



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

DOUGLAS MALHEIRO DE BRITO

**MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DE OBRAS**

Salvador
2014

DOUGLAS MALHEIRO DE BRITO

**MODELAGEM 4D APLICADA AO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DE OBRAS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira

Salvador
2014

Dedico esse trabalho aos meus pais, Carlos e Eudenice, aos meus irmãos, amigos e família pela força, apoio incondicional e por sempre acreditarem na minha capacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Emerson de Andrade Marques Ferreira, orientador deste trabalho, pelo apoio, dedicação e acompanhamento durante todo o desenvolvimento do mesmo.

Agradeço à empresa e aos Engenheiros Ladislau Neto, Alexandre Maia e Gabriel Souza pela oportunidade de aplicar o estudo e por suas contribuições.

Agradeço ainda aos meus familiares e amigos pelo companheirismo durante todo esse tempo.

BRITO, Douglas Malheiro de. Modelagem 4D Aplicada ao Planejamento e Controle de Obras. 83f. il. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

RESUMO

Planejamento e controle são atividades essenciais para concluir um projeto dentro das especificações de qualidade, custo e prazo definidas. Isso é reforçado ainda mais em tempos de pouca disponibilidade de recursos, instabilidade do mercado e sob influência da incerteza e variabilidade a que cada processo se submete na construção civil. O desenvolvimento tecnológico aparece como um facilitador dessa dinâmica à medida que novas tecnologias como o BIM (*Building Information Modeling*) são lançadas. A Modelagem da Informação da Construção consegue reunir toda a informação necessária às diversas fases do ciclo de vida do empreendimento, incluindo o gerenciamento antes e durante a construção. Este trabalho teve como objetivo principal aplicar a modelagem 4D ao planejamento e controle de um empreendimento em execução, o que possibilitou a simulação do processo construtivo e o acompanhamento do avanço físico. O modelo 4D proporcionou uma visão temporal e espacial conjunta do projeto, o que elevou, consideravelmente, o poder de visualização, compreensão e interpretação do cronograma pelos usuários, reduzindo falhas e problemas potenciais antes que acontecessem, tendo possibilitado um melhor acompanhamento e controle. Os resultados obtidos indicam ser útil o uso da modelagem 4D para planejar e controlar projetos e sugerem a necessidade da criação de mais elementos para melhor visualização dos serviços internos do modelo.

Palavras-chave: BIM; Modelagem 4D; Planejamento; Controle; Construção Virtual.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – EAP de um projeto	19
Figura 2 – Atividade em seta (esquerda) e atividades em nós (direita)	19
Figura 3 – Linha de Balanço com atividades repetitivas	20
Figura 4 – Cronograma de barras para acompanhamento físico	22
Figura 5 – BIM para análise de interferências com instalações	26
Figura 6 – Simulações representadas ao mesmo tempo	38
Figura 7 – Seletor e Avaliador do Esquema de Cores para Modelos 4D	40
Figura 8 – Mecanismos de Visualização Interna do Modelo 4D	42
Figura 9 – Etapas do desenvolvimento do Modelo 4D	45
Figura 10 – Planejamento revisado	46
Figura 11 – Pasta com os arquivos exportados em NWC	47
Figura 12 – Detalhe da janela <i>Manage Sets</i>	48
Figura 13 – Visão do empreendimento	49
Figura 14 – Importação do Cronograma com a opção <i>Rebuild Task Hierarchy</i>	50
Figura 15 – Exportando as tarefas para os <i>Sets</i>	50
Figura 16 - Detalhe de <i>set</i> de contenção criado por <i>Save Selection</i>	51
Figura 17 – Detalhe de criação de <i>set</i> de revestimento interno com <i>Find Items</i>	52
Figura 18 – Visualização dos componentes não utilizados na modelagem	53
Figura 19 – Associação entre <i>sets</i> e tarefas usando regras	54
Figura 20 – Configuração das aparências dos tipos de atividade em cada estado	55
Figura 21 – Configurando as atividades com os tipos de representação	56
Figura 22 – Planejado em 08/06/13: fundações e canteiro	57
Figura 23 – Planejado em 28/08/13: estrutura, alvenaria e canteiro	58
Figura 24 – Planejado em 16/10/13: estrutura, alvenaria e canteiro	58
Figura 25 – Planejado em 03/12/13: estrutura, alvenaria, telhado e canteiro	59
Figura 26 – Planejado em 31/01/14: estrutura, telhados, revestimentos e canteiro	59
Figura 27 – Dificuldades na visualização de muitas atividades ao mesmo tempo	60
Figura 28 – Criação de elementos para representação de atividades internas	62

