que mais se aproxima do ideal, em função das resistências máximas alcançadas nas situações em que o concreto fibroso é solicitado na compressão, tração e flexão. Além disso, estes ensaios também possibilita-se, o fornecimento de dados para comparações entre o concreto sem fibras e o concreto reforçado com fibras de aço, estes dados foram utilizados para averiguar mudanças significativas no comportamento do concreto fibroso em relação ao simples, durante a aplicação de tensões.

Na totalidade foram produzidas 72 unidades de teste, sendo 48 corpos de prova cilíndricos, e 24 prismáticos. Os teores de fibras aplicados foram de 0,6%, 1,0% e 2,2% para todos os ensaios mecânicos, sendo moldados para cada teor três corpos de prova, para cada ensaio nas idades de 7 e 28 dias. Também foram produzidos três corpos de prova sem fibras de aço para cada ensaio e cada idade, sendo utilizados como referência. Estes foram ensaiados no Laboratório de Análise de Materiais de Construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Os ensaios mecânicos realizados estão descritos nos próximos tópicos.

3.1.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para este ensaio foram produzidos corpos de prova cilíndricos com dimensões de 150 mm de diâmetro, e 300 mm de comprimento, estando em conformidade com a norma brasileira NBR 5739 (ABNT, 2007). Assim, utiliza-se máquina com capacidade mecânica de compressão de 2 MN. A Fotografia 2 possibilita a observação do ensaio realizado.



FOTOGRAFIA 2 • Ensaio de resistência à compressão axial.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.1.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Foram moldados para este ensaio corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, de acordo com a norma brasileira NBR 7222 (ABNT, 2011). Assim, utiliza-se máquina com capacidade mecânica de compressão de 2 MN. A Fotografia 3 possibilita a observação do ensaio realizado.



FOTOGRAFIA 3 • Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.1.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Foram moldados para este ensaio corpos de prova prismáticos, com dimensões de 100 mm de altura, 100 mm de largura e 400 mm de comprimento de acordo com a norma

brasileira NBR 12142 (ABNT, 2010). Foi utilizada máquina universal com capacidade de compressão de 600 KN. A Fotografia 4 mostra o ensaio realizado.



FOTOGRAFIA 4 • Ensaio de resistência à tração na flexão.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.2 Resultados dos ensaios mecânicos

Os resultados para cada tipo de ensaio, e para cada idade foram posicionados graficamente, possibilitando a realização de curvas de resistência versus teor de fibras de aço, curvas estas polinomiais dos graus dois e três. Cada ponto plotado nas curvas representa uma média aritmética de três valores de resistência para cada teor de fibras.

O teor ótimo de fibras para cada ensaio foi definido, através da equação parabólica de cada curva, derivando-se cada polinômio e o igualando a zero.

Para os corpos de prova na idade de 7 dias a Tabela 1, apresenta os resultados de aumento de resistências, em comparação aos mesmos sem fibras, e em função dos teores ótimos de fibras de aço, determinados pelo ponto de máximo das curvas dos ensaios mecânicos.

ENSAIO	TEOR ÓTIMO DE FIBRAS (%)	AUMENTO DE RESISTÊNCIA (%)
Compressão axial	1,33	22,86
Tração por compressão diametral	0,28	3,68
Tração na flexão	1,34	53,20

TABELA 1 • Aumentos de resistências em função de teores ótimos de fibras de aço para corpos de prova de idade de 7 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

A Tabela 2 expõe os resultados de aumento de resistências para corpos de prova na idade de 28 dias, em iguais condições, quanto a idade de 7 dias.

ENSAIO	TEOR ÓTIMO DE FIBRAS (%)	AUMENTO DE RESISTÊNCIA (%)
Compressão axial	1,63	5,75
Tração por compressão diametral	0,36	3,85
Tração na flexão	1,68	44,29

TABELA 2 • Aumentos de resistências em função de teores ótimos de fibras de aço para corpos de prova de idade de 28 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.2.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O Gráfico 1 apresenta a curva de resistência à compressão versus teor de fibras, definida pelos ensaios mecânicos de resistência à compressão axial em corpos de prova na idade de 7 dias.

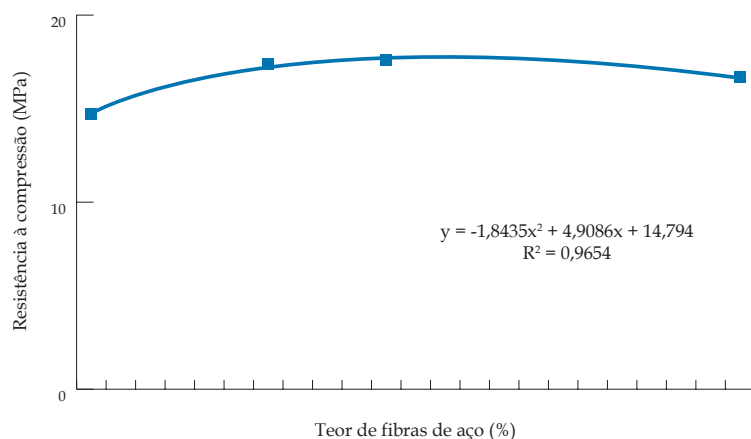


GRÁFICO 1 • Curva de resistência à compressão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios mecânicos de compressão axial em corpos de prova na idade de 7 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

O Gráfico 2 apresenta a curva de resistência à compressão versus teor de fibras de aço, definida pelos ensaios mecânicos de resistência à compressão axial em corpos de prova na idade de 28 dias.

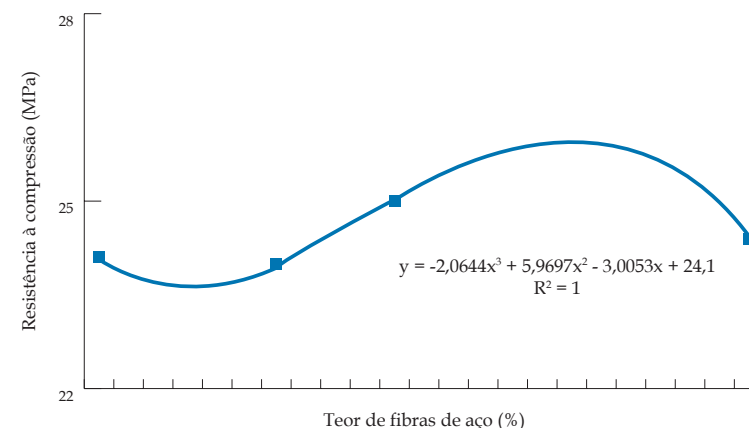


GRÁFICO 2 • Curva de resistência à compressão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios mecânicos de compressão axial em corpos de prova na idade de 28 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.2.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O Gráfico 3 apresenta a curva de resistência à tração versus teor de fibras de aço, definida pelos ensaios mecânicos de tração por compressão diametral em corpos de prova na idade de 7 dias.

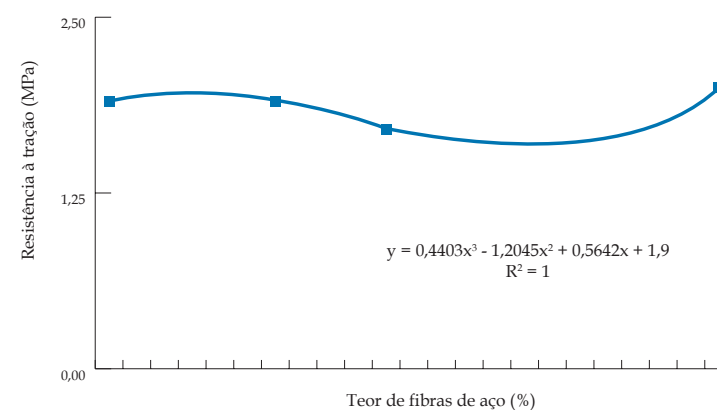


GRÁFICO 3 • Curva de resistência à tração versus teor de fibras definida pelos ensaios mecânicos de tração por compressão diametral em corpos de prova na idade de 7 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

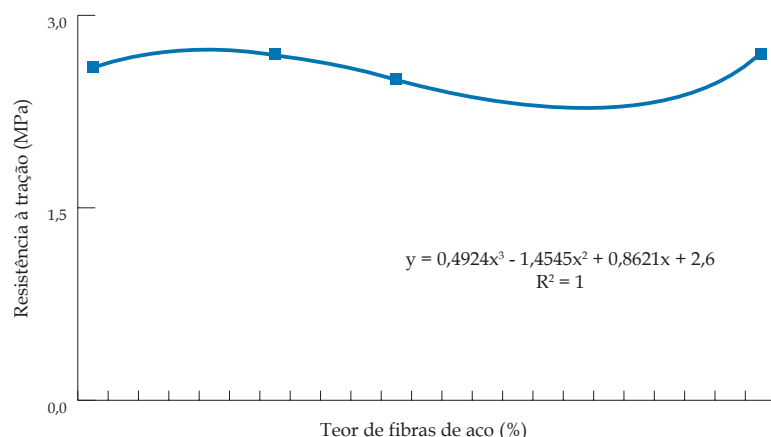


GRÁFICO 4 • Curva de resistência à tração versus teor de fibras definida pelos ensaios mecânicos de tração por compressão diametral em corpos de prova na idade de 28 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.2.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

O Gráfico 5 apresenta a curva de resistência à flexão versus teor de fibras de aço, definida pelos ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão em corpos de prova na idade de 7 dias.

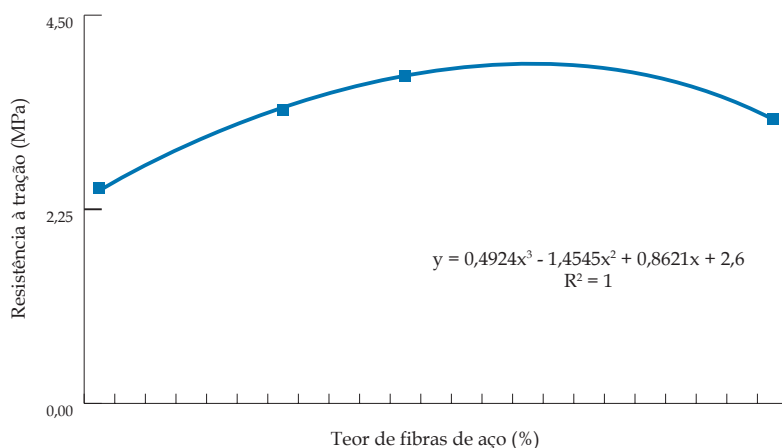


GRÁFICO 5 • Curva de resistência à flexão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios mecânicos de tração na flexão em corpos de prova na idade de 7 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

O Gráfico 6 apresenta a curva de resistência à flexão versus teor de fibras de aço, definida pelos ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão em corpos de prova na idade de 28 dias.

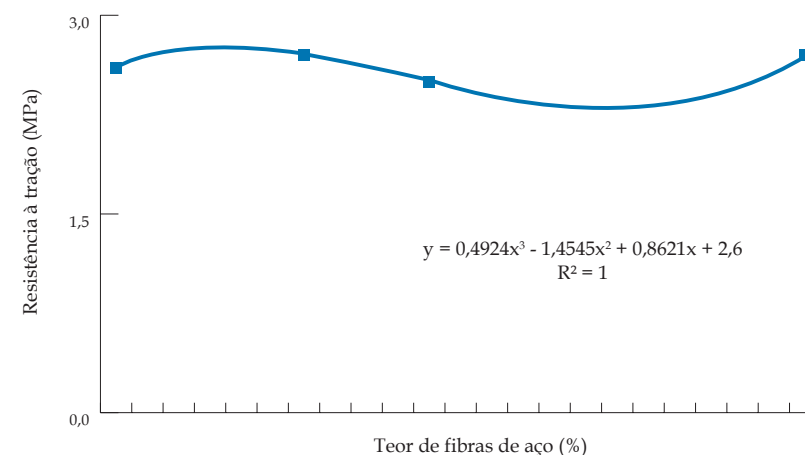


GRÁFICO 6 • Curva de resistência à flexão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios mecânicos de tração na flexão em corpos de prova na idade de 28 dias.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.3 Ensaios computacionais

Os ensaios computacionais foram realizados no software ANSYS MULTIPHYSICS, com licença de uso para pesquisas outorgada pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Assim, foram reproduzidos corpos de prova virtuais utilizando modelagem matemática via método dos elementos finitos. Os elementos virtuais foram subdivididos em elementos finitos, e suas resistências calculadas pelo software através de convergência pelo algoritmo *Newton-Raphson*.

3.3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Foram produzidos cilindros virtuais com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, com variações do teor de fibras de aço de 0,0%, 0,6% e 1,0%.

As fibras foram dispostas randomicamente, alternando-se o vetor de cada fibra. Esta alternância foi realizada pelo próprio *software*, mediante aos comandos específicos.

Este ensaio foi efetuado de maneira a impor um deslocamento limitado entre 0,02 a 0,03 mm, com número de incrementos entre 80 a 100, para cada ensaio. Este deslocamento busca-se reproduzir a realidade, de maneira que toda a área da seção circular superior do cilindro virtual fosse submetida à mesma carga.

3.3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Foram produzidos corpos de prova prismáticos virtuais com dimensões de 100 mm de altura, 100 mm de largura, e 400 mm de comprimento, com variações de teor de fibras de aço de 0,0%, 0,6% e 1,0%. As fibras foram dispostas randomicamente, alternando-se o vetor de cada fibra.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado admitindo um deslocamento entre 0,025 a 0,035 mm, com número de incrementos entre 90 a 100, para cada ensaio. Este deslocamento buscou reproduzir a realidade, de forma a admitir a carga no meio do vão, em sentido descendente. Além disso, os mesmos virtuais foram biapoiados, respeitando-se um vão de 300 mm, com o intuito de reproduzir o ensaio mecânico de tração na flexão.

3.4 Resultados dos ensaios computacionais

Os resultados dos ensaios computacionais foram posicionados graficamente, possibilitando a realização de curvas de resistência versus teor de fibras de aço. Cada ponto plotado nas curvas representa um ensaio efetuado, sendo incluídos teores de fibras de aço para análise matemática em igualdade aos ensaios mecânicos. Para cada ensaio a disposição vetorial de cada fibra do corpo de prova foi imposto de maneira randômica. Para o teor de 2,2% foi adotado a resistência média proveniente dos ensaios mecânicos, e idade de 28 dias. Pois, a aderência entre fibra e matriz no modelo matemático é perfeita, assim sendo, as resistências

à compressão e flexão dos elementos virtuais continuam crescentes após atingir o patamar de 2,2% de teor de fibras de aço, não representando a realidade.

O teor ótimo de fibras para cada ensaio foi definido através da equação parabólica de cada curva, derivando-se cada polinômio e o igualando a zero, assim como realizado nos resultados dos ensaios mecânicos.

A Tabela 3 apresenta os teores ótimos de fibras e os aumentos de resistência para cada ensaio, em comparação ao concreto modelado matematicamente sem fibras.

ENSAIO	TEOR ÓTIMO DE FIBRAS (%)	AUMENTO DE RESISTÊNCIA (%)
Compressão axial	1,27	1,77
Flexão	1,79	39,75

TABELA 3 • Aumentos de resistências em função de teores ótimos de fibras de aço para corpos de prova virtuais.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Figura 1 apresenta as disposições e quantificações das tensões de compressão para corpos de prova virtuais cilíndricos com teores de 0,0%, 0,6% e 1,0% de fibras de aço, observando o sentido da esquerda para a direita, respectivamente.

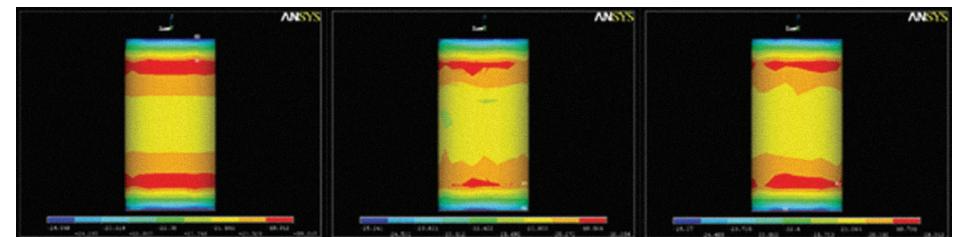


FIGURA 1 • Quantificações e disposições das tensões de compressão nos corpos de prova virtuais cilíndricos com teores de 0,0%, 0,6% e 1,0% de fibras de aço.

FONTE: elaborado pelo autor.

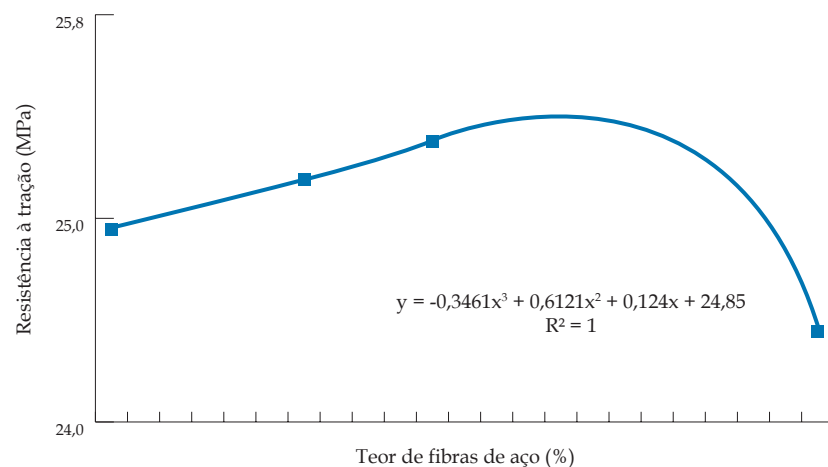


GRÁFICO 7 • Curva de resistência à compressão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios computacionais de compressão em corpos de prova virtuais.

FONTE: elaborado pelo autor.

3.4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

A Figura 2 apresenta as disposições e quantificações das tensões de compressão e tração para corpos de prova virtuais prismáticos, com teores de 0,0%, 0,6% e 1,0% de fibras de aço, observando o sentido da esquerda para a direita, respectivamente.

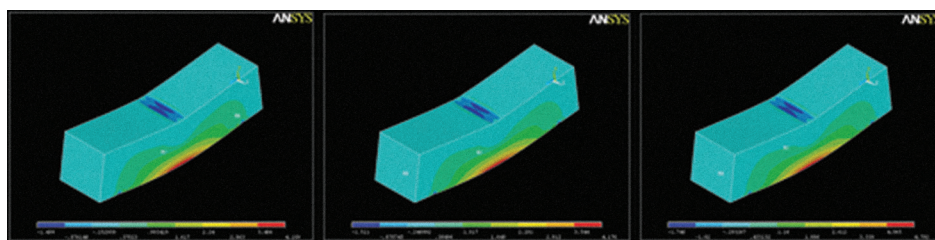
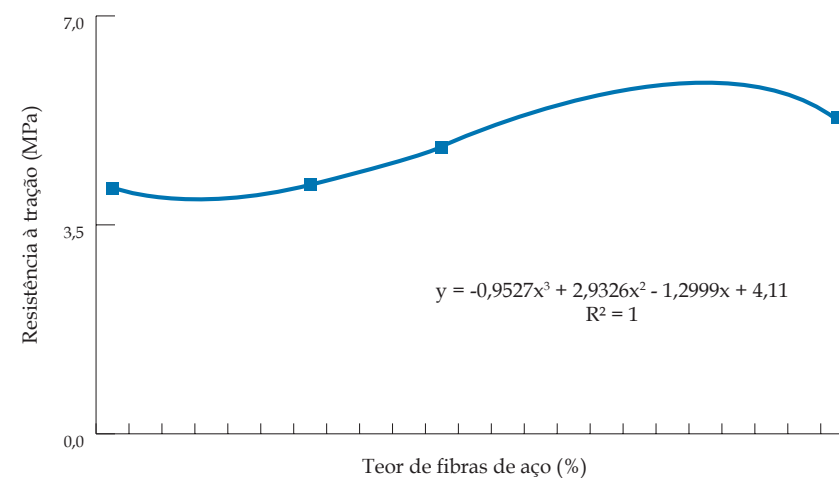


FIGURA 2 • Quantificações e disposições das tensões de compressão e tração nos corpos de prova virtuais prismáticos com teores de 0,0%, 0,6% e 1,0% de fibras de aço.