Figura 29 – União dos <i>sets</i> de assentamento de piso	63
Figura 30 – Criação de novos tipos de tarefas	64
Figura 31 – Associação das atividades com os novos tipos de tarefas criados	64
Figura 32 – Simulação com as atividades internas representadas por cores	65
Figura 33 – Simulação com atividades internas ocorrendo simultaneamente	66
Figura 34 – Cronograma com datas reais para controle	67
Figura 35– Acompanhamento do avanço físico com cores	68
Figura 36 – Configurando as simulações para Planejado x Real	69
Figura 37 – Acompanhamento do avanço físico por meio de duas telas	70
Figura 38 – Configurando e exportando imagens geradas de vistas	71
Figura 39 – Modificação para exibição de apenas um módulo	72
Figura 40 – Simulação do modelo de apenas um módulo	73
Figura 41 – Seccionando o modelo através de um plano	74
Figura 42 – Simulação do modelo seccionado com atividades internas	74
Figura 43 – Modo de seção tridimensional	75
Figura 44 – Simulação do modelo seccionado tridimensionalmente	75
Figura 45 – Configuração para a exibição de duas vistas do modelo	76
Figura 46 – Simulação por meio de duas vistas	77
Figura 47 – Simulação do cronograma através de duas vistas simultâneas	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metodologia do trabalho	16
Quadro 2 – Ferramentas de Utilização do Modelo 4D	37

LISTA DE SIGLAS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

4D – Quatro dimensões

BIM – Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*)

CAD – Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)

CPM – Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method*)

EAP – Estrutura Analítica do Projeto

IDDS – Projeto Integrado e Solução de Entrega (*Integrated Design and Delivery Solution*)

IPD – Entrega do Projeto Integrado (*Integrated Project Delivery*)

LPS – *Last Planner System*

NWC – Arquivo Navisworks® em Cache (*Navisworks Cache File*)

NWF – Arquivo Navisworks® (*Navisworks File*)

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PERT – Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (*Program Evaluation and Review Technique*)

PSP – Projeto do Sistema de Produção

RVT – Documento de arquivo Revit® (*Autodesk Revit Document*)

STP – Sistema Toyota de Produção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. METODOLOGIA	15
3. PLANEJAMENTO E CONTROLE	17
3.1. DEFINIÇÕES.....	17
3.2. PROCESSO.....	17
3.3. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO.....	19
3.4. CONTROLE.....	21
3.5. <i>LEAN CONSTRUCTION</i> – CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	23
4. BIM (<i>BUILDING INFORMATION MODELING</i>).....	25
4.1. CONCEITOS GERAIS.....	25
4.2. MODELO 4D.....	27
4.2.1. Conceito.....	28
4.2.2. Benefícios.....	29
4.2.3. Processo de Modelagem.....	30
4.2.4. Ferramentas de Utilização.....	32
4.2.5. Controle de Obras através do Modelo 4D.....	37
4.2.6. Entraves na Propagação do Modelo 4D.....	41
5. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA MODELAGEM 4D AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS.....	44
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	44
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	44
5.2.1. Empreendimento.....	44
5.2.2. <i>Softwares</i> Utilizados.....	44
5.2.3. Etapas da Modelagem 4D.....	45
5.3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO.....	48
5.3.1. Particularidades do Empreendimento.....	48
5.3.2. Processo de Elaboração do Modelo 4D.....	49
5.3.3. Modelo 4D para Análise do Planejamento.....	56

5.3.4. Representação das Atividades Internas com Cores.....	61
5.3.5. Modelo 4D para Acompanhamento do Avanço Físico.....	66
5.3.6. Modelo 4D como Forma de Apoio à Comunicação.....	70
5.3.7. Particularidades na Análise do Modelo 4D.....	71
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	78
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

A concepção adequada e o bom gerenciamento de um projeto são condições essenciais para a obtenção dos resultados desejados em termos de qualidade, custo e prazo. Os processos de planejamento tradicionais consistem em cronogramas, diagramas de rede e linhas de balanço, sendo os primeiros métodos os mais difundidos.