FONTE: elaborado pelo autor.

O Gráfico 8 apresenta a curva de resistência à flexão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios computacionais de flexão em corpos de prova virtuais. **GRÁFICO 8 •** Curva



de resistência à flexão versus teor de fibras de aço definida pelos ensaios computacionais de flexão em corpos de prova virtuais.

FONTE: elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÃO

A sociedade contemporânea está amparada pela tecnologia provida de recursos científicos, que estão em constante aprimoramento. Assim sendo, estudos e pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de tecnologia do setor de engenharia civil, vêm sendo alvo de buscas referentes à verificação, e consequente otimização das vantagens estruturais, provenientes de aditivos e/ou adições incorporadas em estruturas de concreto.

As fibras de aço apresentam elevado potencial naquilo em que é tangível ao aumento de resistência do concreto, quando este é submetido a variados tipos de carregamentos. Ficou demonstrado no presente trabalho o aumento significativo de resistência do concreto fibroso em relação ao simples, com aplicação de fibras de aço em teores inferiores a 1,4%, apresentando aumentos máximos de resistências em função dos teores ótimos de

fibras de aço, da ordem de 22,9% na resistência à compressão axial, 3,8% na resistência à tração por compressão diametral e 53,2% na resistência à tração na flexão. Sendo assim, fica evidenciado a existência da possibilidade de otimização de seções em estruturas de concreto, em função da aplicação destas fibras, tornando o compósito fibroso não somente mais resistente, mas também mais durável, pois estas possibilitam menores deformações, além do fato de propiciar maior controle na propagação de fissuras, haja vista que a aplicação das fibras de aço é realizada de maneira randômica, em que permite-se o alcance destas, aos limites externos do elemento estrutural, fazendo com que a estrutura deixe de possuir cobertura, e conseqüente menor fragilidade na região.

Então, conforme as conclusões supracitadas, o conteúdo deste trabalho demonstra que, empreender utilizando compósitos fibrosos apresentaria benefícios aos níveis qualitativos e quantitativos. A qualidade está evidenciada nos resultados. Ao nível quantitativo, a otimização de seções em estruturas de concreto se mostra uma possível realidade ainda não explorada pelo mercado atual de construção civil, indicando potencial de inovação na fabricação, principalmente de vigas, pois analogamente aos resultados obtidos dos ensaios de resistência à flexão, pode-se afirmar que as vigas obteriam ganhos elevados dessa resistência, permitindo otimização de seções e conseqüente redução do consumo de concreto. Portanto, a elevação do nível de benefício custo seria uma realidade. Além disso, sabendo-se que a melhoria da produtividade é a obtenção da melhor relação entre volume produzido e recursos consumidos, o aumento produtivo torna-se inerente ao processo de otimização de seções de estruturas em concreto.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto** - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa** - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto - determinação da resistência à tração** na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530: Fibras de aço para concreto** - especificação. Rio de Janeiro, 2007.

BARBOZA, A. S. R.; BARROS, A.R.; GOMES P. C. C. **Concreto autoadensável reforçado com fibras de aço. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais.**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 49 – 78, mar.2011.

FIGUEIREDO, Antônio D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese (Livre-docência)- Universidade de São Paulo, Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, São Paulo, 2011.

COMPORTAMENTO DOS SOLOS MOLES DIANTE DE ATERROS E TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE RECALQUES

Aline A. Guerra ¹

Marina C. S. Campos ²

Patricia M. P. de Oliveira ³

Thiago C. Bosco ⁴

Pedro Silveira Gonçalves Neto ⁵

Resumo

“ Este documento aborda a ocorrência de recalques, deslocamentos de solo e ruptura de aterros, através de um relatório de avaliação da situação do aterro do Lote 1 da Rodovia Federal BR-448, na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, assim como os instrumentos utilizados para a análise e monitoramento do mesmo. Tendo analisado todos os aspectos dessas ocorrências, serão estudadas técnicas de reforço de solos moles como colunas de solo granular, *Jet Grouting*, *Deep Soil Mixing* e *STABTEC*, identificando vantagens, desvantagens e aspectos para a escolha mais apropriada para o estudo de caso. ”

Palavras-chave » Poliestireno Expandido. Sistema Monolítico. Produção mais limpa.

¹ E-mail: aline.aguerra@uol.com.br.

² E-mail: marinacscampos@gmail.com.

³ E-mail: paty1301oliveira@gmail.com.

⁴ E-mail: thiibo21.bosco@gmail.com.

⁵ E-mail: pedro.goncalves@mackenzie.br.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é estudar e analisar as propriedades e as características dos solos moles, assim como as patologias e terapias dos deslocamentos de um solo na presença de um aterro monitorado. Quanto à terapia, analisar as técnicas de melhoramento de solos moles e suas propriedades quanto à execução, desempenho e funcionalidade.

Solo mole é um termo usado para caracterizar um tipo de solo, cuja sua capacidade de carga é muito baixa, devido à presença de água em seu interior. Ele também apresenta baixa permeabilidade, alta compressibilidade, baixa resistência ao cisalhamento, e alta deformabilidade.

Quando ao caso, no qual o solo é mole e exista ocorrência do recalque, devem-se realizar ensaios, verificar a disponibilidade da região em relação ao material, mão de obra e a necessidade da obra, para enfim escolher o método mais adequado para estabilizá-lo.

A obra em estudo foi entregue no início do ano de 2014, e se localiza na Região Metropolitana de Porto Alegre, com 22,34 km de extensão, dividida em três lotes, segundo o Consórcio Gerenciador BR-448/RS (2010).

Durante a segunda etapa de construção dos aterros do Lote 1 foi constatado visualmente e instrumentalmente, que estavam ocorrendo deslocamentos horizontais e verticais excessivos.

Tendo isso em vista, foi realizado um laudo de avaliação, no qual se tinha como objetivo de comprovar estes deslocamentos, verificando se a obra de arte executada antes da execução do aterro estaria em risco de colapso, ou não, e se a berma de equilíbrio proposta para a rodovia atendia as necessidades da obra.

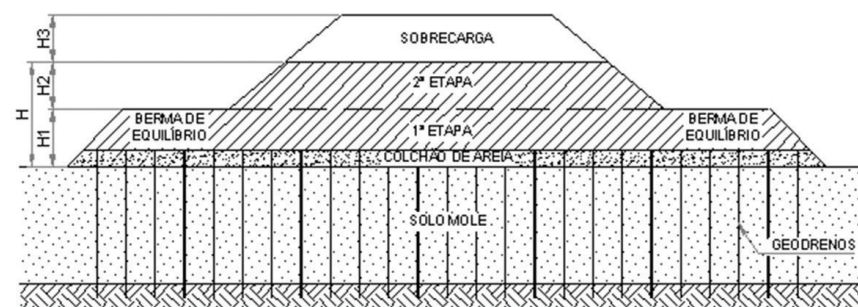
As patologias causadas pelo deslocamento do solo estariam relacionadas à ruptura do aterro da rodovia e dos elementos de fundação de uma ponte, pois as fundações não são projetadas para suportar esforços de pressão horizontal, rompendo com o acréscimo de carga do aterro sobre o solo mole.

Para impedir a ruína da obra de arte, foram propostas técnicas de melhoramento de solo mole, próximo aos encontros das pontes, e quanto à ruptura do aterro foi proposta a alteração geométrica das bermas de equilíbrio.

Serão analisadas duas seções a seguir, ambas localizadas no Lote 1, conforme documentação fornecida. Primeiramente, a estaca 5+300 da seção transversal do aterro, e em seguida o encontro do aterro com uma Ponte (Obra de Arte Especial) na seção longitudinal da rodovia.

2 SEÇÃO TRANVERSAL

A seção do projeto inicial da rodovia, representada no desenho 1, seria composta de um aterro principal, executado por etapas, um aterro de sobrecarga temporária, bermas de equilíbrio nas laterais do aterro principal, um colchão de areia e geodrenos.



DESENHO 1 • Seção de projeto inicial.

FONTE: Elaborado a partir da Norma do DNIT DNER-PRO 381/98 (1998, p.15).

Este conjunto de técnicas tinha o objetivo de acelerar o processo do recalque primário. Isto ocorre quando é aplicada uma carga no solo que gera uma pressão. A pressão comprime o solo, diminui o índice de vazios e faz a água escoar. Devido à compressão do solo, o volume do solo e a altura da camada diminuem, segundo (CAPUTO, 1977).

Complementando a ideia de (CAPUTO, 1977), a expulsão da água “[...] se dá lentamente com o decorrer do tempo, sendo particularmente importante no caso dos solos argilosos saturados.” (RIBEIRO, 2012?).

As bermas de equilíbrio são “[...] aterros laterais que funcionam como contrapeso, opondo-se a eventual ruptura do aterro principal.” (MASSAD, 2012, p.125) e, segundo Caputo (1977), ele é colocado na base do talude com a finalidade de aumentar a sua estabilidade.

Como o solo mole sob a rodovia não tem capacidade de carga para aguentar todo o peso do aterro de uma só vez, utiliza-se da técnica de construção por etapas.

Nela a construção do aterro é dividida, de forma que o solo natural suporte totalmente a primeira parcela de carga, conforme a Norma do DNIT DNER-PRO 381/98 (1998). Esta carga comprime o solo, expulsa a água contida em seus poros, dissipa a pressão neutra e, conseqüentemente, gera um aumento da tensão resistente do solo.

Desta forma, quando for iniciada a segunda etapa de execução do aterro, o solo natural estará mais resistente do que antes, tendo a capacidade de carga necessária para suportar o aterro.

Ainda com o intuito de acelerar o processo recalque primário, segundo, (ASSUNÇÃO, 2010), foi previsto um aterro de sobrecarga temporário.

Esta sobrecarga deixa o terreno menos compressível e com maior capacidade de carga, sem ter a necessidade de subir a cota do greide da rodovia.

A técnica da sobrecarga temporária é apenas utilizada sozinha, quando o solo em questão for silto-arenoso, segundo a Norma do DNIT DNER-PRO 381/98 (1998). No entanto, quando o solo é uma argila de baixa permeabilidade uso de sobrecarga temporária tem que ser combinado com o uso de geodrenos, que são materiais sintéticos constituídos por um composto de dois materiais, um miolo drenante e um revestimento, segundo a FUNDESP. 19.

Os geodrenos tem a função de “[...] remover a água do subsolo [...]” (TAVARES, 2010, p.13) e “[...] de conduzir a água até a superfície do terreno e drená-la através do colchão drenante na superfície [...]” (Norma do DNIT DNER-PRO 381/98, 1998, p.11). Este colchão deve ter uma espessura mínima de 30 cm de areia, e além de drenar a água também tem como função proteger os geodrenos verticais.

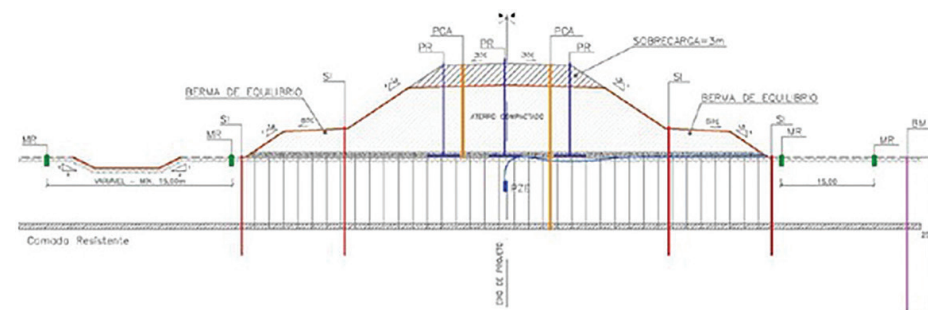
2.1 Monitoramento

Em obras com presença de solo mole, o monitoramento é a chave central para saber como o solo irá se comportar durante e pós a obra. Ele é utilizado para comparar

os deslocamentos vertical e horizontal e o desenvolvimento das pressões neutras com os valores estimados em projeto, verificar a estabilidade da obra, e se o método construtivo adotado é adequado.

Na seção transversal da obra em estudo, conforme mostra o esquema 1, foram dispostos os seguintes instrumentos:

- a) placas de recalque (PR), responsáveis por medir os deslocamentos verticais;
- b) marcos de recalque (MR), que servem como pontos de leitura da cota superficial, medindo os deslocamentos verticais e horizontais;
- c) inclinômetro (SI), responsáveis por medir os deslocamentos horizontais;
- d) piezômetro elétricos (PZE), que medem as pressões neutras do maciço;
- e) piezômetro de Casagrande (PCA), responsáveis por medir as pressões neutras.



ESQUEMA 1 • Seção tipo instrumentada.

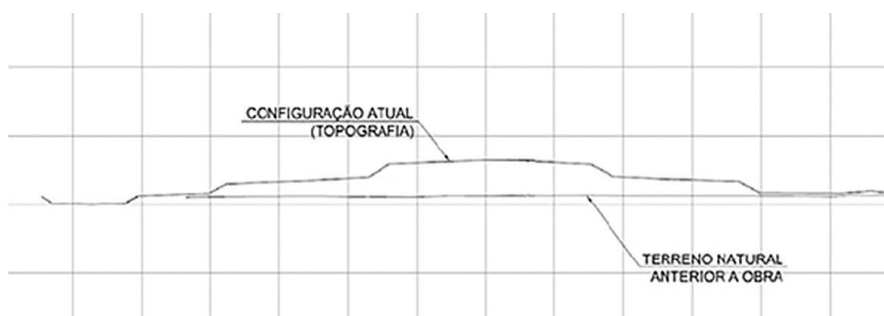
FONTE: Moretti Engenharia Consultiva (2012, p.64).

Nota-se também, que na lateral direita da seção encontra-se uma referência profunda, chegando a 25 m de profundidade e atingindo um substrato não sujeito a movimentações decorrentes da obra, servindo como ponto referência dos outros instrumentos. E, que na lateral esquerda da seção há a presença de uma vala.

2.2 Análise da Seção Transversal

A seção de projeto inicial previa como dito anteriormente, um aterro principal construído por etapas, bermas de equilíbrio e um aterro de sobrecarga.

O projeto previa que a primeira etapa de execução do aterro principal chegaria à cota de 2,50 m, e a segunda etapa à 5,61 m, cota do greide da rodovia, conforme mostra o esquema 2. A terceira etapa seria a execução do aterro de sobrecarga de 2,50 m.



ESQUEMA 2 • Geometria inicial da seção 5+300.

FONTE: Moretti Engenharia Consultiva (2012, p.120).

Durante a execução do aterro, a primeira etapa foi concluída sem problemas. No entanto, conforme a elevação do aterro da segunda etapa progredia, os resultados gerados pelos instrumentos estavam indicando que, o aterro não estava estável, apresentando deslocamentos excessivos, juntamente com a constatação visual de uma fissura.

Desta forma, a obra foi temporariamente paralisada e foi elaborado um laudo, que é estudado neste trabalho, para confirmar se a seção de projeto inicial era adequada ou não, analisando a seção inicial de projeto tanto para ruptura circular, como para ruptura não circular, de acordo com as etapas de execução do aterro proposto.

Esta análise constatou que os fatores de segurança, logo na segunda etapa do aterro, foram próximos de 1,00, o que gera a iminência da ruptura.

A análise com o aterro de sobrecarga foi feita para constatar que os coeficientes de segurança da obra não estavam adequados.

A tabela 1 mostra os fatores de segurança obtidos para cada uma das etapas de execução.

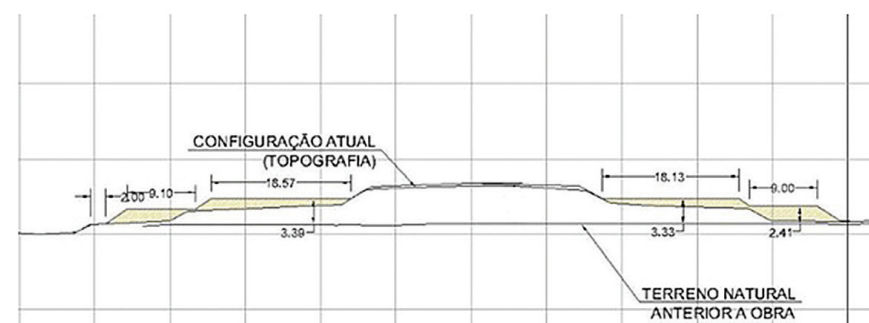
ETAPAS DE EXECUÇÃO	ALTURA DO ATERRO (m)	FATOR DE SEGURANÇA	
		RUPTURA CIRCULAR	RUPTURA NÃO CIRCULAR
1ª	2,50	1,75	1,56
2ª	5,61	1,10	0,97
3ª (sobrecarga de 2,50m)	8,11	1,00	0,85

TABELA 1 • Fatores de segurança da estaca 5+300 – seção inicial.

FONTE: Elaborado a partir de Moretti Engenharia Consultiva (2012).

Pode-se notar que, logo na segunda etapa do aterro os fatores de segurança foram próximos de 1,00, o que gera a iminência da ruptura, e que a obra não suportaria o aterro de sobrecarga temporária.

Desta forma foi proposta uma nova seção transversal do aterro, conforme mostra o esquema 3, e feita a reanálise da obra, respeitando as etapas de execução, a presença do aterro de sobrecarga e os geodrenos.



ESQUEMA 3 • Geometria final da seção 5+300.

FONTE: Moretti Engenharia Consultiva (2012, p.120).

Nessa nova seção as bermas de equilíbrio foram alteradas, porém de forma limitada, pois na lateral esquerda da rodovia há uma vala, que pode vir a fragilizar o conjunto.

A tabela 2 mostra os fatores de segurança obtidos na análise da nova seção, sendo que esta foi feita a partir da segunda etapa de execução, pois o aterro da primeira etapa já tinha obtido fatores de segurança satisfatórios.

ETAPAS DE EXECUÇÃO	ALTURA DO ATERRO (m)	FATOR DE SEGURANÇA	
		RUPTURA CIRCULAR	RUPTURA NÃO CIRCULAR
1ª	2,50	1,56	1,75
2ª	5,61	1,18	1,39
3ª (sobrecarga de 1,00m)	6,61	1,03	1,27
3ª (sobrecarga de 2,50m)	8,11	0,82	1,05

TABELA 2 • Fatores de segurança da estaca 5+300 – seção proposta.

FONTE: Elaborado a partir de Moretti Engenharia Consultiva (2012).

Nota-se que com a nova geometria da seção os coeficientes da segunda etapa aumentaram de forma a serem satisfatórios.

No entanto, quando foi feita a verificação do aterro de sobrecarga com 2,50 m, concluiu-se que mesmo com as modificações o aterro principal não suportaria a sobrecarga.

Desta forma foi proposto um aterro de sobrecarga com 1,00 metro. Este apresentou fatores de segurança próximos a 1,00, de forma que o aterro estaria próximo à iminência de ruptura. Por isso, o aterro de sobrecarga deve ser monitorado constantemente para assegurar a estabilidade da obra.

2.3 Conclusão

Para solucionar o deslocamento horizontal do talude da rodovia foi adotado como solução a berma de equilíbrio, tendo sua largura limitada pela vala existente ao lado esquerdo da rodovia.

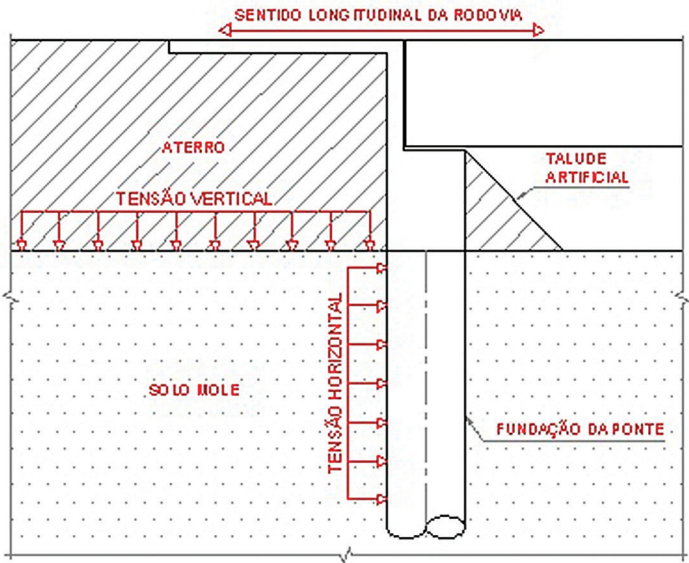
A berma de equilíbrio é uma solução que apresenta um baixo custo de execução e estabiliza o talude apenas com a ação do seu peso próprio.

Há outros tipos de técnicas de melhoramento com o mesmo objetivo, mas que para serem aplicadas as bermas existentes teriam de ser removidas, e isso seria inviável. De forma que a melhor solução foi alterar a sua geometria e restringir a altura do aterro de sobrecarga para 1,00 metro.

3 SEÇÃO LONGITUDINAL

Os deslocamentos ocorridos no eixo longitudinal da via, ocasionados pelo carregamento de um aterro sobre solo mole, possuem menores intensidades, quando comparados com os deslocamentos transversais a uma seção qualquer.

No entanto, estes deslocamentos horizontais nas proximidades a uma Obra de Arte Especial são intensificados. O desenho 2 mostra como é a ação do aterro sobre os elementos de fundação da estrutura.



DESENHO 2 • Esquema da ação do aterro sobre um elemento de fundação.

FONTE: Elaborado a partir de Moretti Engenharia Construtiva (2012).

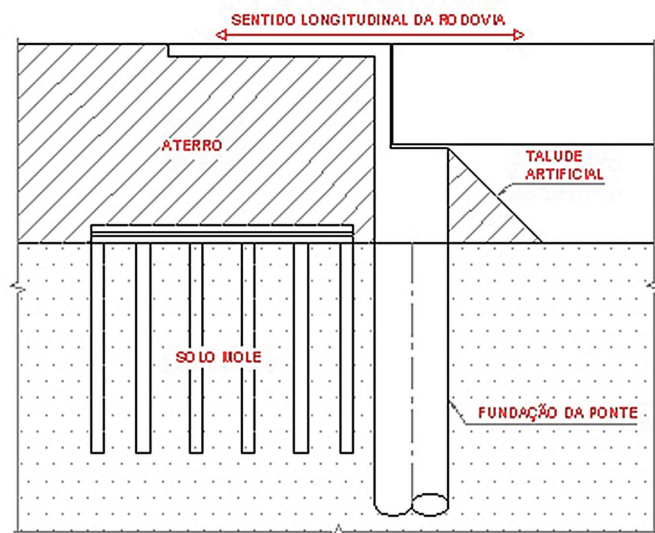
O aterro age como uma tensão vertical de compressão no solo mole. Esta tensão quando atinge valores elevados faz com que o solo desloque verticalmente, implicando na ocorrência de recalques diferenciais na fundação, e horizontalmente.

Este deslocamento horizontal gera uma tensão que age cisalhando o elemento de fundação, o que poderia causar a sua ruptura. O aumento desta tensão está relacionado ao corte executado na seção longitudinal do aterro, formando um talude artificial no encontro com a Obra de Arte.

Após as análises da resistência não drenada, obtidas nas diversas seções de estudo existentes na rodovia, determinou-se que seria possível executar um aterro com apenas 1,80 m de altura, sem que fossem danificados os elementos de fundação. Entretanto, as fundações da obra de arte já estavam executadas e este fato faria com que os aterros atingissem alturas de 11,0 m.

Sendo assim, o acréscimo de pressões horizontais causadas pelo aterro pode ser estimado relacionando o peso específico do solo e a altura do aterro.

Para tentar minimizar os efeitos de pressão lateral, foi determinada a execução de um tratamento no solo próximo à Ponte. Este tratamento seria executado no sentido longitudinal da via, conforme o desenho 3.



DESENHO 3 • Representação esquemática do posicionamento do reforço do solo.

FONTE: Elaborado a partir de Moretti Engenharia Construtiva (2012).

Dentre as técnicas de melhoramento de solos moles, foram indicadas a técnica do *Jet Grouting*, colunas de solo granulares, *Deep Soil Mixing* e STABTEC.

3.1 Técnicas de Melhoramento

As técnicas de melhoramento de solos podem ser utilizadas para o tratamento de solos diante de aterros ou transformar solos inviáveis para utilização em viáveis, segundo (DIAS, 2012).

As técnicas não deixam de ser uma intervenção no solo, segundo Carvalho, Falconi, Frota, Hachich, Niyama e Saes (1998). Estas intervenções são necessárias quando o solo apresenta uma baixa capacidade de suporte de carga, ou quando é necessário intervir devido ao aumento de tensões decorrente obras novas ou de ampliação.

As técnicas estudadas a seguir serão o *Jet Grouting*, as colunas de solo granulares, o *Deep Soil Mixing* e o STABTEC.

3.1.1 JET GROUTING

O *Jet Grouting*, de acordo com Moretti Engenharia Consultiva (2012) e Carvalho, Falconi, Frota, Hachich, Niyama e Saes (1998), se baseia em uma técnica de melhoramento de solos que utiliza de jatos horizontais e verticais sob alta pressão e alta velocidade, o que resulta na quebra da estrutura do solo estudado, e na mistura da calda de cimento injetada com o solo tratado. Suas colunas podem chegar até 10 m de profundidade, segundo (ROBERTO, 2012).

Os diversos autores Carvalho, Falconi, Frota, Hachich, Niyama e Saes (1998), (NARESI JUNIOR, 2010), (MONTALTI, 2011), (RIBEIRO, 2010) e (ROBERTO, 2012), apresentam ideias semelhantes e complementares a respeito dos sistemas de *Jet* simples, duplo e triplo, que são resultantes das situações exigidas durante a execução e se diferem na forma utilizada para realizar a desagregação do solo ser reforçado.

O sistema de jato simples é caracterizado pela injeção da calda de cimento em bicos injetores horizontais em alta velocidade, causando a erosão do solo que, ao ser misturado com a calda, resulta em um solo mais homogêneo e mais resistente.

O sistema de jato duplo é basicamente igual ao sistema de jato simples, porém é injetado ar em alta pressão em torno da haste de injeção da calda de cimento. O ar comprimido, que entra em contato antes da calda de cimento, realiza uma ruptura prematura do terreno e a injeção da calda de cimento finaliza a compressão do maciço em torno da perfuração e consolida o solo. O ar introduzido e a calda de cimento circulam separadamente dentro da perfuração executada.

O sistema triplo apresenta três hastes coligadas, uma de ar, outra de água e a última com calda de cimento e um hidromotor na sua ponta, que possui dois bicos jateadores posicionados com níveis diferentes. Esse sistema pode vir a agredir o solo em volta da coluna que está sendo criada.

O bico superior libera um jato com água de alta pressão envolvida com ar comprimido, causando a ruptura no solo. O bico inferior libera a calda de cimento que se mistura com o solo que acabou de ser erodido, sendo que esse jato deve ser mais potente que o superior para garantir o preenchimento dos espaços vazios pela calda de cimento.

3.1.2 DEEP SOIL MIXING

O *Deep Soil Mixing* busca, segundo (MORETTI, 2012), aumentar a capacidade de carga dos solos moles, reduzir os recalques, e evitar a ruptura de taludes e o fenômeno de liquefação (areia movediça). Suas profundidades podem variar de 3 a 50 m, segundo a Norma EN 14679 (2005 apud CRUZ, 2012, p.5).

A técnica apresenta como vantagens a “[...] maior velocidade de execução e maior eficiência na mistura de entre o solo e o cimento.” (D.BRUCE; M.BRUCE, 2003; FHWA, 2000 apud MORETTI, 2012, p.16).

As máquinas que realizam as colunas de *Deep Soil Mixing* possuem uma haste, dotadas de “[...] uma ferramenta de corte e mistura.” (MORETTI, 2012, p. 19). Esta haste desce girando até a profundidade estabelecida, desagregando o solo com suas pás, e quando estiver subindo, ela continua girando, e passa a injetar calda de cimento ao mesmo tempo, segundo Oliveira (informação verbal)¹.

O *Deep Soil Mixing* é dividido em dois tipos de mistura, o *Wet Mixing Method*, método úmido, e o *Dry Mixing Method*, método seco.

A mistura de *Dry Mixing Method* “[...] é mais apropriado para solos moles com elevado teor em umidade [...]”² (KELLER, 2013, tradução nossa), justificando o uso de ligantes secos.

Enquanto, o *Wet Mixing Method* utiliza uma mistura de água e cimento, tendo o seu uso “[...] mais recomendado para argilas moles, siltes e areias de grão fino, com menor teor de água [...]”³ (KELLER, 2013, tradução nossa), tendo uma alta capacidade de carga.

3.1.3 STABTEC

A técnica de estabilização de solo mole pelo STABTEC consiste em um sistema que mistura e monitora a colocação de aglomerantes em pó nos solos moles que estão saturados ou submersos, segundo (GEOSONDA, 2010).

A técnica deve ser utilizada quando o solo está saturado, pois o mesmo se encontra em condição natural, e não possui a capacidade de aguentar as cargas que lhe serão impostas, segundo (DIAS, 2012 apud EUROSILSTAB, 2002).

O aglomerante é armazenado em um tanque de câmara dupla independente, que bombeia dosagens já estabelecidas até o multimisturador (braço). Este fica acoplado a uma escavadeira hidráulica, e possui duas pás rotativas na sua ponta. O aglomerante é lançado pelo braço e é distribuído pela pá rotativa, sendo misturado com o solo mole, segundo (GEOSONDA, 2010).

A técnica apresenta certas dificuldades como a heterogeneidade dos solos, a profundidade do solo mole que deve ser de no máximo 6 m e a aceitação da técnica já que ela é novidade no Brasil, segundo Dias (2012).

3.1.4 COLUNAS DE SOLO GRANULAR

As colunas granulares, segundo (SGARBI; CHIARANI e GARCIA, 2011), consistem na mistura de material granular com o solo mole, geralmente uma camada de argila, pode-se ser areia ou brita, e ter de 20 a 40 m de profundidade.

¹ Ideia apresentada pelo engenheiro Fábio Jorge de Oliveira na Moretti Engenharia Consultiva, em São Paulo, em 12 de abril de 2014.

² “[...] dry soil mixing is only possible in soils that have sufficient moisture content to allow chemical reaction of stabilizing binders injected in dry form with the soil and groundwater.”

³ The wet method is more appropriate in soft clays, silts and fine-grained sands with lower water content and in stratified ground conditions including intermeddled soft and stiff or dense soil layers.

As colunas podem ser encamisadas com geotêxtil, para proporcionar o confinamento necessário em casos, em que o solo é muito mole, e por esse motivo corre o risco de ocasionar a deformação da coluna na camada superior da argila, de acordo com (ALMEIDA; MARQUES, 2010).

As colunas granulares são executadas pelo método da vibrosubstituição, que se baseia na utilização de um fluido e na vibração da sonda, para que a mesma possa ser introduzida no solo, de acordo com (ASSUNÇÃO, 2010). Dentro deste método, há a alimentação superior e a inferior.

Na alimentação superior o material é inserido por cima, através do furo aberto no solo e a alimentação da coluna é feita simultaneamente à injeção de água (método úmido), ou ar comprimido (método seco), que deve ser constante para garantir a estabilidade ao redor do furo, segundo (ASSUNÇÃO, 2010).

Na alimentação inferior é feito um furo na superfície do solo, com o próprio vibrador, e a seguir é colocada a sonda através desse furo. A brita será inserida no solo pela ponta da sonda, o que acaba protegendo o solo ao redor de uma possível deformação ocasionada pela vibração, de acordo com (ASSUNÇÃO, 2010).

O reforço de solos moles pela técnica de colunas granulares, de acordo com (ALMEIDA; MARQUES, 2010), apresenta maior rigidez quando comparado ao solo mole, por esse motivo ele absorve maior tensão do que o solo onde está sendo introduzido.

É necessária uma atenção especial neste aspecto, pois essa diferença de rigidez pode gerar assentamentos desiguais entre a coluna granular e o solo no entorno da mesma, de acordo com (DOMINGUES, 2006) e (ALMEIDA; MARQUES, 2010), assim como a possibilidade da inserção da coluna granular se assemelhar a uma agressão ao solo, isso afeta e compromete o comportamento do mesmo perante a técnica aplicada.

3.2 Escolha da Técnica

A técnica adotada pela construtora do projeto foi a de colunas de solo granular, utilizando areia, e para distribuir os esforços uniformemente para as colunas granulares, foram colocadas duas camadas de geotêxtil, e uma camada de areia entre elas.

A coluna de solo granular de areia apresenta uma composição muito diferente do solo argiloso. Embora esteja sendo injetado, e ocasionando uma deformação no solo. Essa deformação agride o solo ao redor da coluna e diminui a sua resistência. Esse fato faz com que ela não seja a técnica mais adequada para a obra em estudo.

As outras técnicas apresentadas no trabalho que podem resolver com eficiência o deslocamento vertical são *Deep Soil Mixing*, STABTEC e *Jet Grouting*.

Analisando as vantagens e desvantagens de cada técnica percebe-se que o DSM apresenta uma profundidade máxima de 50,00 m, que contrasta bastante com a profundidade do STABTEC e do *Jet Grouting* que são apenas de 6,00 e 10,00 m, respectivamente.

As técnicas tem uma alta velocidade de execução, dinamizando o prazo da obra, e não é necessária a remoção do solo de baixa resistência.

O DSM, diferentemente das colunas granulares e do *Jet Grouting*, não agride o solo.

Um fator desfavorável da coluna granular em relação às outras técnicas é a sua baixa eficiência na mistura do seu componente com o solo. O DSM e o STABTEC apresentam como ponto desfavorável sua baixa utilização no Brasil.

Portanto, a técnica escolhida para estabilizar os deslocamentos verticais e horizontais do encontro da rodovia com a obra de arte foi o *Deep Soil Mixing*. O fator decisivo para a escolha foi à profundidade alcançada pelos métodos e o fato dela não agredir o solo ao redor da coluna, já que no estudo de caso a profundidade média de estabilização é de 8,00 m.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Márcio; MARQUES, Maria. **Aterro sobre solos moles: projeto e desempenho**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSUNÇÃO, Bernardino. **Colunas de brita e pré-carga em solos de fundações de reservatórios de Betão Armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2010.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e as suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v.1, 1977.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e as suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v.2, 1977.

CARVALHO, Celso; FALCONI, Frederico; FROTA, Régis; HACHICH, Waldemar; NIYAMA, Sussumo; SAES, José. **Fundações: Teoria e prática**. São Paulo: PINI, 2 ed., 1993.

CONSÓRCIO GERENCIADOR BR-448/RS. **Rodovia do Parque**. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.br448-rodovia-do-parque.com.br/siteBr448/index.php>> Acesso em: 16 mar. 2014.

CRUZ, Joana. **Abordagem às soluções de contenção de escavações usando a técnica de Deep Soil Mixing**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica-Geotecnia) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/8952/1/Cruz_2012.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNER-PRO 381/98**: Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias. Rio de Janeiro, 1998.

DIAS, Débora Regina; **Resistência à compressão não confinada de misturas de solo-cimento visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000850288>> Acesso em: 05 abr. 2014.

FUNDAÇÕES ESPECIAIS LTDA. **Geodrenos**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.fundesp.com.br/2009/geodrenos.html>> Acesso em: 22 jun. 2014.

GEOSONDA S.A. **Sistema STABTEC – Estabilização de massa**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.geosonda.com.br/metodologia_STABTEC.pdf>. Acesso em: 05/04/2014.

GROUND IMPROVEMENT SOLUTIONS LLC. **Deep Soil Mixing**. 2009. Disponível em: <http://www.groundimprovement.ch/Ground_Improvement_Solutions/Deep_Soil_Mixing.html>. Acesso em: 05 abr. 2014.

KELLER. **Deep Soil Mixing**: Improvement of weak soils by the DSM method. Alemanha, 2013. Disponível em: <http://www.kellerholding.com/download/pdf/en/Keller_32-01E.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2014.

MASSAD, Façal. **Obras de terra**: Curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2.ed, 2012.

MORETTI, Geraldo. **Comportamento à compressão de solo estabilizado com cimento utilizado em colunas de Deep Soil Mixing**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2012.

MORETTI ENGENHARIA CONSULTIVA. **Avaliação da situação atual de aterros apoiados sobre solos moles**. São Paulo, jun. 2012.

MORETTI ENGENHARIA CONSULTIVA. **Instrumentação geotécnica**. São Paulo, 2013.

NARESI JUNIOR, Luiz. **Jet Grouting**. LAN. 2010?. Disponível em: <<http://www.naresi.com/naresi/jet-grouting>> Acesso em: 12 abr. 2014.

OLIVEIRA, Fábio. **Fábio Jorge de Oliveira**: depoimento [abr. 2014]. Entrevistadora: Patrícia Oliveira. São Paulo: Moretti Engenharia Consultiva, 2014. 1 celular. Entrevista concedida ao Trabalho de Graduação Interdisciplinar.

RIBEIRO, Ana Luísa. **Técnica de tratamento de solos - Jet Grouting**: Acompanhamento de um caso real de estudo - Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade técnica de Lisboa, Instituto Técnico Superior, 2010.

RIBEIRO, Evandro. **Mecânica dos solos II**: Recalque. Piauí: Universidade Federal do Piauí. 2012?. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/191498341/81754454-Aula-Recalque>> Acesso em: 08 mar. 2014.

ROBERTO, Inês. **Colunas de Jet Grouting na construção de túneis**. Dissertação (Mestrado em Especialização em Estruturas), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia, Lisboa, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2103/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>> Acesso em: 12 abr. 2014.

SGARBI, Bruno; CHIARANI, Rafaela; GARCIA, Ronaldo. **Pavimentação em terrenos de solos moles**: a utilização de colunas granulares encamisadas, Paraíba, 2011. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/RE_0270_0639_01.pdf> Acesso em: 05/04/2014.

TAVARES, Catarina Brandão Ferreira Teixeira. **Estudo geotécnico dos solos do vale do Leça no âmbito de uma obra de requalificação portuária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Lisboa, 2010. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2675/1/DM_CatarinaTavares_2010_MEGG.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2014.

PADRONIZAÇÃO DE COMPONENTES VISANDO A MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS E PRAZOS

Giselle Gomes Silva ¹
Jacqueline Prado Caverzan Hunter ²
Marina Spadoni Mahfuz ³
Raquel de Souza Arruda ⁴
Stella Sokolovskes Oliveira ⁵
Raquel Cymrot ⁶

Resumo

“ Este artigo visa apresentar uma comparação entre painéis arquitetônicos de fachada e alvenaria de vedação em blocos de concreto, analisando produtividade e custo. O estudo foi feito por meio de pesquisas teóricas e práticas, utilizando coleta de dados, entrevistas e visitas à obras. A análise desses dados foi feita por meio do *software Minitab*. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a escolha do método a ser utilizado dependerá de fatores como tipo e porte da obra, número de repetições dos elementos, planejamento, cronograma e projeto, após realização de estudo de viabilidade na fase de concepção do projeto. ”

Palavras-chave » Painéis. Pré-moldados. Alvenaria.

¹ E-mail: giselle-ggs4@hotmail.com.

² E-mail: jpcaverzan@gmail.com.

³ E-mail: ms_mahfuz@hotmail.com.

⁴ E-mail: raquel.arruda28@gmail.com.

⁵ E-mail: stellasso.ss@gmail.com.