Com a complexidade de alguns projetos da construção civil, os cronogramas e diagramas de rede encontram fortes limitações com atividades muito interligadas ou mudanças nos caminhos críticos. Já a linha de balanço, encontra dificuldades em atividades não repetitivas ou discretas, as quais costumam ocorrer em muitas obras, inviabilizando a produção do planejamento de todo o projeto até que essas atividades estejam bem sincronizadas com as demais (LIMMER, 1997).

Um dos grandes problemas que as empresas vêm enfrentando ultimamente é a dificuldade de visualizar corretamente o planejamento de uma obra no espaço, gerando cronogramas de interpretação abstrata (KOO; FISCHER, 1998). Essa limitação motivou a adoção da modelagem 4D, na qual o projeto 3D pode ser associado ao cronograma, gerando uma visualização espacial do planejamento ao longo do tempo de execução.

A visualização de uma obra em 4D apresenta uma visão mais real da sequência de construção, conectando, intimamente, aspectos temporais e espaciais. Além disso, o planejamento com o uso da tecnologia BIM possibilita análises sobre a melhor forma de realizar o empreendimento, simulando opções e as consequências dessas escolhas em todo o ciclo.

Outro desafio do processo de planejamento e controle é a detecção de possíveis interferências da produção com o entorno, o próprio canteiro de obras e demais atividades do cronograma. Hartmann *et al.* (2008) afirmam que modelos 4D podem melhorar a confiabilidade dos cronogramas definidos antes da execução, o que permite o aperfeiçoamento do desenvolvimento das atividades no canteiro.

A visualização do modelo 4D permite diminuir as diferenças de interpretação do cronograma, minimizando problemas de comunicação (KOO; FISCHER, 1998). Esse é outro item em que a modelagem 4D supera as técnicas tradicionais. A comunicação entre os níveis gerenciais e entre as partes interessadas (*stakeholders*) é mais objetiva e clara quando o planejamento é apresentado por meio de uma simulação gráfica, reduzindo as falhas de comunicação causadas por diferentes níveis de conhecimento e pela análise mental do cronograma que o planejamento tradicional exige dos envolvidos.

O gerenciamento de obras com uso do BIM também tem função importante no período de execução do empreendimento, sendo uma ferramenta essencial para controle contínuo e replanejamento da proposta inicial quando necessário. Este trabalho tem como objetivo aplicar a modelagem 4D ao planejamento e controle de um empreendimento em execução, acompanhando os avanços da obra e o alinhamento entre o planejado e o executado.

1.1. JUSTIFICATIVA

A execução de um empreendimento com sucesso exige um sistema de planejamento e controle adequado, o qual será essencial no combate a problemas como a pouca disponibilidade de recursos, a instabilidade do mercado, a incerteza e a variabilidade dos processos. Possui ainda papel importante no aumento da transparência, melhora da comunicação entre os níveis gerenciais e a resolução das dificuldades associadas a perdas e baixas produtividades.

A busca por um processo de planejamento e controle que atenda aos pré-requisitos de qualidade, prazo e custo de um projeto gera o crescente uso de ferramentas de apoio. A partir disso, surgiram inúmeras ferramentas para aplicações variadas que atendem a processos isolados sem integração. Essa necessidade multifuncional motivou a adoção da tecnologia BIM, também conhecido como Modelagem da Informação da Construção, o qual consegue reunir todas as informações necessárias durante todo o ciclo de vida do empreendimento.

Essa integração de ferramentas possibilita o desenvolvimento do modelo 4D, o qual estabelece um estudo sobre as melhores formas de executar a edificação, identificando possíveis interferências do processo produtivo com o seu entorno e dos próprios elementos construtivos. A modelagem 4D potencializa a visão geral do plano proposto devido a sua representação espacial, a qual consegue simular o real andamento das atividades e sequências, o que é inviável através das técnicas tradicionais.