⁶ E-mail: rcymrot@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Sistema Construtivo se define por “[...] conjunto de componentes entre os quais se possa atribuir ou definir uma relação, coordenados dimensional e funcionalmente entre si, como estrutura organizada.” (CAMPOS, 2004, não paginado).

Segundo (YOSHIDA, 2010), padronização é um conceito administrativo que se baseia em uma produção mais limpa e eficiente, reduzindo custos, prazos e desperdícios. A ideia de padronizar veio à tona com a Revolução Industrial, no século XVIII. Até então, os administradores baseavam-se em um sistema de tentativa e erro. Com a reviravolta no setor industrial, percebeu-se a necessidade da implantação de um sistema lucrativo, eficiente e ao mesmo tempo econômico.

Frederick Taylor (1856-1915) desenvolveu o Taylorismo, que se baseava na alienação da mão-de-obra. Cada funcionário deveria exercer a sua função no menor tempo possível, sem conhecimento do processo completo de produção. *Henry Ford* (1863-1947) aperfeiçoou a ideia de *Taylor* com o Fordismo, introduzindo a esteira como forma de produção em série. A produção em massa operava com elevados estoques e lote de produção, ocasionando alta oferta, baixa demanda e uma consequente despreocupação com a qualidade do produto (YOSHIDA, 2010).

Tentando recuperar-se da Segunda Guerra Mundial, a fábrica de automóveis *Toyota* criou uma metodologia do Sistema *Toyota* de Produção. Este visa a eliminação total de desperdícios pela eficiência da produção. Para tanto foi desenvolvida a ideia do *Just in time*, produção por demanda, em baixa escala, no menor intervalo de tempo possível e com elevada diversidade de produtos. Os trabalhadores passam a ser multifuncionais, conhecendo e manuseando as diversas máquinas durante todas as etapas da produção (YOSHIDA, 2010).

O setor da construção civil também foi forçado a se adaptar neste período, que se caracterizou pela necessidade de reconstrução em curto prazo, obtendo qualidade e baixos custos. Registros informam que o concreto pré-fabricado surgiu neste período tanto na

Europa como no Brasil, a fim de atender a demanda existente (ORDONÉZ, 1974 apud SERRA; FERREIRA e PIGOZZO, 2005, não paginado).

No âmbito do concreto não moldado *in loco* existem dois gêneros distintos: o pré-moldado e o pré-fabricado. Um elemento pré-moldado é aquele “[...] que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade [...]”, já o elemento pré-fabricado é um “Elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 3). Sendo assim, pode-se concluir que todo pré-fabricado é pré-moldado, porém o inverso não é verdadeiro.

As características de um sistema construtivo que utiliza os pré-fabricados estão atreladas ao planejamento. Como se trata da utilização de peças pré-moldadas, é possível definir um controle maior dentre todas as etapas, quando comparado ao sistema convencional, no qual ocorre a influência de vários fatores, desde o material até a mão-de-obra. Algumas vantagens tornam-se visíveis, como a redução de resíduos e o encurtamento nos prazos estipulados no período de planejamento da obra. Para alcançar a qualidade do produto final, a obra passa a ter necessidade de um acompanhamento e administração adequados, realizados por pessoas treinadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2013).

Como as peças pré-moldadas são introduzidas em seu local final de utilização apenas para fixação, os desperdícios no canteiro são reduzidos. Todo controle torna-se essencial, pois cada peça possui uma localização própria e modos de fixação que podem variar de acordo com o projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2013).

As vantagens dos sistemas construtivos padronizados são diversas, porém o setor da construção civil ainda necessita de maiores estudos e experiências que comprovem sua eficácia com relação aos sistemas convencionais que vêm sendo executados há muito tempo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Essa revisão trata de conceitos básicos dos sistemas construtivos abordados.

2.1 Padronização

A padronização foi dividida em três períodos, são eles:

a) Era Artesanal: sua origem se deu na Europa, antes da Revolução Industrial, e tinha como característica a fabricação manual realizada pelos artesões como responsáveis pelo processo de produção, os quais buscavam controlar a fabricação dos produtos e o aperfeiçoamento das técnicas já adquiridas. Os principais resultados desse método de trabalho foram: baixos volumes de produção, alta variabilidade entre os produtos finais, nível elevado de habilidade e qualidade integrada nos processos de operações (BROWN et al., 2006).

b) Era da Produção em Massa: iniciou-se após a Primeira Revolução Industrial, possuindo como principais exigências a necessidade de exportação e fornecimento de emprego em grande quantidade para pessoas sem qualidade alguma, e como característica a produtividade em grandes volumes e com pouquíssima variação, mantendo um processo repetitivo e de fácil aprendizagem (BROWN et al., 2006). Tomou forma na América do Norte, graças à decisão do país em se diferenciar da Europa e inovar o método de trabalho, destruindo a decisão competitiva da produção artesanal.

c) Era Atual: repleto de formas distintas de trabalho, nas quais todas possuem a sua importância no mercado, tornando-se difícil denominar a predominância do momento, trata-se do período atual.

Na Era Atual, começaram a se destacar alguns modelos de gerenciamentos de processos que auxiliam na melhoria contínua e, conseqüentemente, no aumento da qualidade dos produtos. Alguns destes modelos são:

a) PDCA: o ciclo PDCA reporta à ideia de melhoria contínua, e não na estagnação dos processos de uma organização. Segundo Yoshida, 2010, cada etapa corresponde a uma atividade que busca a coleta de dados e investigação das causas dos problemas ocorridos durante o processo e como melhorá-lo, sendo elas Plan (Planejar), Do (Executar), Check (Verificar) e Act (Agir).

b) DMAIC: o modelo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) é um sistema de aperfeiçoamento de processos, sendo considerado um método sistemático e organizado. Baseia-se em medições de dados e no uso da estatística a fim de alcançar as metas estipuladas de uma empresa, além de viabilizar a melhoria contínua de tais processos (CARVALHO; PALADINI, 2012).

c) Seis Sigma: o programa Seis Sigma busca a diminuição significativa de erros durante um dado processo fazendo com que, na prática, o mesmo possa se aproximar da perfeição, ou seja, do zero defeito. O Seis Sigma pode ser utilizado em qualquer tipo de processo, seja ele industrial, administrativo e mesmo na construção civil. Porém, este último ainda não utiliza esta ferramenta como outras áreas que já provaram que o controle estatístico de qualidade pode oferecer muitas vantagens (PEREZ-WILSON, 1999).

d) Sistema *Toyota* de Produção: o Sistema *Toyota* de Produção (STP) é um sistema de manufatura que visa um claro objetivo: a eliminação do desperdício. No início da década de 1950, o Japão passou por momentos difíceis em sua economia, o que fez com que o chefe da engenharia da Toyota na época, Taiichi Ohno, questionasse se o sistema de produção em massa americano se enquadrava no cenário econômico japonês daquela época (OHNO, 1997). O STP levou cerca de 20 anos para ser incorporado totalmente à fábrica da Toyota, porém após um período de adaptação o sistema *just-in-time* passou a ser utilizado também nas fábricas americanas. Com a crescente utilização do STP em escala mundial foi reforçada a ideia da melhoria contínua, e integração da mão de obra a fim de se obter melhores resultados. (YOSHIDA, 2010).

2.2 Alvenaria

O Sistema de construção em alvenaria surgiu em tempos remotos com suas raízes próximas a 4.000 A.C, época em que eram utilizados tijolos de argila com sua ligação feita por betume. A partir da evolução dos métodos de construção, adquirida durante os milênios de utilização, passou-se a utilizar blocos industrializados cerâmicos, de concreto e de outros materiais encontrados no mercado (FIGUEIRÓ, 2009).

Inicialmente, a alvenaria era utilizada como vedação e estrutura revestida com argamassa a partir da mistura de cal com areia. Com a invenção do cimento *Portland*,

a argamassa passou a ser fabricada com a adição deste na mistura, resultando em um aumento de resistência e aderência nas primeiras idades, quando em contato com o local de aplicação (CEOTTO et al., 2005).

2.2.1 ALVENARIA DE VEDAÇÃO

A alvenaria de vedação, hoje em decorrência do seu histórico e do conhecimento de sua execução, é o método construtivo mais utilizado para fechamento de vãos de estrutura de concreto e aço, além de servir como divisor de ambientes. Esse sistema consiste na colocação de bloco sobre bloco, que devem suportar seu peso próprio, as cargas de utilização (armários, rede de dormir) e laterais estáticas e dinâmicas (ventos, impactos ambientais). A ligação entre eles é realizada, atualmente, por meio do assentamento sobre argamassa (THOMAZ et al., 2009).

Os blocos utilizados na execução da alvenaria de vedação, de acordo com Yazigi (2013), não possuem função estrutural para suportar outras cargas verticais além do peso próprio e pequenas cargas de utilização. O material pode ser classificado em: comum; classe 10 (apresentando resistência de 1 MPa); e especial (fabricados em dimensões definidas de acordo com o contrato do cliente). Sua fabricação pode ser feita em meio-bloco, canaleta e outras peças especiais.

Segundo Engenharia e Custos – (PINI, 2008), só é possível a execução da alvenaria após a liberação do escoramento em quatro pavimentos consecutivos.

O Sistema de execução de alvenaria, conforme Silva (2007 apud ALMEIDA, 2012, p. 17), é considerado artesanal, visto que seu levantamento ocorre a partir do trabalho intensivo da mão de obra destinada a tal serviço. Durante o processo de levantamento de paredes ocorre um elevado desperdício de materiais, tempo e da própria mão de obra.

Um dos principais problemas encontrados na execução desse sistema está na presença de projetos incompatíveis com o que se pretende executar. Isso se deve a insuficiência de detalhamentos construtivos, especificação de materiais e técnicas a serem utilizados nas plantas, desconhecimento das inúmeras influências físicas que irão agir sobre o edifício e do comportamento dos materiais empregados ao decorrer dos anos (NASCIMENTO; SILVA, 2007).

2.2.2 CHAPISCO

O chapisco se define como uma camada de preparação da base. A sua finalidade é de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência entre o revestimento a ser aplicado e a alvenaria ou estrutura realizada anteriormente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

O chapisco deve ser aplicado em uma superfície molhada para evitar a absorção da água em excesso pelo substrato. Quando aplicado diretamente na alvenaria, deve-se dar prioridade para a utilização de argamassa industrializada, pois fornece maior aderência do que a preparada na obra. A massa deverá ser projetada contra a alvenaria e, no caso da estrutura de concreto, aplicada com desempenadeira dentada (YAZIGI, 2013).

2.2.3 REVESTIMENTO ARGAMASSADO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a) define na NBR 13529 o revestimento em argamassa como cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, podendo receber revestimento decorativo ou constituir-se em um acabamento final.

O revestimento argamassado, conforme Baia e Sabbatini (2008 apud GONZÁLEZ, 2010), tem a função de camada protetora dos elementos de vedação contra as ações de agentes agressivos. Ele deve trabalhar de forma mútua com a vedação no atendimento às exigências: isolamento acústico, estanqueidade e regularização da superfície. O revestimento não possui função de correção das imperfeições de base, como desaprumo e desalinhamento, decorrente de má execução e falha no controle dos serviços. O uso incorreto do revestimento poderá comprometer suas verdadeiras funções.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013b) fornece na NBR 13749 a espessura dos revestimentos externos e internos, conforme Tabela 1.

A argamassa só poderá ser aplicada quando o chapisco tiver atingido seu período de pega e após a superfície ser previamente umedecida.

REVESTIMENTO	ESPESSURA [cm]
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$

TABELA 1 • Espessuras admissíveis em revestimentos internos e externos.

FONTE: Adaptada de Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2013. p. 2).

2.3 Pré-moldado

Segundo Melo (2004), devido ao grande e rápido crescimento da Construção Civil, houve a necessidade de pesquisa e busca por parte dos construtores de novas ideias e maneiras de execução que chegassem no nível desse crescimento. Isso se deu principalmente porque começou a ser cada vez mais exigida a redução de prazos e custos de obras sem a perda da qualidade do produto.

O pré-moldado é um sistema que traz mais benefícios quando utilizado em locais mais verticais e com diversos vãos padronizados, por isso não se enquadra nos edifícios residenciais e comerciais que são caracterizados pela diversidade de vãos e alturas (MELO, 2004).

Quanto ao processo de pré-fabricação, *Doniak* e *Gutstein* (2011) ressaltam alguns pontos a serem considerados. Durante o projeto, é necessário o conhecimento do carregamento permanente e transitório do elemento devendo ser dimensionado e especificado de maneira a suportar os dois carregamentos. Além disso, deve-se levar em conta as juntas necessárias devido à movimentação da estrutura por retração e variação de temperatura para que não haja problema com montagem das peças e possíveis discrepâncias. Outro aspecto importante é otimizar a modularização das peças e repetitividade, para que o projeto fique o mais simples possível.

Já durante a produção do pré-fabricado, é preciso cuidados em diversas etapas de produção. Segundo *Doniak* e *Gutstein* (2011), essas etapas são: fôrmas, armadura e dosagem do concreto, concretagem, protensão (quando necessário), cura, acabamento, armazenamento, transporte e montagem.

No entanto, no Brasil ainda existem muitas falhas com a utilização dos sistemas pré-fabricados. Muitas vezes elas são decorrentes de erros encontrados na fase

de projeto do empreendimento, na qual a utilização do sistema pré-fabricado já deveria ter sido estudada. Todavia, na maioria dos casos, o projeto é executado com foco na estrutura convencional, e após o início da obra ocorre a adaptação para o pré-fabricado. (NAKAMURA, 2013).

Os elementos pré-moldados podem ser considerado mais limpos, menos impactantes e mais vantajosos que os convencionais (NEVES, 2011), podendo ser chamados de sustentáveis. O pré-fabricado, faz com que exista uma maior racionalização na construção por meio de diversas maneiras, como “[...]minimização da produção de resíduos, utilização de materiais locais e aproveitamento da reciclagem de materiais[...]” (DONIAK; GUTSTEIN, 2011, p.1573) entre outros.

2.3.1 PAINÉIS ARQUITETÔNICOS SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

Segundo (MELO, 2004), a fachada arquitetônica é um sistema de painéis isolados pré-fabricados de concreto, fixados de maneira isostática entre dois pavimentos. Sua principal função é o fechamento de fachadas, podendo substituir a alvenaria de vedação.

Quando definida e estudada desde o início do projeto, a utilização dos painéis arquitetônicos pode trazer diversos benefícios para a edificação. Estes são produzidos de modo a fechar por completo o vão de piso a piso do pavimento de uma forma simples e rápida (MELO, 2004).

(DONIAK; GUTSTEIN, 2011) citam fatores a serem considerados para a produção de elementos de fachadas. A plasticidade do concreto é o primeiro fator, que quando combinada aos vários tipos de acabamento e cores disponíveis podem criar inúmeras possibilidades arquitetônicas. Outro fator seria a possibilidade de produzir painéis com cores e texturas diferentes, por meio de pigmentos inorgânicos ou agregados coloridos. Em relação ao cimento, o de cor branca viabiliza as diferentes cores do concreto a serem atingidas, mas se for preciso uma redução de custos, pode-se usar uma mistura do cinza e branco, já que o branco tem um custo elevado.

3 PESQUISA PRÁTICA

A pesquisa obedeceu as recomendações éticas, tendo sido aprovada pela Comissão de Ética da instituição segundo processo CEP/EE/191/03/14.

3.1 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas com o Engenheiro Antonio Pedreira de Freitas, sócio-proprietário da Construtora Pedreira, com o Engenheiro, Henrique Andion, diretor do Centro de Excelência da Construtora OAS, com a Engenheira Iria Lícia Oliva Doniak, diretora executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic), com o Engenheiro Ricardo Francisco Coelho, gerente de contratos da Construtora Norberto Odebrecht, com o Engenheiro Sílvia Alves de Oliveira, gerente de Projetos e Qualidade da Stamp Prefabricados e com o Engenheiro Dr. Bernardo F. Tutikian, coordenador do it Performance – Desempenho para construção Civil e Professor Doutor da UNISINOS/RS.

3.1.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PAINEL ARQUITETÔNICO

Como principais vantagens foram apresentados: redução do prazo de finalização da obra, quando comparado ao sistema tradicional de concreto (*Tutikian* e *Doniak*); praticidade (Pedreira); mão de obra reduzida em comparação com a alvenaria; eliminação da necessidade de espaço no canteiro de obras, visto que o painel sairá da carreta diretamente para seu local de fixação; diminuição de problemas com patologia (Oliveira); qualidade, sustentabilidade e Custo (Coelho).

Como maiores desvantagens, foram apresentados: necessidade de uma antecipação de investimento para produção das peças pré-moldadas; difícil acesso aos equipamentos (*Tutikian*); devido a questão tributária, que acaba inviabilizando muitos projetos por conta da diferença de valores do sistema pré-fabricado comparado com um sistema tradicional (*Doniak*); necessidade de uma antecipação de investimentos, pois é necessário o pagamento dos pré-fabricados antes da etapa acontecer (Coelho)

3.1.2 REPETIÇÃO DE ELEMENTOS E O PRÉ-MOLDADO

A maioria dos entrevistados concordou que a repetição de elementos em uma obra viabiliza mais facilmente o uso do pré-moldado. Isso se dá, na maior parte do custo, por conta do valor das fôrmas que são usadas para a produção dos elementos. O custo delas é amortizado no número de elementos que serão produzidos. Portanto, quanto maior o número, menor o custo da fôrma em cada elemento. Segundo *Andion*, isso ocorre especificamente para painéis estruturais.

De acordo com *Doniak*, a modularidade é muito vantajosa, definida por ela como “[...] módulos pré-estabelecidos de peças, seus tamanhos, seções, vãos etc.”. Quanto mais repetições desses módulos, mais viável será o uso do pré-moldado. Porém, não significa que não será viável se não houver modularidade. De acordo com *Andion*, uma das maiores obras de infraestrutura de São Paulo foi feita com peças pré-fabricadas, na qual cada elemento tinha uma pequena diferença em relação ao outro em relação ao tamanho e forma. Isso foi possível por conta de uma fôrma flexível comprada nos EUA especialmente para essa obra, o que tornou viável o uso do pré-fabricado. Essa fôrma ainda não é fabricada no Brasil.

3.1.3 REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS

A redução do desperdício de materiais na obra é perceptível, tendo todos os entrevistados concordado. *Tutikian* diz que “A produção se dá em local com maior controle de qualidade e com menores desperdícios”. De acordo com *Doniak*, não se tem um percentual de redução, porém, existem estudos de casos que já investigaram e fizeram essa comparação. Entretanto, isso pode mudar dependendo da obra.

Segundo Oliveira, com a utilização do painel, eliminam-se desperdícios desnecessários na obra, como por exemplo, blocos quebrados. Isso ocorre devido a necessidade de se refazer alvenarias, elevadas em desacordo com o projeto. Além disso, durante o sarrafeamento do revestimento externo, perdem-se quantidades significativas do material utilizado, gerando uma grande quantidade de massa como resíduo ao final do expediente.

3.1.4 COMPARAÇÃO ENTRE PRÉ-MOLDADOS NO BRASIL E EXTERIOR

Os entrevistados têm uma opinião semelhante quando se compara o desenvolvimento dos pré-moldados no Brasil com o do exterior (EUA, Canadá e Europa). Essa opinião é de que ainda há poucas construções utilizando sistemas construtivos pré-moldados, porém, esses sistemas estão sendo utilizados cada vez mais no país.

Segundo *Doniak* e *Tutikian*, essa melhora começou quando o custo de mão de obra, assim como os investimentos necessários, aumentaram. Não só o custo como também a falta de mão de obra estão ajudando no desenvolvimento da indústria de pré-moldados.

A demanda está em ascensão no Brasil. Segundo *Doniak*, nos últimos dez anos passou a existir uma “[...] busca da própria indústria por mais produtividade e automação.”. Por isso, o desenvolvimento têm sido maior e as construtoras estão buscando cada vez mais utilizar os produtos industrializados. Um dos motivos, segundo *Doniak*, é a dificuldade em contratar ou qualificar os trabalhadores em tempo hábil. Coelho compara o número de homens necessário para um empreendimento de grande porte no qual foi feito um extenso estudo de viabilidade. Utilizando-se sistemas construtivos convencionais, seria preciso em torno de 4500 homens, enquanto que para a obra em questão, o número reduziria para 2200 a 2300 homens, utilizando sistemas pré-moldados além de outras tecnologias de ponta, como paredes em *dry-wall*, sistema estrutural com pré-vigas e lajes alveolares e outros. Isso representa uma redução em torno de 50% da mão de obra necessária. Ressalta-se que a mão de obra que será utilizada na execução do sistema padronizado deverá receber um treinamento diferenciado em relação à mão de obra do sistema convencional.

Segundo Oliveira, os principais pontos que diferem o painel arquitetônico brasileiro do canadense são:

- a) Espessura: o padrão no Brasil é 10 centímetros, já no Canadá os valores são maiores pois devem suportar as altas variações de temperatura.
- b) Experiência: o Canadá desenvolve tal sistema há mais de 40 anos, com isso os arquitetos e engenheiros estão habituados ao sistema e já sabem o que é o pré-fabricado, como funciona, as folgas necessárias para montagem e os cuidados a serem

tomados na hora da execução da estrutura. Com isso, o projeto já nasce com os painéis arquitetônicos. Já no Brasil, os arquitetos mandam os projetos feitos com sistemas convencionais para as empresas fabricantes de painel para só então o projeto ser adaptado ao sistema de painéis arquitetônicos.

c) Norma: o Brasil ainda não possui norma específica referente a painéis pré-moldados. No entanto, ela encontra-se em desenvolvimento. A fabricação, até então, está respeitando as normas canadenses e americana, FIB, Precast Concrete Institute (PCI) e Canadian Precast Prestressed Concrete Institute (CPCI), juntamente com a norma NBR 6118 de projeto de estruturas de concreto.

3.1.5 A IMPORTÂNCIA DO PROJETO PARA O PRÉ-MOLDADO

“Quando se utiliza a pré-fabricação tudo deve estar previsto e planejado.”, disse *Tutikian*. O projeto é uma parte muito importante para o sistema pré fabricado e pré-moldado em geral. Nele devem ser definidos os detalhes para que as etapas do sistema construtivo corram bem. Segundo *Doniak*, “O ideal para uma estrutura industrializada, seria que tanto o projeto da arquitetura quanto da estrutura nascessem juntos.”.

Segundo Oliveira, os painéis arquitetônicos devem ter total compatibilização com o projeto de estrutura do edifício, no qual, no caso da *Stamp*, eles orçam uma obra com execução de projeto e serviço. Com isso, é necessário um projeto locando os painéis em seus respectivos lugares, de forma a fabricar adequadamente todas as peças nas medidas que se adequem à fachada. A partir disso, um projeto com falhas na compatibilização pode acabar atrasando a colocação dos painéis e, conseqüentemente, a obra.

Todos os entrevistados concordam que, quando a utilização do pré-moldado em determinada obra é concebida desde o início, tudo acontece muito mais facilmente. Esse é um ponto ainda muito fraco no Brasil e deve ser trabalhado. O estudo de viabilidade tem um grande papel nessa etapa, pois com ele os detalhes podem ser previstos e levados em conta.

3.2 Análise crítica

Segundo Silva (entre 2000 e 2012a), o recurso mais importante na construção civil é a mão de obra, pelo fato de representar elevado percentual no custo final de uma obra. Além disso, a mão de obra está diretamente relacionada a um dos principais indicadores da construção civil, a produtividade. Esta, de acordo com o autor, pode ser definida como sendo “a razão entre a quantidade de mão-de-obra medida em homens-horas e a quantidade de serviço produzido.” (SILVA, entre 2000 e 2011, não paginado).

Para análise da produtividade, é necessário alimentar o indicador com alguns dados. São eles: definição do material e equipamentos utilizados, quantidade de funcionários envolvidos, tempo gasto na execução do serviço e tempo gasto no transporte dos materiais. (SILVA, entre 2000 e 2011).

Outro fator importante na construção civil é o orçamento, ou seja, os custos de uma obra. É ele um dos principais responsáveis pelos estudos de viabilidade econômica dos empreendimentos. Foi realizada nesta pesquisa a comparação entre a produtividade e o custo do sistema de painéis arquitetônicos e a alvenaria de vedação.

Os dados coletados são dados estimados enviados pelos responsáveis de cada obra contatada. Para se fazer uma análise completa sobre a viabilidade econômica de utilização do painel arquitetônico teriam que ser considerados vários outros parâmetros que não puderam ser obtidos no presente estudo, como quantidade de trabalhadores, economia gerada por uma possível redução de prazo, qualidade do produto final, entre outros.

Sendo assim, teve-se que fazer uma análise que engloba tanto os dados fornecidos, quanto as entrevistas realizadas.

3.2.1 OBRAS ANALISADAS

Para a realização da análise crítica e comparativa do presente trabalho, foram utilizados os dados fornecidos por dez diferentes obras, das quais: duas utilizaram apenas o sistema dos painéis arquitetônicos, três utilizaram painéis e alvenaria de vedação e cinco utilizaram apenas a alvenaria.

3.2.2 PARÂMETROS PARA A ANÁLISE DE CUSTO E PRODUTIVIDADE

Para a análise dos custos dos painéis arquitetônicos, foram considerados os seguintes fatores na composição do custo unitário: mão de obra especializada; equipamentos de transporte e instalação; fabricação do painel. Cabe lembrar que o painel chega ao canteiro de obras finalizado, ou seja, dispensa o serviço de acabamento externo, como pintura ou textura.

Com relação à alvenaria, foram considerados os seguintes fatores: mão de obra de alvenaria, revestimento (chapisco e emboço) e acabamento; além dos materiais e todos as ferramentas necessárias para a execução do sistema construtivo.

Vale destacar que a composição dos custos foi feita buscando a maior equivalência possível entre os dois sistemas construtivos, com a finalidade de realizar uma comparação válida.

Para a análise da produtividade, tanto do painel arquitetônico como da alvenaria, coletou-se dados referentes ao tempo necessário para a conclusão das atividades e também da área representada por cada método. Foram levadas em consideração particularidades de cada obra ao se realizar o cálculo da quantidade de metros quadrados executados em um dia de trabalho.

Para a homogeneização dos dados fornecidos, foi considerada uma jornada de 8 horas trabalhadas por dia, com 20 dias trabalhados ao mês, salvo exceção de uma das obras, a qual tinha a necessidade de ser executada em tempo reduzido. Foram então considerados para esta obra três turnos de trabalho, ou seja, 24 horas por dia.

Assim, por meio da homogeneização realizada pôde ser viável uma comparação da produtividade para obras de diferentes tipos e construtoras.

3.2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise estatística dos dados coletados durante a presente pesquisa foi utilizado o *software Minitab*.

O primeiro passo para iniciar a análise é a definição da hipótese nula (H0) e, conseqüentemente, da hipótese alternativa H1. Para a presente pesquisa foram utilizadas as seguintes hipóteses:

a) Custo (R\$/m²):

$$H_0 = \text{custo painel} \leq \text{custo alvenaria}$$
$$H_1 = \text{custo painel} > \text{custo alvenaria}$$

b) Produtividade (m²/dia):

$$H_0 = \text{produtividade painel} \leq \text{produtividade alvenaria}$$
$$H_1 = \text{produtividade painel} > \text{produtividade alvenaria}$$

Os tamanhos (n) das amostras nesta pesquisa são os apresentados na Tabela 6.

VARIÁVEL	TAMANHO DA AMOSTRA (n)
Custo - Painei	5
Custo - Alvenaria	8
Produtividade - Painei	5
Produtividade - Alvenaria	6

TABELA 2 • Tamanho das amostras (n).

Para a escolha do teste estatístico a ser utilizado em amostras com $n < 30$ é preciso, primeiramente, confirmar se a distribuição de probabilidade dos dados adere a uma distribuição Normal. Vale destacar que para a presente pesquisa foi adotado o nível de significância $\alpha = 0,05$ e os testes de normalidade foram realizados por meio do teste de Anderson-Darling.

Conforme apresentado na Tabela 7, os valores-p para todos os grupos de dados são maiores do que o nível de significância adotado de 0,05. Sendo assim, pode se afirmar que as distribuições de probabilidade de todas as variáveis aderiram à distribuição Normal.

VARIÁVEL	Valor-p
Custo - Painei	0,084
Custo - Alvenaria	0,096
Produtividade - Painei	0,053
Produtividade - Alvenaria	0,305

TABELA 3 • Valor-p para as amostras.

Os custos (R\$/m²) tiveram para o painel e a alvenaria médias respectivamente iguais a 383,0 e 187,1 e desvios padrões respectivamente iguais a 196,0 e 27,6. Ao nível de significância de 5%, utilizando-se o teste F para comparação de variâncias, rejeitou-se a hipótese de que as variâncias dos custos são iguais ($p = 0,000$), sendo a variância do custo do painel superior à variância do custo da alvenaria. Ao se testar a diferença de médias, sendo as variâncias populacionais desconhecidas, utilizou-se o teste *t-de-Student*, supondo variâncias diferentes, sendo rejeitada a hipótese de que o custo médio do painel é no máximo igual ao da alvenaria ($p = 0,045$). Concluindo-se a partir deste resultado que o custo médio do painel é superior ao da alvenaria.

Para a produtividade (m²/dia) os valores para o painel e a alvenaria tiveram médias respectivamente iguais a 75,0 e 18,0 e desvios padrões respectivamente iguais a 75,6 e 8,9. Ao nível de significância de 5%, utilizando-se o teste F para comparação de variâncias, rejeitou-se a hipótese de que as variâncias dos custos são iguais ($p = 0,000$), sendo a variância da produtividade do painel superior à variância da produtividade da alvenaria. Ao se testar a diferença de médias, sendo as variâncias populacionais desconhecidas, utilizou-se o teste *t-de-Student*, supondo variâncias diferentes, não sendo rejeitada a hipótese de que a produtividade média do painel é no máximo igual ao da alvenaria ($p = 0,085$). Concluindo se a partir desse resultado que a produtividade média do painel poderá ser, de acordo com o teste estatístico, inferior ou igual à da alvenaria em alguns casos.

Quando o painel é utilizado meramente como elemento decorativo, como foi o caso de duas das obras analisadas, a produtividade cai, igualando-se praticamente à da alvenaria, levando a uma variabilidade muito alta na produtividade do painel. Quando a variância é muito grande em comparação com a média, torna-se mais difícil o teste rejeitar alguma hipótese. Vale ressaltar também que o nível descritivo (valor-p) do teste foi igual a 8,5%, ou seja, próximo ao limite máximo de 5% para a rejeição da hipótese. Desta forma recomenda-se que em futuras pesquisas, os tamanhos das amostras sejam aumentados a fim de verificar a tendência aqui sugerida de que a produtividade média do painel é maior do que a produtividade média da alvenaria.

4 CONCLUSÃO

Teoricamente, os benefícios da padronização, especificamente dos painéis pré-moldados arquitetônicos, são muitos. Estes necessitam de menor número de

mão de obra, geram menor desperdício de materiais uma vez que chegam prontos ao canteiro de obras, têm um maior controle de qualidade por serem fabricados em um ambiente caracterizado como industrial, entre outros.

Na prática, porém, foi constatado que o ideal é realizar um detalhado estudo de viabilidade para a escolha do melhor sistema para cada tipo de obra. Um estudo de viabilidade completo mostrará se para a obra em questão, levando em conta o resultado final desejado e todos os aspectos da construção, como equipamentos, mão de obra e prazo de execução, o melhor método construtivo a ser adotado é a alvenaria ou o pré-fabricado.

Isso porque o sistema de painéis pode ser muito mais produtivo que a alvenaria em situações nas quais a obra apresenta um elevado número de repetições, possibilitando assim, uma instalação fácil e rápida dos painéis após chegarem ao canteiro de obras e uma consequente redução no prazo da obra. O elevado custo inicial do produto será recuperado por conta da alta produtividade e da reutilização das mesmas formas para a fabricação do painel, o que o tornará mais acessível.

Se o arranjo de painéis escolhido for de difícil instalação, por exemplo, ou quando for utilizado meramente como elemento decorativo, o custo inicial mantém-se elevado, com uma produtividade semelhante à da alvenaria. Em contrapartida, características como a redução do desperdício de materiais, mão de obra e maior controle de qualidade do produto podem levar à escolha do pré-fabricado como método construtivo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **Anuário ABCIC 2013**. São Paulo: Abcic, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 9062:2006**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13749**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: 2013b.

ALMEIDA, C. de C. **Boas práticas utilizadas na execução da alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**: Um estudo de caso em edificações residenciais. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <<http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Cristiana.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

BROWN, S. et al. **Administração da produção e operações**: Um enfoque estatístico na Manufatura e nos Serviços. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

CAMPOS, P. E. F. de. **Novos paradigmas do ciclo aberto**: componentes com valor agregado. São Paulo: Abcic, 2004. Disponível em: <<http://www.abcic.org.br/artigo3.asp>>. Acesso em: 25 maio 2014.

CARVALHO, M. M. de; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade**: Teoria e Casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. Série ABEPRO.

CEOTTO, L. H. et al. **Revestimentos de argamassa**: boas práticas em Projeto, execução e avaliação – recomendações técnicas – volume 1. Porto Alegre: Habitare, 2005. Disponível em: 30 ago. 2014.

DONIAK, I. L. O.; GUTSTEIN, D. **Concreto Pré-fabricado**. In: G. C. ISAIA (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ipsilon, 2011. Cap. 43. p. 1569-1613

ENGENHARIA E CUSTOS - PINI (Org.). **Alternativas tecnológicas para edificações**: Volume 1. São Paulo: Pini, 2008.

FIGUEIRÓ, W. O. **Racionalização do Processo Construtivo de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. 2009. Monografia (Especialização em Construção Civil)- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Wendell%20Oliveira%20Figueir%F3%20-%20Vers%E3o%20final%20-%2030.01.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2014.

GONZÁLEZ, F.M. **Trincas e Fissuras em revestimentos argamassados de fachada: avaliação de campo em edificações na cidade de salvador**. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de engenharia civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana – Departamento de tecnologia: Colegiado de engenharia Civil, Feira de Santana, Salvador, 2010. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/FELIPE%20MENDEZ%20GONZ%C3%81LEZ.pdf>>. Acesso em: 28.out.2014.

MELO, C. E. E. **Manual Munte de Projetos em Pré-fabricados de Concreto**. São Paulo: Pini, 2004

NAKAMURA, J. Estrutura Industrializada: Pré-fabricados de concreto já são largamente empregados em projetos com alto grau de repetição e amplos vãos livres. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 149, dez. 2013.

NASCIMENTO, D. M.; SILVA, M. M. A. **Paredes de vedação**: integração entre projeto e canteiro. In: IV COLÓQUIO DE PESQUISAS EM HABITAÇÃO: Coordenação Modular e Mutabilidade. Belo Horizonte: **Anais... MOM / EAUFMG**, 2007

NEVES, S. da C. de M. **Estudo da aplicabilidade dos sistemas construtivos no desempenho da sustentabilidade na Engenharia Civil**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1037602/1/Dissertacao%20SMN%20Final.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2013.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M. de A., PIGOZZO, B.N. **Evolução dos Pré-Fabricado de concreto**. 1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 2005, São Carlos, Anais... Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>. Acesso em: 26 set. 2013.

SILVA, J. B. V. Como medir a produtividade na construção civil, E-Civil, São Paulo, não paginado, [entre 2000 e 2011]. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/medir_produtividade_na_construcao_civil.htm>. Acesso em: 10 out. 2014.

THOMAZ, E. et al. **Código de Práticas nº01 – Alvenaria de vedação**. 2009. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Disponível em: <http://www.ipt.br/download.php?filename=113-Codigo_de_Praticas_n_01.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2014.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 12. ed. São Paulo: Pini, 2013.

YOSHIDA, F. N. **Análise de um modelo de padronização de processos para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento)- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/enges/>>. Acesso em: 05 out. 2013.

Resumo

“O presente trabalho objetiva avaliar as resistências à compressão axial, compressão diametral, flexão simples e tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço (CRFA). Ao longo do trabalho são apresentados os materiais, equipamentos, resultados, análises e conclusões através do rompimento de corpos de prova reforçados com fibras de aço com variados teores de adição e fatores de forma das fibras, de acordo com as normas brasileiras e internacionais vigentes. Este estudo tem o interesse de avaliar a relação entre a resistência do CRFA, e o teor de fibras de aço adicionado, além da influência dos fatores de forma das mesmas. Verificou-se neste trabalho, em comparação com o concreto sem fibra, os resultados do CRFA, em média, mostram poucas alterações quanto à resistência à compressão axial e significantes acréscimos de resistências à compressão diametral e à flexão simples, além de a matriz de concreto passar a ter um comportamento *pseudo-dúctil*, ou não frágil. A partir dos resultados, é possível apontar a utilização do CRFA para o controle do quadro de fissuração e pós-fissuração para as diversas áreas de aplicação no concreto estrutural.”

Palavras-chave » Concreto com fibra de aço. Resistência à compressão axial. Resistência à compressão diametral. Resistência à flexão simples. Tenacidade..

¹ E-mail: js.adriano@gmail.com.

² E-mail: fernandacarvalhoeng@hotmail.com.

³ E-mail: rafaelmdearaujo@gmail.com.

⁴ E-mail: van.baptistella@hotmail.com.

⁵ E-mail: sprisz@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A adição de materiais fibrosos em compostos usados na construção civil vem desde o antigo Egito, com o uso da palha em argilas para fazer tijolos, com intuito de dar maior resistência à flexão do tijolo e trabalhabilidade após seu cozimento ao sol. Segundo Sarzalejo et al. (2008), existem históricos de revestimentos reforçados com crina de cavalo ou palha em construções mais pobres para evitar fissura de retração, forros em gesso armado com traçados de bambu, e misturas de cimento reforçado com fibras de amianto.

Os estudos da utilização de fibras no concreto estão aproximadamente entre os anos 1950 e 1960 (SARZALEJO et al., 2008), quando foi analisada a adição de fibras sintéticas, de aço e vidro. Entretanto, ainda são poucos os estudos sobre estas adições. Com a adição das fibras a uma matriz de concreto, esta passa a ter maior resistência e ductilidade, quando submetida a esforços de tração e compressão, em relação a uma matriz sem esta adição. Além disso, as propriedades da matriz de concreto com fibras de aço variam de acordo com as características da matriz, quantidade (teores) de fibras, propriedades geométricas e mecânicas da fibra, e a interação entre fibra e concreto.

As fibras de aço são classificadas como fibras de alto módulo e não são utilizadas apenas para o controle de fissuração do concreto, mas também como reforço primário do concreto. A utilização destas fibras em concretos de alto desempenho aumenta a competitividade do material, quando comparado com outras tecnologias.

As fibras podem ser produzidas com vários tipos de aço, assim como podem ser de vários formatos e dimensões. Elas são divididas basicamente em três tipos: o primeiro tipo é produzido a partir do fio chato que sobra da produção da lâ de aço; o segundo tipo tem formato retangular e é produzido partindo do corte de uma chapa de aço; e o terceiro tipo tem formato circular, e é formado a partir de fios trefilados até a obtenção do diâmetro desejado (FIGUEIREDO, 2000).

O foco deste trabalho é estudar a influência da adição de fibras de aço na matriz de concreto.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental deste trabalho está dividido em três etapas: na primeira etapa está a identificação e caracterização dos materiais; na segunda etapa está o estudo e obtenção do traço utilizado; na terceira etapa estão os procedimentos e resultados dos ensaios de compressão axial, compressão diametral, tração na flexão e tenacidade.

2.1 Caracterização dos materiais utilizados

O cimento utilizado foi CP II Z - 32 (Cimento *Portland* Composto com adição de Pozolana), escolhido devido a sua disponibilidade no mercado. O CP II Z - 32 é recomendado para obras sujeitas a meios agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas, para concreto simples, armado ou usinado, estruturas de concreto em geral, fundações, estacas, galerias subterrâneas, argamassas de assentamento e revestimento, concreto magro para passeio e revestimento.