Este trabalho aplicou a modelagem 4D ao gerenciamento de uma obra. A associação do projeto 3D em BIM com o planejamento gerou um modelo 4D, o qual foi aplicado na simulação da execução do empreendimento e como acompanhamento do avanço físico. Essa aplicação do Modelo 4D justifica-se por combater um dos grandes problemas que as empresas vêm enfrentando ultimamente, a dificuldade e a complexidade de visualizar corretamente o planejamento e o andamento de uma obra no espaço.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é aplicar a modelagem 4D ao planejamento e controle de uma obra.

Ainda como objetivos específicos, têm-se:

- a) Conhecer o processo de planejamento e controle sob a ótica BIM;
- b) Realizar simulações do planejamento e acompanhar o avanço físico com o modelo 4D;
- c) Avaliar a implantação do modelo 4D.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos, sendo eles: Introdução, Metodologia, Referencial Teórico (terceiro e quarto capítulos), Estudo de Caso, Análise e Discussão dos Resultados e Considerações Finais.

Na Introdução foi apresentada a temática deste trabalho, a justificativa para a realização do mesmo, o objetivo geral e os objetivos específicos a serem atingidos e por fim a estrutura do trabalho aqui explicada.

No segundo capítulo, foi definida a metodologia utilizada no trabalho, tratando do método de pesquisa realizado e apresentando um quadro resumo, com os objetivos, ferramentas utilizadas e os resultados esperados para cada item.

Os próximos dois capítulos deste estudo trouxeram o referencial teórico relacionado ao tema deste trabalho, planejamento e controle, BIM (*Building Information Modeling*) e Modelagem 4D.

O quinto capítulo apresentou o Estudo de Caso. O desenvolvimento do Modelo 4D e a sua aplicação ao planejamento e controle de um empreendimento através da simulação da execução da obra e o acompanhamento do avanço físico são mostrados nesse capítulo.

No penúltimo capítulo, na Análise e Discussão dos Resultados, foram identificadas e avaliadas as vantagens e potencialidades percebidas neste trabalho a respeito da Modelagem 4D.

Por fim, o Capítulo Sete trouxe as considerações finais deste estudo, apresentando como cada objetivo foi atingido, apontando os benefícios, potencialidades e limitações detectados do Modelo 4D, além de sugerir algumas recomendações para os próximos trabalhos.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho tem caráter de estudo de caso por aprofundar-se em uma unidade, neste caso a obra analisada, permitindo sua ampla e detalhada investigação. Esse tipo de estudo é considerado o mais apropriado para a investigação de um fenômeno dentro do seu contexto.

Para a realização do trabalho foi selecionada uma obra em Imbassaí, pertencente ao município de Mata de São João, no litoral norte da Bahia. A escolha dessa empresa se deu em razão da construtora ter iniciado a utilização da tecnologia BIM em seus projetos e ter demonstrado interesse na implantação de um sistema de planejamento e controle através da modelagem 4D para visualizar espacialmente a sequência construtiva e o plano de ataque, além de acompanhar o avanço físico do projeto e facilitar a comunicação com investidores. O empreendimento é um condomínio com 6 módulos residenciais de 2 pavimentos, constituindo-se em uma obra horizontal com 64 unidades, a qual a empresa planejou executar em 18 meses.

Visando conhecer o processo de planejamento e controle com uso da modelagem 4D e suas particularidades em relação às técnicas tradicionais, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema. Para o estudo de caso foi, inicialmente, realizado uma revisão do planejamento do empreendimento e a integração com o projeto em 3D. Posteriormente, a coleta de dados e o acompanhamento do planejamento traçado para a obra se deu em visitas de campo quinzenais. Também foram realizadas reuniões com o gerente do empreendimento para apresentar e discutir o andamento da obra em relação ao planejado para possíveis ajustes quando necessário.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os *softwares* Revit® no projeto 3D e o Navisworks® para a realização do modelo 4D, o qual pôde ser desenvolvido através da integração do modelo 3D com o planejamento elaborado no Microsoft Project®. A metodologia adotada neste estudo é apresentada no Quadro 1.