O agregado graúdo utilizado, estocado em tambores no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*, possui faixa granulométrica de 12,5 a 22 mm, classificado como Brita 1. O agregado miúdo utilizado, estocado em sacos no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*, possui faixa granulométrica de 1 a 2,4 mm, classificado como Areia Média.

O aditivo utilizado foi o ADIMENT SUPER da VEDACIT, que é um aditivo superplastificante com alto poder de dispersão, que atribui ao concreto reforçado com fibra de aço uma melhor trabalhabilidade e fluidez.

Foram utilizadas quatro fibras de aço de mesma geometria, conforme Figura 1, porém com dimensões diferentes, todas doadas pelos seus fabricantes, e suas características estão apresentadas na Tabela 1.

FABRICANTE	FIBRA STEEL	BELGO BEKAERT ARAMES (ARCELORMITTAL)	MACCAFERRI	VULKAN DO BRASIL
Denominação	FSD7525 AI FF40	DRAMIX RL 45/50 BN	WIRAND FF3 50/0,75	HAREX KSF 60/0,75
Fator de Forma - FF (l/d)	33	48	67	80
Diâmetro - d (mm)	0,75	1,05	0,75	0,75
Comprimento - l (mm)	25	50	50	60
Fibras/kg	11.300	2.800	5.767	Não fornecido
Resistência à tração (MPa)	>1.000	>1.100	>1.100	>1.100

TABELA 1 • Características das fibras.
FONTE: Acervo próprio (2014)



FIGURA 1 • Geometria das fibras.
FONTE: Acervo próprio (2014)

2.2 Escolha do traço

O traço utilizado foi adotado com base nas orientações dos fabricantes das fibras de aço e do fabricante do aditivo. Os fabricantes das fibras de aço recomendam, em geral: teor de argamassa superior a 50%, fator água/cimento (a/c) inferior a 0,55, abatimento do tronco de cone *Slump* inferior a 12 cm. A *Vedacit* recomenda a utilização de 0,5 a 1,5% do superplastificante sobre a massa de cimento.

O traço utilizado durante todo o estudo que melhor atendeu aos requisitos acima, foi 1 : 2,224, 2,976, 0,55 (cimento, areia, brita e água), com 1% de superplastificante sobre a massa do cimento e o abatimento do tronco de cone de entre 5 e 10 cm. Foram utilizados traços com 2 teores (quantidades) diferentes para cada tipo de fibra estudada, 30 kg/m³ e 60 kg/m³. Os materiais foram calculados para um volume de 0,04m³ de concreto, quantidade necessária para a moldagem de todos os corpos de prova, com consumo de cimento de 360 kg/m³.

2.3 Ensaios experimentais

Foram moldados 90 corpos de provas cilíndricos (diâmetro de 10 cm e altura 20 cm) e 45 corpos de prova prismáticos (10x10x40cm³), divididos em 9 lotes caracterizados de acordo com o fator de forma e teor de fibras utilizado. Todos os corpos de prova foram moldados com adensamento por vibração, identificados, desmoldados e submetidos à cura úmida de acordo com os procedimentos indicados na ABNT NBR 5738:2003/Emd. 1:2008 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

2.3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Foram utilizados para os ensaios de compressão axial 54 corpos de prova (CPs) cilíndricos com diâmetro de 10 cm, e altura de 20 cm. Os CPs foram rompidos separadamente, de acordo com suas idades de cura, de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Os CPs foram submetidos a carga de compressão axial na máquina de ensaios AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.) no Laboratório de Materiais de Construção, Construções de Edifícios e Arquitetura da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*.



FIGURA 2 • Corpo de prova cilíndricos sendo submetido à compressão axial.
FONTE: Acervo próprio (2014)

2.3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Foram utilizados para os ensaios de tração por compressão diametral 36 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm, e altura de 20 cm. Os CPs foram rompidos separadamente, de acordo com suas idades de cura, de acordo com a ABNT NBR 7222:2010 Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Os CPs foram submetidos à carga de compressão diametral na máquina de ensaios AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.) no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*.



FIGURA 3 • Corpo de prova cilíndrico sendo submetido à tração por compressão diametral.
 FONTE: Acervo próprio (2014)

2.3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Foram utilizados para os ensaios de tração na flexão 45 corpos de prova prismáticos de 10 cm de largura, 10 cm de altura e 40 cm de comprimento, os corpos de prova foram rompidos separadamente, de acordo com suas idades de cura, de acordo com a ABNT NBR 12142:2010 Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Os prismas foram submetidos à carga de flexão nos terços dos vãos, conforme mostra a Figura

4, na máquina de ensaios AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.) no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*.

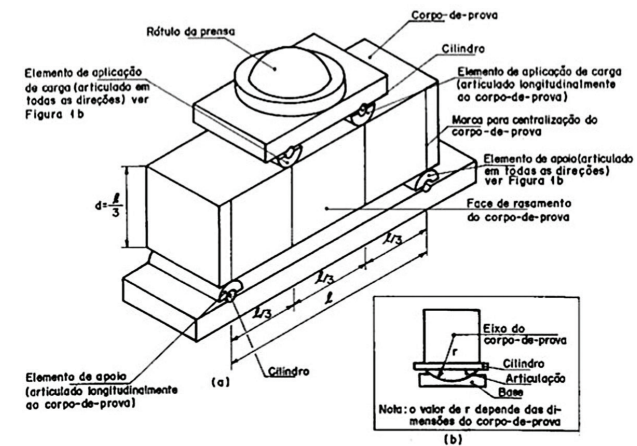


FIGURA 4 • Corpo de prova cilíndrico sendo submetido à tração por compressão diametral.
FONTE: Acervo próprio (2014)

2.3.4 ESTUDO DA TENACIDADE NO ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Foram utilizados para o estudo da tenacidade os corpos de prova do ensaio de tração na flexão, rompidos aos 28 dias, e acordo com a ABNT NBR 12142:2010 Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Os prismas foram submetidos à carga de flexão na máquina de ensaios AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.) e seu deslocamento vertical foi monitorado através de um extensômetro da marca MITUTOYA com precisão de 0,01mm, no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana *Mackenzie*.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao analisar o comportamento em serviço e o desempenho de resistências do concreto reforçado com fibras de aço foi submetida a esforços de compressão axial, tração por

compressão diametral e flexão simples, averiguaram-se os acréscimos de resistência obtidos por diferentes teores de fibra de aço incorporados à matriz de concreto, quando comparado com a resistência alcançada pelo concreto sem fibra. Verificou-se também a interferência do fator de forma da fibra de aço na resistência do CRFA, mantendo constante o teor de fibra de aço incorporado à matriz de concreto, e variando o comprimento ou diâmetro da fibra utilizada, através da comparação dos resultados obtidos entre si nas suas respectivas idades.

3.1 Análise dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial

Os gráficos dos resultados médios de resistência à compressão axial estão apresentados nas figuras 5 a 8.

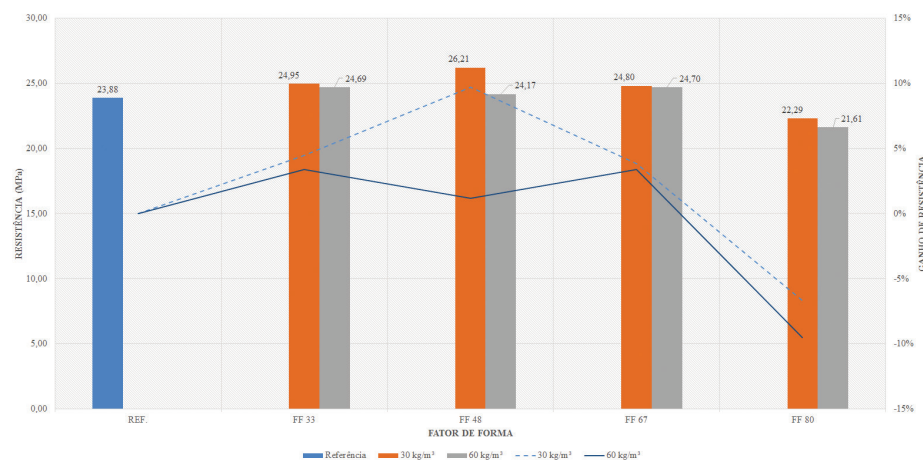


FIGURA 5 • Gráfico da resistência à compressão axial aos 7 dias.

FONTE: Acervo próprio (2014)

FF33 fibra com fator de forma 33 (relação do comprimento pelo diâmetro)

FF48 fibra com fator de forma 48 (relação do comprimento pelo diâmetro)

FF67 fibra com fator de forma 67 (relação do comprimento pelo diâmetro)

FF80 fibra com fator de forma 80 (relação do comprimento pelo diâmetro)

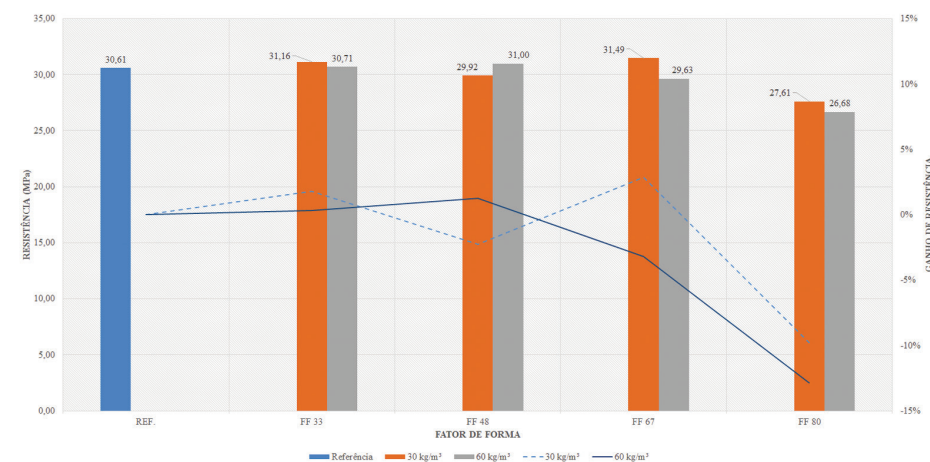


FIGURA 6 • Gráfico da resistência à compressão axial aos 28 dias.

FONTE: Acervo próprio (2014)

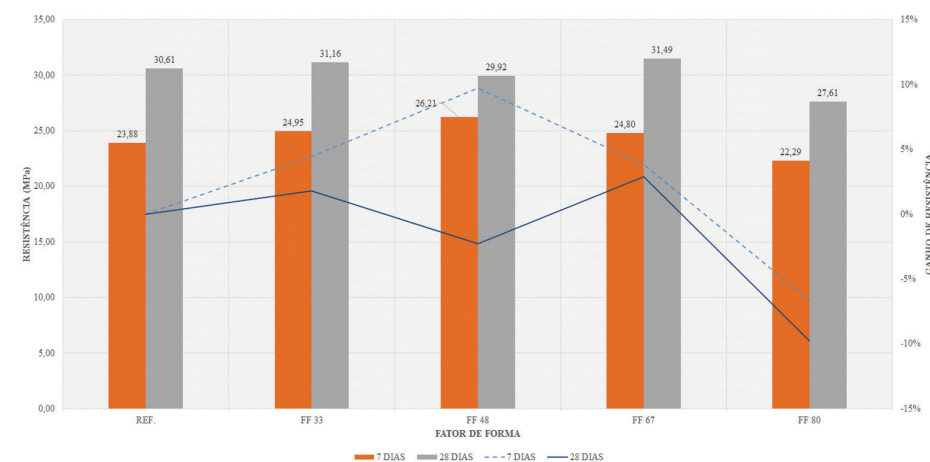


FIGURA 7 • Gráfico da resistência à compressão axial - 30 kg/m³.

FONTE: Acervo próprio (2014)

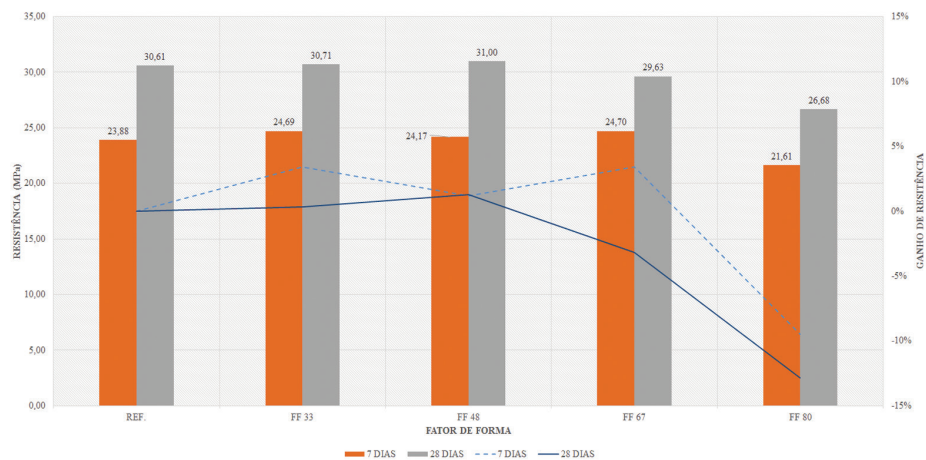


FIGURA 8 • Gráfico da resistência à compressão axial - 60 kg/m³.
FONTE: Acervo próprio (2014)

3.2 Análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral

Os gráficos dos resultados médios de resistência tração por compressão diametral estão apresentados nas figuras 9 a 12.

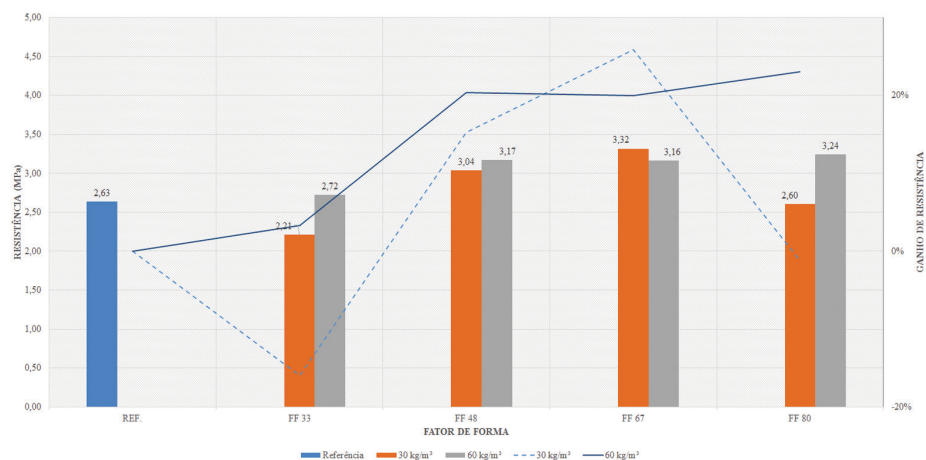


FIGURA 9 • Gráfico da resistência à compressão diametral aos 7 dias.
FONTE: Acervo próprio (2014)

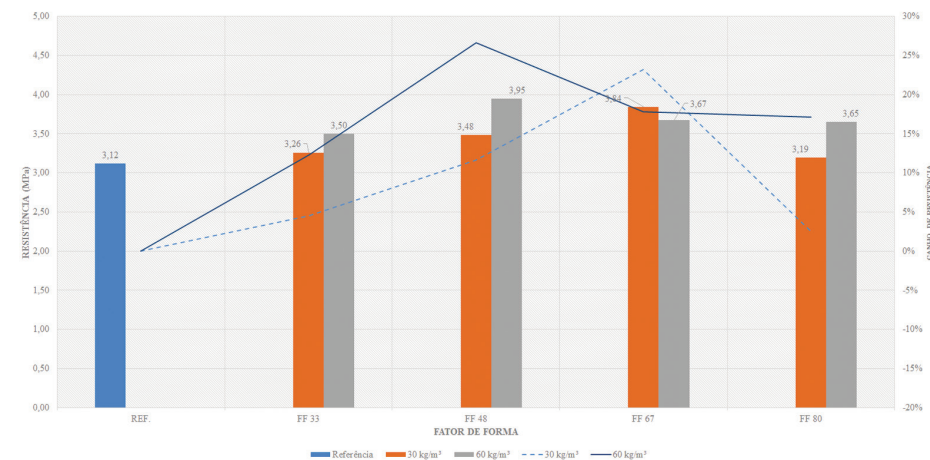


FIGURA 10 • Gráfico da resistência à compressão diametral aos 28 dias.
FONTE: Acervo próprio (2014)

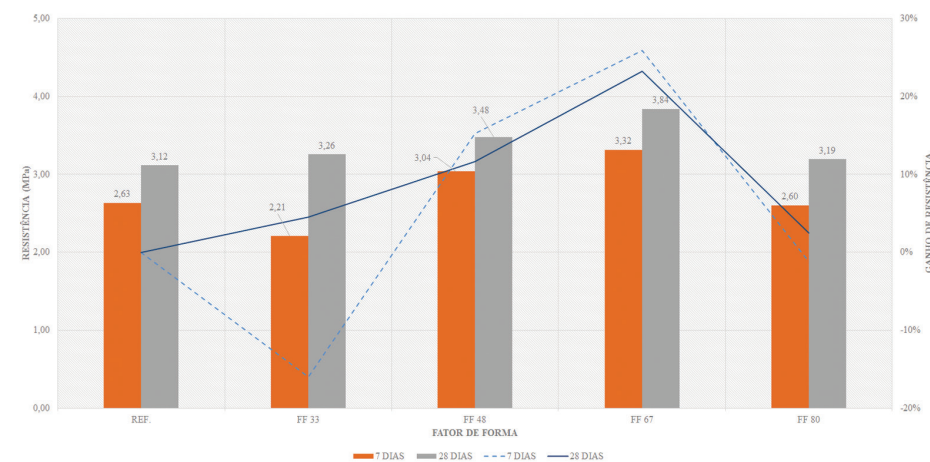


FIGURA 11 • Gráfico da resistência à compressão diametral - 30 kg/m³.
FONTE: Acervo próprio (2014)

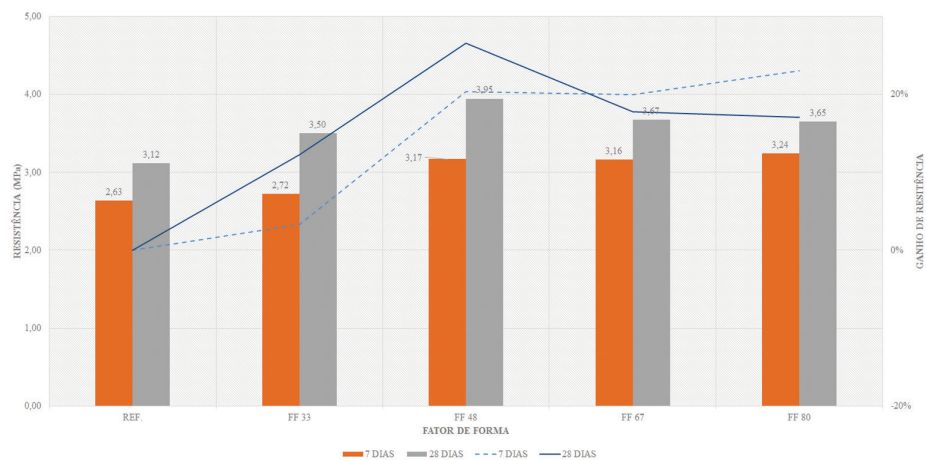


FIGURA 12 • Gráfico da resistência à compressão diametral - 60 kg/m³.
FONTE: Acervo próprio (2014)

3.3 Análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração na flexão

Os gráficos dos resultados médios de resistência tração na flexão estão apresentados nas figuras 13 a 16.

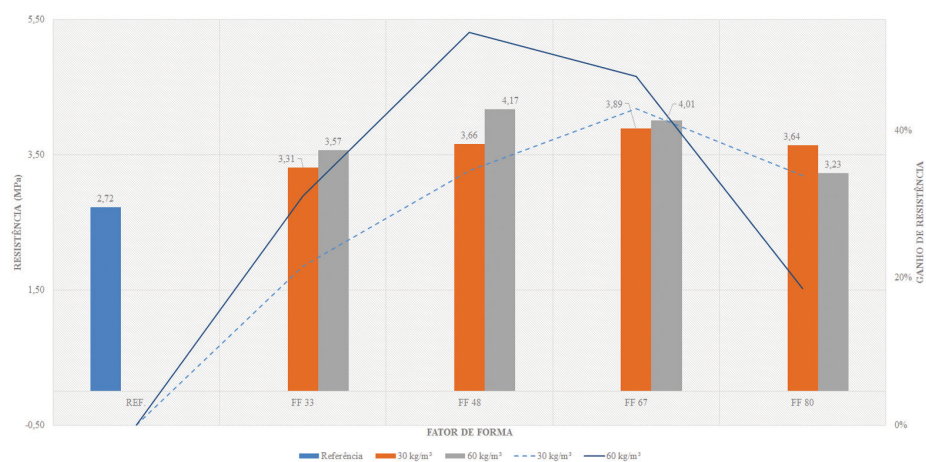


FIGURA 13 • Gráfico da resistência à flexão simples aos 7 dias.
FONTE: Acervo próprio (2014)

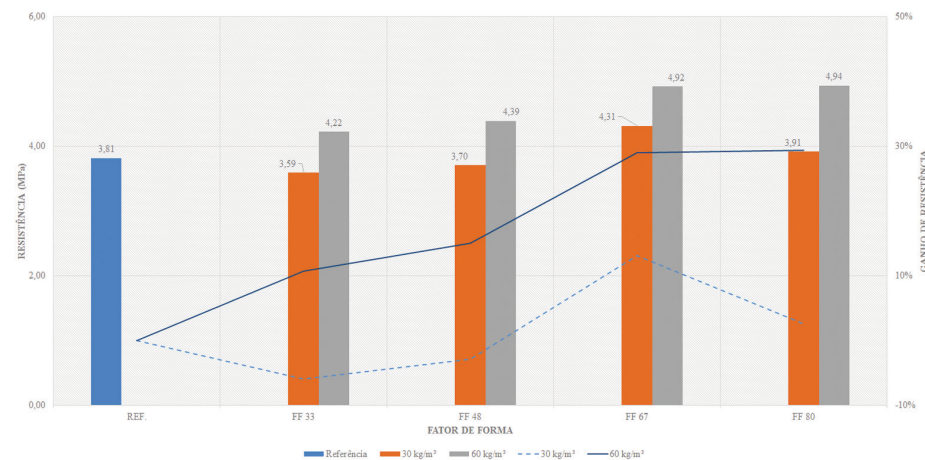


FIGURA 14 • Gráfico da resistência à flexão simples aos 28 dias.
FONTE: Acervo próprio (2014)

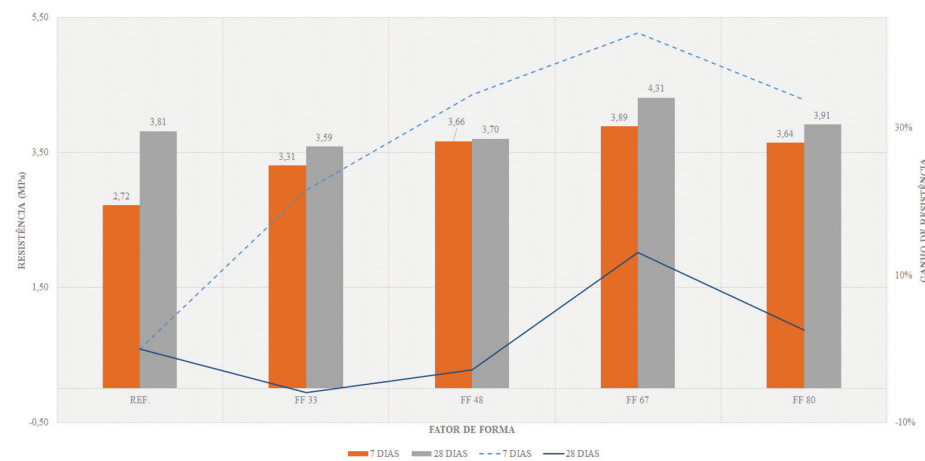


FIGURA 15 • Gráfico da resistência à flexão simples - 30 kg/m³.
FONTE: Acervo próprio (2014)

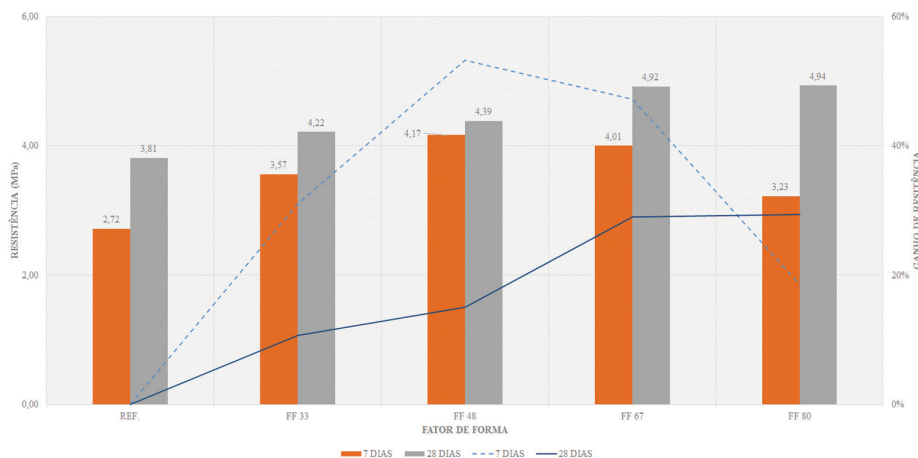


FIGURA 16 • Gráfico da resistência à flexão simples.
FONTE: Acervo próprio (2014)

3.4 Análise dos resultados obtidos nos ensaios da tenacidade

O gráfico dos resultados médios dos fatores de tenacidade está apresentado na figura 17.

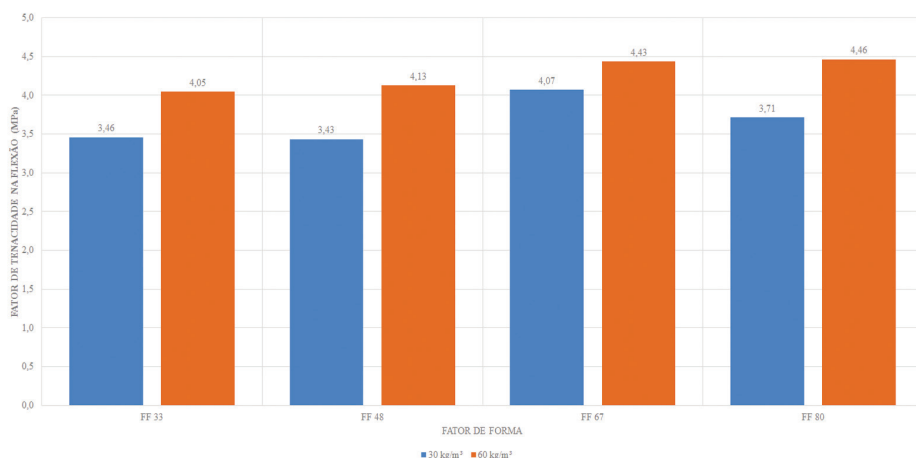


FIGURA 17 • Gráfico do fator de tenacidade.
FONTE: Acervo próprio (2014)

Observando os resultados, é possível correlacionar o fator de tenacidade na flexão com o teor de fibras adicionado e seu fator de forma. É importante observar que, no caso da fibra de FF 67, os valores do fator de tenacidade para 30 kg/m³ e 60 kg/m³ são próximos, chegando a um acréscimo de 9%, enquanto nas outras fibras o acréscimo foi entre 17% e 20%.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, pode-se confirmar a mudança, de frágil para *pseudo-dúctil*, no comportamento do CRFA, que passa a ter capacidade, portanto, a pós-fissuração e a apresentar aumento na resistência à deflexão.

Neste estudo, pode-se verificar que, na resistência à compressão axial, independente do teor de fibra adicionado e do fator de forma utilizado, um ganho insignificante de resistência aos 7 dias e decréscimo de resistência aos 28 dias, quando comparadas às do concreto sem fibra, pois a adição de fibras causa o aumento da incorporação de ar na matriz de concreto e, devido a superfície das fibras de aço serem lisas, a aderência entre os materiais é reduzida. Quanto à resistência à tração por compressão diametral, nota-se um ganho no desempenho em todos os traços e idades analisadas, porém os traços com fibras de fator de forma intermediário (FF 48 e FF 67) apresentaram melhores resultados devido à compatibilidade dimensional com o corpo de prova e agregados graúdos.

Na análise da resistência à tração na flexão, o concreto reforçado com fibra de aço, em comparação com o concreto sem fibra, apresenta um significativo aumento de resistência aos 7 dias, sabe-se que é muito importante, uma vez que, neste período, o concreto ainda não adquiriu toda sua resistência e os efeitos de retração plástica são mais intensos, ocasionando o aparecimento de fissuras e consequentemente redução da durabilidade e resistência deste concreto - efeitos estes minimizados por esta adição. Nesta idade, os fatores de forma intermediários, que possuem um comprimento de ancoragem compatível dimensionalmente com o agregado graúdo, e com o próprio corpo de prova, apresentam os melhores resultados, sendo responsáveis por aumentos de até 43% de resistência. Aos 28 dias, os ganhos comparativos são menores. Este fato se deve ao acréscimo de resistência da matriz do concreto, que, nesta idade já adquiriu sua resistência característica.

Entretanto, ainda assim é possível visualizar um ganho satisfatório do concreto reforçado com fibra de aço, principalmente para os maiores fatores de forma - efeito este justificado pela cura completa do concreto e, conseqüentemente, o aumento de aderência devido à maior área de contato apresentada por estas fibras, podendo-se verificar, em alguns casos, aumento de até 29,7% na resistência. Em ambas as idades (aos 7 e 28 dias), e na maioria dos fatores de forma, o ganho de resistência à tração é maior para o teor de 60 kg/m³ do que para o teor de 30 kg/m³, o que vai ao encontro dos relatos apresentados pela revisão da literatura. Porém, não é possível estipular uma relação monotônica crescente entre o teor empregado e o ganho de resistência à tração obtida.

Para os fatores de tenacidade na flexão, pode-se concluir que os CRFAs com FF 67 apresentaram melhores resultados em relação aos demais, independente do teor de fibra utilizado, assim como encontrado na literatura. Nos demais CRFAs, houve considerável influência do teor de fibra adicionado, pois quanto maior o teor adicionado maior é a quantidade de fibras na matriz de concreto, diminuindo a distância entre elas e fazendo com que as mesmas trabalhem em conjunto na distribuição de tensões.

Sucintamente, pode-se observar que, na compressão axial, não se vê a importância da adição de fibras de aço na matriz do concreto, pois o concreto por si só já tem considerável resistência a compressão. Entretanto, quando se trata da análise da resistência à tração, tanto na compressão diametral quanto na flexão simples, esta adição é viável, pois diminui o quadro de fissuração, aumenta a resistência pós-fissuração e resistência ao impacto, colaborando com o aumento da durabilidade e com a otimização do dimensionamento estrutural.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738/Emd.1: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO.** São Paulo: EPUSP, 2000. 69 p. (BT/PCC/260). Disponível em: <<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/a-000222006526153128.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

SARZALEJO, Antonio Gallovich et al (Org.). **Fibras com Elemento Estrutural para Reforço de Concreto.** Jundiaí: Maccaferri do Brasil, 2008. 247 p. Disponível em: http://www.maccaferri.com.br/media/om_www/brazil/downloads/Novos/fibras21221.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2013.

VEDACIT IMPERMEABILIZANTES (Brasil) (Ed.). **ADIMENT SUPER - MODO DE USAR.** Disponível em: <<http://www.vedacit.com.br/neu/produtos.php?5>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

RECICLAGEM E GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Gabriela de Souza Santos ¹
Leonardo Augusto Chaves Frohlich Almeida ²
Leticia S. Prado ³
Magda Aparecida Salgueiro Duro ⁴

Resumo

“ A sustentabilidade é um assunto bastante em pauta nos dias de hoje, e sendo o setor da construção civil um dos principais geradores de resíduos sólidos no meio ambiente, a gestão desses resíduos tem por consequência reduzir o volume de entulho descartado em aterros inertes, e beiras de ruas e rios, anexados à redução de custos com o transporte desses resíduos e até mesmo na compra de agregados brutos, sabe-se que a reutilização do mesmo, pode ser útil em diversas etapas da construção. O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar o gasto com o descarte do material, e a compra do agregado com o custo da britagem do material a ser descartado, ou como o chamamos, Resíduos da Construção Civil. Os estudos de caso mostram os volumes de entulho que foram gerados a partir da demolição, e posteriormente britados, e ainda, considerando o valor do agregado, é possível analisar o que pode ser economizado em obra. Entretanto, um comparativo do volume que pode ser reutilizado no canteiro de obras, portanto, para toda regra, há uma exceção. A reciclagem somente será viável se o volume de resíduos for suficiente para que a economia gerada com o produto final supere os gastos com todo o processo de transformação deste material, desde a triagem para separação dos resíduos em classes A, B, C ou D, até o processo de britagem propriamente dito.”

Palavras-chave » Reciclagem de RCC. Construção Civil. Logística reversa. Gestão de resíduos.

¹ E-mail: ssgabriela91@gmail.com.

² E-mail: leonardoacfa@gmail.com.

³ E-mail: NÃO TEMOS E-MAIL DESSE.

⁴ E-mail: magdaduro@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da história da humanidade, os recursos naturais foram os principais responsáveis pela construção de abrigos e proteção. Com o passar dos séculos, a necessidade de construções cada vez maiores e mais eficazes impulsionou o surgimento de novas técnicas construtivas. Novos materiais passaram a ser utilizados, podendo destacar o aço e o cimento, que possibilitaram a construções de grandes estruturas.

As buscas por materiais melhores e métodos construtivos mais eficazes surgiram para fins militares, podendo se destacar a expansão do Império Romano, em que novas técnicas construtivas surgiram, principalmente, pela grande oferta de matéria prima e trabalho escravo. A utilização do concreto em obras da construção surgiu por intermédio dos romanos, que descobriram uma mistura com cinzas vulcânicas que, ao se solidificarem, formavam um material tão duro quanto às rochas.

Com o crescimento econômico, a exigência em atender prazos cada vez menores fez com que surgissem as primeiras ferrovias. Com o surgimento do ferro como matéria prima pra construção civil, o desenvolvimento da engenharia civil alavancou. Usado inicialmente como elemento estrutural, sua resistência, capacidade de pré-fabricação e facilidade na montagem, trouxe grandes avanços ao setor da construção, possibilitando, inclusive, inovar o formato dos prédios e pontes, além de reduzir o tempo de obra.

Com o auge da Revolução Industrial e a crescente exploração dos recursos naturais para as novas construções, nunca se havia mensurado a finitude e o impacto ambiental que a falta destes recursos causaria. Foi com o livro Primavera Silenciosa de Rachel Carson, 1962, que a vulnerabilidade da natureza e seus recursos foram colocados em pauta para a discussão de novas técnicas e medidas construtivas.

O grande marco da reutilização dos resíduos minerais da construção se deu logo após o fim da Segunda Guerra Mundial, onde as cidades européias se reconstruíram a partir dos restos provenientes das demolições causadas pelas guerras.

Apesar do desenvolvimento acelerado no setor da construção civil ser um grande marco para o mundo nos aspectos sociais e econômicos, é um setor que gera um

elevado volume de entulho e resíduos que, ao serem descartados de forma inadequada, entram em conflito com os aspectos ambientais.

Em 1987, o Relatório de Brundtland, elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU), destacou a vulnerabilidade do ecossistema e todos os problemas ambientais já preocupantes na época. Uma das discussões apresenta o Desenvolvimento Sustentável como um principal estilo de vida necessário de ser adotado, de modo a atender tanto o desenvolvimento econômico como a preservação ambiental.

Atualmente, na construção civil, a quantidade de resíduo de entulho de demolição gerado em obras aumenta proporcionalmente conforme a demanda de obras civis dos países em desenvolvimento. O número de obras vem crescendo junto com crescimento do país e, por consequência, a produção de concreto, blocos, massas, etc.. Em obras da construção civil é comum que haja perda de material, podendo ser por descarte, uma vez que o produto ultrapassou seu tempo limite de utilização, ou também por revisões de projeto, que acarretam em demolições para reposição de paredes ou elementos de acabamentos. Todo o material descartado pode ser classificado conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002¹, podendo ser de Classe A, Classe B, Classe C ou Classe D, conforme Quadro 1:

CLASSE	ORIGEM	TIPO DE RESÍDUOS
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado, provenientes de construção, demolição, reforma ou reparo de pavimentação ou edificação.	Solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações.	Plástico, papel, papelão, vidro, metal e madeira.
Classe C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidos tecnologias e procedimentos economicamente viáveis.	Gesso, isopor e outros (não recicláveis)
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, telhas de amianto ou que contenham outros produtos nocivos à saúde.

QUADRO 1 • Classificação dos Resíduos da Construção Civil (RCC) pela Resolução CONAMA nº307/2002.

FONTE: Elaborado pelos autores.

¹ Alterada pelas Resoluções CONAMA nº 448, de 2012, que traz adaptações referentes a terminologias e prazos, em atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos; Resolução nº 348, de 2004, que altera o inciso IV do art. 3º, sobre resíduos perigosos; e Resolução nº 431, de 2011, que altera a classificação do gesso.

O destino desses materiais dispensados é incerto. Muitas vezes são encaminhados para aterros de material inerte, que geram custos à obra e volume de entulho inutilizável. Além disso, não há garantia de que o entulho retirado através das caçambas está sendo descartado de forma ecológica, podendo ser depositado nas ruas, campos ou margens de rios e que, se estiverem contaminados (Classe D), podem causar danos ainda maiores, interferindo na saúde pública.

Uma solução viável, tanto econômica quanto sustentável, é a reutilização do entulho a partir da reciclagem. De acordo com a empresa Baram, responsável pela Linha de Máquinas Verbam para reciclagem de entulhos, de todo resíduo descartado na construção civil cerca de 90% (noventa por cento) pode ser reciclado para gerar matéria prima com características semelhantes à do produto reciclado. Todo material recolhido passa pelo processo de britagem e, a partir do classificador de granulometria, seu destino é definido, podendo ser utilizado conforme a NBR 15116/04, em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural, ou também na produção de tijolos ecológicos, no enchimento de fundações, no calçamento de vias de pedestres, entre outros.

Este trabalho relaciona os gastos com o transporte dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para os aterros com o custo gerado na gestão deste resíduo para reciclagem e reaproveitamento. Desta forma é possível comparar e comprovar que a reciclagem deste material descartado gera economia para a construtora, além de prover a sustentabilidade.

Há também outro aspecto que justifica o reuso do entulho. “Em São Paulo, temos um grande consumo de agregados, mas as jazidas estão cada vez mais longes. Isso tem encarecido a matéria prima natural e elevação dos custos com transportes”, afirma *Vanderley John*, professor da Poli USP (CAPELLO, 2006, p.32).

No Brasil ainda há muita discriminação a respeito do material reciclado, de modo que sua prática não seja muito comum. As construtoras optam por utilizar os mesmos procedimentos já executados em obras anteriores na ideia de seguir um cronograma padrão da empresa, não se preocupando em inovar os métodos construtivos de forma a minimizar o impacto ambiental e otimizar o custo da obra.

Com isso, este trabalho apresenta um estudo sobre a gestão integrada de Resíduos de Construção Civil (RCC)², ou também chamado de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) com a aplicação da logística reversa no canteiro de obra que proporciona benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

1.1 Objetivo

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a contribuição socioeconômica e ambiental do reaproveitamento de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) em campos da construção civil.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os procedimentos da reutilização do material cimentício descartado, de forma a respeitar suas características, sua origem e tipo, para então definir seu destino.