Durante a realização do estudo de caso, identificou-se aspectos benéficos da aplicação da modelagem 4D ao planejamento e controle de obras como a possibilidade de simular a execução e acompanhar o avanço de um empreendimento de construção civil em uma

visão espacial. Foram ainda reunidas vantagens, limitações e potencialidades do seu uso. Por último, foram feitas considerações finais do tema tratado e o potencial de expansão do processo de planejamento e controle com BIM.

Quadro 1 – Metodologia do trabalho.

Objetivo Geral	Aplicação da modelagem 4D ao planejamento e controle de obras		
Objetivos Específicos	Metodologia		
	Atividades	Ferramentas	Resultados
Conhecer o processo de planejamento e controle sob a ótica BIM	Revisão Bibliográfica	Livros técnicos, artigos nacionais e internacionais.	Perceber as diferenças entre as técnicas tradicionais e a modelagem 4D
Realizar simulações do planejamento e acompanhar o avanço físico com o Modelo 4D	Revisão do Planejamento	Software Microsoft Project®	Revisar e definir as atividades a serem modeladas no planejamento
	Construção do Modelo 4D	Softwares Microsoft Project®, Revit® e Navisworks®	Representação das atividades planejadas, podendo simular e acompanhar o cronograma
Avaliar a implantação do modelo 4D	Avaliar as aplicações da Modelagem 4D	Análise dos resultados obtidos, avaliação qualitativa com os envolvidos	Identificar as vantagens, limitações e potencialidades

3. PLANEJAMENTO E CONTROLE

Esse capítulo tem a finalidade de apresentar conceitos da revisão bibliográfica sobre o processo de planejamento e controle.

3.1. DEFINIÇÕES

O planejamento possui diversos conceitos devido à sua aplicabilidade em várias áreas. Podem-se destacar os conceitos de Ackoff (1976) “Planejamento é algo que fazemos antes de agir, isto é, a tomada antecipada de decisão.” e “planejamento é um processo que se destina a produzir um ou mais estados futuros desejados e que não deverão ocorrer, a menos que alguma coisa seja feita.”, corroborando a importância do planejamento como condição para se obter o resultado desejado. Além disso, o planejamento e o controle estão inseridos em um mesmo processo de maneira complementar.

O controle da produção é para Limmer (1997) conhecer e corrigir os desvios que venham a ocorrer em relação ao planejado e ainda avaliar a qualidade do que foi programado de maneira contínua.

3.2. PROCESSO

O planejamento deve ser entendido como um processo contínuo, sempre sujeito à revisão e não definitivo. Com isso, um plano não é o produto final do processo de planejamento, mas sim um estágio intermediário (ACKOFF, 1976).

Mattos (2010) considera ainda que o processo de planejamento e controle tem forte impacto no desempenho da produção já que deficiências nesse processo estão entre as causas mais importantes de baixas produtividades, elevados desperdícios e baixa qualidade dos produtos gerados. Para o mesmo, o planejamento de uma obra não se resume à preparação do cronograma inicial, exige também o monitoramento do avanço das atividades e a averiguação do cumprimento do plano.

Laufer e Tucker (1987) dividem o planejamento em três níveis hierárquicos em função do nível de detalhamento e da proximidade de execução do plano: planejamento estratégico, tático e operacional.

O estratégico ou de longo prazo é o mais geral e duradouro, estabelecendo prazos, ciclos e processos. O tático ou de médio prazo vincula o plano de longo e curto prazo, buscando remover as restrições para a realização dos serviços, estabelecendo programação, sequência de execução e os recursos que serão necessários. O planejamento de curto prazo ou operacional tem o maior nível de detalhamento, distribuindo os pacotes de serviços para as equipes e exigindo um efetivo controle da programação.

Do ponto de vista das etapas de realização do processo de planejamento e controle da produção, Laufer e Tucker (1987) apresentam:

- 1) Preparação do processo de planejamento;
- 2) Coleta de informações;
- 3) Elaboração dos planos;
- 4) Difusão das informações;
- 5) Avaliação do processo de planejamento.