Avaliar custos e dados de obras que realizaram o processo de reciclagem de Resíduos de Construção Civil.

Analisar as políticas públicas, normas e especificações técnicas referentes aos Resíduos de Construção e Demolição.

1.2 Justificativa

A construção civil é essencial ao atendimento das demandas sociais por habitação e infraestrutura básica. No entanto, o aumento das obras de construção civil é desproporcional à capacidade de suporte da região urbana

² Neste trabalho, as nomenclaturas RCC e RCD serão referentes aos mesmos materiais descartados em obra

e faz com que o volume de acúmulo de Resíduos de Construção Civil (RCC) em locais inapropriados aumente. Esses resíduos prejudicam as condições do meio ambiente, interferindo de forma negativa no ecossistema.

Uma alternativa para o crescimento sustentável do país é considerar e avaliar a reciclagem desses resíduos de forma a reutilizá-los na própria obra, gerando benefícios para o meio ambiente, e inclusive para a própria construtora.

Nos dias de hoje, é possível encontrar algumas empresas responsáveis pela gestão destes resíduos descartados em obra, considerando as variáveis: custo do agregado novo, custo do bota-fora, custo equipamento necessário para a reciclagem e área de reciclagem (infraestrutura física e transporte do britador), e custo da contratação de serviço técnico (consultoria e ensaios laboratoriais).

Desta forma, justifica-se um estudo da gestão destes resíduos pelo método da reciclagem e logística reversa das empresas geradoras, para que possam contribuir com a sustentabilidade, além de trazer economia para a empresa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Devido à falta de fiscalização que acompanhe o local de destino para os Resíduos da Construção Civil (RCC), muitas obras o despejam em campos, margens de rios, terrenos e beira de ruas. A solução é viabilizar procedimentos que propõem medidas socioeconômicas e socioambientais que minimizem os impactos gerados pelos RCCs. Outro problema é devido ao elevado número de pedreiras existentes no Brasil, que faz com que a ideia de reciclar e reaproveitar os RCCs sejam incipientes. A extração do material retirado das pedreiras deve ser tratada com mais cautela, pois trata-se de um material não renovável.

A reciclagem, além de ser um assunto muito citado nos últimos anos, é uma solução extremamente viável que aborda valores preservacionistas em consideração com as questões ambientais. A substituição dos recursos naturais por material reciclado durante a construção de uma obra garante que ela seja sustentável, porém ainda há muito preconceito a respeito da reciclagem, pois se acredita que o agregado esteja comprometido de modo a perder parte de sua resistência e desempenho.

Em uma reportagem da revista *Techne*, PINI, o engenheiro civil Luiz Henrique Ferreira, diretor da *Inovatech* Engenharia, ressalta a importância de um rigoroso controle do material a ser reciclado em obra para evitar a contaminação ou presença de resíduos perigosos. A utilização de material contaminado na reciclagem torna o produto final igualmente contaminado. Ele também ressalta a questão da rastreabilidade do material reciclado para controlar a qualidade do produto final no local em que ele foi utilizado. Essa rastreabilidade garante respostas para o estudo técnico da gestão de resíduos uma vez que, com resultados positivos, a empresa consegue comprovar a efetividade do sistema.

Segundo a Urbem Tecnologia Ambiental, Usina de Reciclagem e Beneficiamento de Entulho e Materiais, para o uso adequado dos agregados reciclados, eles devem ser separados da seguinte forma:

- a) brita corrida, com dimensão máxima característica de 63 mm e normalmente utilizada em base, sub-base e subleito de pavimentos;
- b) areia reciclada, com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm e normalmente utilizado em argamassas de assentamento de alvenaria de vedação ou execução contrapisos;
- c) pedrisco reciclado, com dimensão máxima característica de 6,3 mm e normalmente utilizado na fabricação de artefatos de concreto, como por exemplo pisos intertravados;
- d) brita reciclada, com dimensão máxima característica inferior a 39 mm e uso recomendado para fabricação de concretos não estruturais e drenagens;
- e) rachão, com dimensão máxima característica inferior a 150 mm e normalmente utilizado em obras de pavimentação, drenagens, terraplenagem.

No intuito de incentivar a construção sustentável, o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental, que proporciona as construtoras uma publicidade positiva. Para a aprovação do certificado LEED, existem alguns itens que devem ser rigorosamente seguidos, um deles tem como foco a utilização de materiais reciclados, recicláveis e de reuso e o descarte consciente, tornando mais um atrativo para as construtoras incorporarem em seus empreendimentos.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Procedimentos de reciclagem

A implantação do sistema de gestão de Resíduos da Construção e Demolição sugere o cumprimento de diversas atividades a se realizar dentro e fora do canteiro de obras, conforme o cronograma da Tabela 1:

ATIVIDADES	MESES											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Reunião inaugural												
Planejamento												
Implantação												
Monitoramento												

QUADRO 1 • Modelo de cronograma de atividades no processo de reciclagem.

FONTE: Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil – SINDUSCON SP.

O cronograma inclui a necessidade de uma reunião inaugural para a apresentação do sistema de modo a mostrar para toda a comissão técnica, à equipe responsável pela qualidade, segurança, suprimentos, mestres, encarregados da obra e os impactos ambientais provocados pela ausência de um sistema integrado da gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC). Todas as leis, e normas devem ser apresentadas junto com suas implicações.

O planejamento do sistema deve ser realizado de forma a levantar as informações de cada obra junto às equipes responsáveis por cada etapa, identificando a quantidade de funcionários, as áreas em construção, o arranjo físico do canteiro de obras, o fluxo de resíduos, etc. A empresa responsável pelo transporte e remoção dos resíduos á deve ser definido junto com o seu local de destinação, quando não for viável o sistema interno de reciclagem (máquinas e equipamentos de britagem dentro da própria obra). Todos os funcionários devem ser treinados e instruídos, quanto à distribuição correta dos resíduos e a sinalização no canteiro deve estar adequada.

Os coletores devem ser qualificados, pois eles serão responsáveis pela separação dos materiais passíveis de serem reciclados, pois evitarão que haja erro quanto à triagem dos materiais de modo a não permitir resíduos das classes B, C ou D de serem misturados.

Com todos os operários treinados, e todos os equipamentos e dispositivos de coleta distribuídos, a implantação pode ser iniciada. Envolve também, a implantação de controles administrativos, tendo sempre uma equipe pronta para treinar novos funcionários e operários. Também deve haver um restrito controle da documentação relativa ao registro da destinação dos resíduos.

Um monitoramento deve ser eventualmente feito para avaliar o desempenho da obra e dos operários conforme a limpeza e os processos de triagem e destinação dos resíduos. Um relatório periódico apontará se há a necessidade de novas sessões de treinamento, sem deixar de treinar as equipes novas que entram todos os dias nas obras.

A seguir serão apresentados três casos nos quais, há o reaproveitamento de resíduos. Os três casos estudados são obras que realizaram o sistema de gerenciamento dos resíduos dentro do próprio canteiro de obras.

3.2 Obras estudadas

Trata-se de três obras distintas entre si, em regiões diferentes do país, utilizando-se da reciclagem de resíduos para reduzir custos e o cronograma da obra.

O maquinário responsável pelo sistema é composto, basicamente, por:

- a) britador, que efetua de fato a moagem do material que veio a ser demolido. A graduação do agregado produzido varia de acordo com o desejo e necessidade da obra;
- b) escavadeira hidráulica, de pequeno a médio porte, para alimentar o britador;
- c) pá-carregadeira, para o deslocamento do material com maior agilidade, para organizar o material no canteiro e uní-los criando montes;
- d) tesoura pulverizadora, para um desmonte mais eficaz e rápido, normalmente ela é acoplada na própria escavadeira hidráulica;
- e) caminhão basculante, para o transporte do material antes e/ou depois da britagem.

A quantidade de máquinas disponíveis no canteiro depende da necessidade de processá-lo, transportá-lo e reutilizá-lo.

3.2.1 DESMONTAGEM DA FÁBRICA DA ELETROLUX

A meta da empresa contratada para a desmontagem era reciclar e reutilizar o máximo possível dos resíduos da demolição a serem retirados do empreendimento, que foi atingido por um incêndio, e grande parte da estrutura foi afetado pelas chamas. Foram criadas condições para que o maior volume possível de resíduos pudesse ser reutilizado ou reciclado, tendo em vista que o material foi contaminado devido ao derretimento dos eletrodomésticos, que estavam no local na hora do incêndio.

A desmontagem ocorreu de forma fragmentada e ordenada, para que não houvesse desperdício.

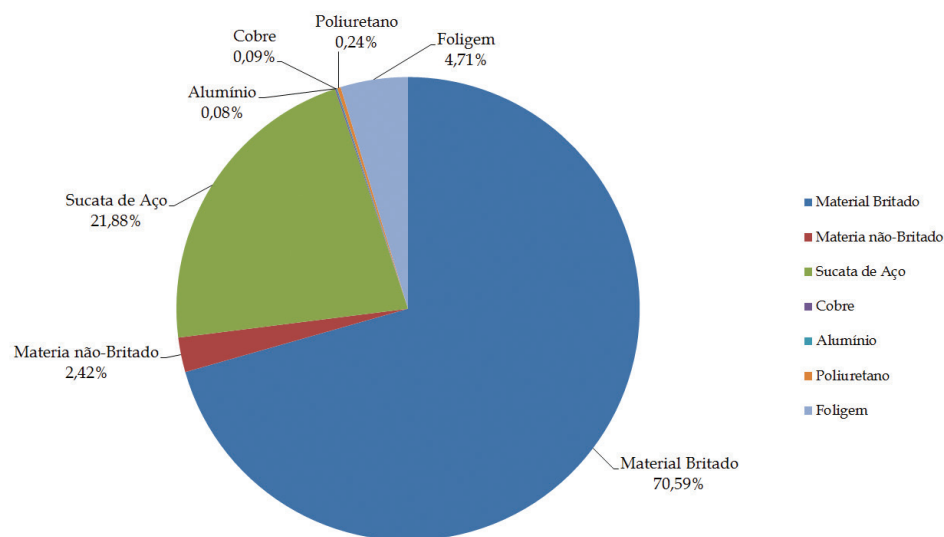


GRÁFICO 1 • Quantidade total de Resíduos da Obra 1.

FONTE: Elaborado pelos autores.

Como os números comprovam, a maior parte do material de demolição é de origem Classe A (em torno de 70% de todo resíduo). Aproximadamente, 10.000 m³ de material de concreto foram triturados para reaproveitamento. Isso trouxe vantagens à obra.

Além disso, todo este material retirado seria substituído por material proveniente de extração natural (pedreira).

Com a britagem do material no canteiro evitou-se emissão de CO₂ na atmosfera e problemas no trânsito causado pelos caminhões de transporte, além da utilização de aterros e o consumo desnecessários de pedreiras.

O material metálico ficou à disposição da *Eletrolux*, que o vendeu a uma metalúrgica renomeada, isso lhe rendeu grande retorno. Além disso, o reaproveitamento do material de demolição gerou um fortíssimo apelo sustentável para a marca *Eletrolux*, indo de encontro aos ideais da empresa.

3.2.2 DESCONSTRUÇÃO DO GALPÃO DA UPCON

Uma peculiaridade desta desmontagem é que houve a necessidade de CADRI, Certificado de Movimentação de Resíduo de Interesse Ambiental, para a destinação correta de resíduos Classe I que apresentam riscos à saúde pública e/ou ao ambiente, com características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, segundo a NBR 10.004 / 2004, ou Classe D, conforme a classificação da Resolução CONAMA 307/2002, que neste caso é o amianto presente na composição das telhas. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, exige que o acondicionamento, armazenamento, transporte e destinação sejam feitas de maneira correta, conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e Legislação vigente no Estado de São Paulo. O CADRI é utilizado como ferramenta da CETESB para regularizar e aprovar destinação desse material produzido pela empresa a locais de reprocessamento, armazenamento, tratamento e/ou disposição final.



IMAGEM 1 • Telhas de Amianto separadas para tratamento especial.

FONTE: Databook fornecido pela empresa R3ciclo.

A maior parte do material de demolição foi de origem Classe A (em torno de 70% de todo resíduo). Aproximadamente, 1.000 m³ de material de concreto foram triturados para posterior reaproveitamento.

3.2.3 IMPLOÇÃO DO MORRO DOS POIARES

A obra consiste em executar a implosão do Morro dos Poiares para a duplicação da rodovia Tamoios, em Caraguatatuba, São Paulo. O escopo exigia que todo material rochoso que fosse implodido fosse britado e, posteriormente, utilizado como sub-base/base da própria rodovia. Após o desmonte do maciço, começa o processo de britagem, que consiste em diminuir o diâmetro das rochas com

o auxílio de rompedores. A próxima etapa consiste em “moer” a rocha através do britador móvel, diminuindo sua granulométrica e transformando-a em agregado.

Foi recolhido, em geral, rocha e terra. A terra escavada foi mandada para um aterro via bota-fora. A rocha foi processada por rompedores de forma a diminuir seu diâmetro, para que possibilitasse a inserção no britador.

O material foi beneficiado com o auxílio de três britadores móveis. Todo o material retirado da obra foi devidamente acondicionado, e estocado para posterior utilização, de forma a manter suas características físicas.

3.3 Valores aproximados

Para efeito de cálculo e comparação, os valores considerados para a geração dos custos dos volumes de entulho, a preço de venda e compra, podem ser descritos abaixo:

- a)** valor médio de descarte (carga + transporte + destinação): R\$ 50 / m³;
- b)** valor médio do agregado natural (em função da distância obra-pedreira): de R\$ 55/m³ a R\$ 110 / m³;
- c)** valor médio do processo de britagem: R\$ 40 / m³ a R\$ 50 / m³.

A partir desses valores é possível comprovar a economia, que cada um dos estudos de caso teve a partir da adoção do sistema de Gestão dos Resíduos de Construção Civil. Na Obra 1, a desmontagem da fábrica da *Eletrolux* gerou um total de aproximadamente 10.000m³ de entulho, economizando, portanto, cerca de R\$1.350.000,00 do processo de descarte, e da compra e transporte de agregado natural, variável conforme a distância da pedreira à obra. Na Obra 2, a desconstrução do galpão da Upcon gerou aproximadamente 1.000 m³, sendo economizados, portanto, R\$132.500,00, considerando as mesmas determinantes da Obra 1. Na Obra 3, por ser a implosão de um morro, não há custo de agregado natural conforme distância obra-pedreira, pois o material natural é o próprio agregado implodido. Desta forma, a economia se baseia apenas no processo de descarte, sendo economizados, portanto, R\$15.000.000,00.

4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CLASSES A NO CANTEIRO DE OBRAS E SEU REFLEXO NO ORÇAMENTO DA OBRA E NO ECOSSISTEMA

A partir das bibliografias estudadas, das referências literárias analisadas, e dos dados coletados para os estudos de caso, é possível comprovar uma influência orçamentária nos custos da obra, quanto à aplicação dos Resíduos Sólidos da Construção Civil reciclados no canteiro.

Nas pesquisas realizadas para o estudo feito neste trabalho, comprovou-se que há uma elevada quantidade de resíduos sendo descartados em locais inadequados ou em Aterros de Transbordo e Triagem (ATT). Portanto, deve ser avaliada a possibilidade do material descartado ser reciclado e reutilizado na própria obra.

Durante o planejamento de uma obra, é feito o quantitativo de materiais a ser utilizado durante toda a construção. A partir do volume de entulho gerado e reciclado, é possível cortar algumas entregas de paletes e sacos, de modo a descontar do material que foi beneficiado, reinserindo o produto novamente no ciclo produtivo.

Quando em uma obra decide-se executar esse procedimento de reciclagem no canteiro de obras, há certas restrições que devem ser seguidas. Por exemplo, definição do espaço para o descarte deste material. O canteiro deve ser organizado e ter espaço suficiente para separar o entulho gerado do entulho reciclado. O entulho gerado deve ser segregado conforme sua origem (Classe A, B, C ou D), a estação de reciclagem deve ser devidamente posicionada para que haja espaço suficiente para a mão de obra se posicionar com segurança, e para o material reciclado ser depositado. O acompanhamento do processo é fundamental para garantir o funcionamento adequado da máquina e para que não haja materiais diversos sendo misturados na trituração. Em seguida é feita a triagem conforme a granulometria e o material beneficiado deve ser separado em sacos para sua utilização na obra.

A implantação do sistema da Gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no canteiro tem custo elevado, por causa de todo o maquinário necessário para o processo de britagem, e essa

é uma grande limitação pelo qual esse sistema ainda não é muito utilizado nas empresas. Porém, se analisado o custo de transporte com os agregados, tanto natural, quanto o entulho descartado, é possível observar que o alto investimento inicial se compensa com as economias adquiridas ao decorrer das obras.

5 CONCLUSÃO

Com base nos estudos de caso feitos neste trabalho, pode-se concluir que a colocação dos Resíduos da Construção Civil novamente na cadeia produtiva gera economia para a construtora e, acima de tudo, contribui para a preservação do meio ambiente.

Ao pensar nas questões ambientais, a aplicação do processo de reciclagem com posterior utilização no canteiro de obra será sempre uma solução viável, pois evita que o material seja descartado inadequadamente no meio ambiente. No entanto, em questões financeiras, a viabilidade do processo deve ser estudada para que o custo com a máquina britadora, e a mão de obra especializada seja menor que o custo com a compra dos agregados e dos transportes (agregado e entulho). Nos estudos de caso feitos neste trabalho, a viabilidade deste processo foi comprovada, pois o volume do produto final britado superou o gasto com a compra dos agregados naturais.

Seguindo a legislação que regulamenta os procedimentos para a gestão dos resíduos gerados, a adoção deste procedimento atenderia os requisitos contribuintes para a redução dos impactos decorrentes do consumo elevado dos recursos naturais. Além disso, com as atuais certificações criadas com o intuito de incentivar a sustentabilidade nos empreendimentos, o imóvel pode ser bem mais valorizado na sua venda com a execução dos processos recicláveis.

Muitos estudos ainda vêm sendo feitos, de modo a aumentar a qualidade do produto beneficiado para que possa ser utilizado em outras funções, como acabamentos de fachadas, ou até mesmo no preenchimento ou assentamento de elementos estruturais. Com isso, cada vez menos será necessário o uso dos agregados naturais, possivelmente criando até uma legislação mais rigorosa quanto à sua exploração.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON, **Mercado do RCD**. Disponível em: <http://www.abrecon.com.br/conteudo/6/mercado-rcd.aspx>. Acesso em: 13 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: 2004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**:2004 – Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – Área de transbordo e triagem. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: 2004 – **Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: 2004 – Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas reciclagem. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: 2004 – Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: 2004 – Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, nº 136, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96. Disponível em: http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis_10.pdf. Acesso em: 2 out.2010.

CAPELLO, Giuliana. **Entulho vira Matéria-Prima**. Revista Técnica, ed. Pini, p.32, edição 112, Julho 2006.

CERTIFICAÇÃO INTERNACIONAL LEED. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/?p=certificacao>. Acesso em: 13 abr. 2014.

FERREIRA, Luiz Henrique. **40 Perguntas – Reciclagem/Destinação de Resíduos**. Revista Técnica, ed. Pini, p.28-30, edição 162, Setembro 2010.

SindusCon – SP. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**. 2005, São Paulo.

SindusCon – CE. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. URBEM Tecnologia Ambiental. Produtos. Disponível em: <http://urbem.com.br/principal.htm>. Acesso em 18 jul. 2014.

Este livro foi projetado com a Agência Imaginera e OAS como parte integrante do prêmio OAS/Universidades – Inovação, Produtividade e Empreendedorismo, edição 2014.

No texto foram usadas as famílias tipográficas Futura Std, projetada por Paul Renner, e Palatina, projetada por Zapf, que deu-lhe o nome em honra de Giambattista Palatino.