A preparação do processo de planejamento e a sua avaliação ocorrem em períodos específicos importantes como o lançamento ou entrega de empreendimentos, entretanto, há um ciclo contínuo entre as demais etapas intermediárias do processo, envolvendo, inclusive, a aferição dos dados e a realização de ações corretivas durante a etapa de produção, gerando um ciclo de replanejamento.

No processo de planejamento, o projeto deve ser decomposto em atividades cada vez menores até atingir o que se considere como o elemento mais simples e adequado ao grau de controle que será adotado. Essa estrutura hierarquizada é denominada Estrutura Analítica do Projeto (EAP), sistematizando todas as atividades integrantes do projeto (LIMMER, 1997). Na Figura 1, têm-se exemplo de uma EAP.

ATIVIDADE	
0	Casa
1	1. Infraestrutura
2	1.1 Escavação
3	1.2 Sapatas
4	2. Superestrutura
5	2.1 Paredes
6	2.1.1 Alvenaria
7	2.1.2 Revestimento
8	2.1.3 Pintura
9	2.2 Cobertura
10	2.2.1 Madeiramento
11	2.2.2 Telhas
12	2.3 Instalações
13	2.3.1 Instalação Elétrica
14	2.3.2 Instalação Hidráulica

Figura 1 – EAP de um projeto (MATTOS, 2010)

3.3. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO

Entre as ferramentas tradicionais de planejamento, destacam-se diagrama de rede, cronograma de barras e linha de balanço.

Mattos (2010) conceitua que “o diagrama de rede é a representação gráfica das atividades, levando em conta as dependências entre elas”. Limmer (1997) complementa que existem as redes com as atividades representadas por setas e por nós (Figura 2). Ambas permitem uma análise mais simples e visual de projetos.

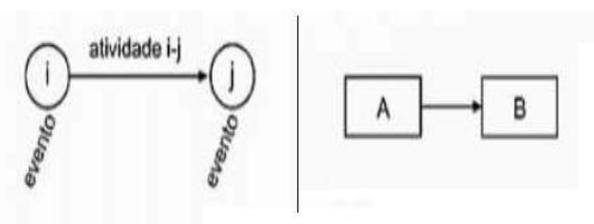


Figura 2 – Atividade em seta (esquerda) e atividades em nós (direita) (MATTOS, 2010)

As redes de atividades em setas, também denominadas diagramas PERT/CPM permitem a indicação das relações lógicas de precedência entre as atividades do projeto. A sequência de atividades que caso sofra atraso em algum elemento, vai transmiti-lo ao encerramento do projeto constitui o caminho crítico. Já no método dos nós, o qual também é conhecido como Neopert, as atividades constituem os nós e as setas tem função apenas de ligá-las (LIMMER, 1997).

Outra ferramenta de planejamento é o cronograma de barras ou gráfico de Gantt. Para Limmer (1997) “o cronograma de barras é construído listando-se as atividades de um projeto em uma coluna e as respectivas durações, representadas por barras horizontais, em colunas adjacentes, com extensão de acordo com a unidade de tempo adotada no projeto.”.

As principais desvantagens decorrem da incapacidade de mostrar claramente a interdependência das atividades, as folgas e o caminho crítico. Além disso, os gráficos não representam as localizações das atividades, as movimentações das equipes e a percepção completa da obra. Entretanto, possui fácil aplicação e entendimento entre os envolvidos e destaca-se como complemento de outras técnicas, materializando graficamente o resultado dos cálculos efetuados nos diagramas de rede (LIMMER, 1997).

Limmer (1997) afirma que projetos com serviços repetitivos como estradas, conjuntos habitacionais, ferrovias e edifícios altos possuem ainda outra técnica de planejamento, a linha de balanço, também intitulada diagrama tempo-caminho ou diagrama espaço-tempo. Devido ao caráter cíclico, as atividades repetitivas são representadas por uma reta traçada em um gráfico tempo-progresso. A inclinação dessa reta mostra o ritmo no qual a atividade deverá ser executada, conforme Figura 3.

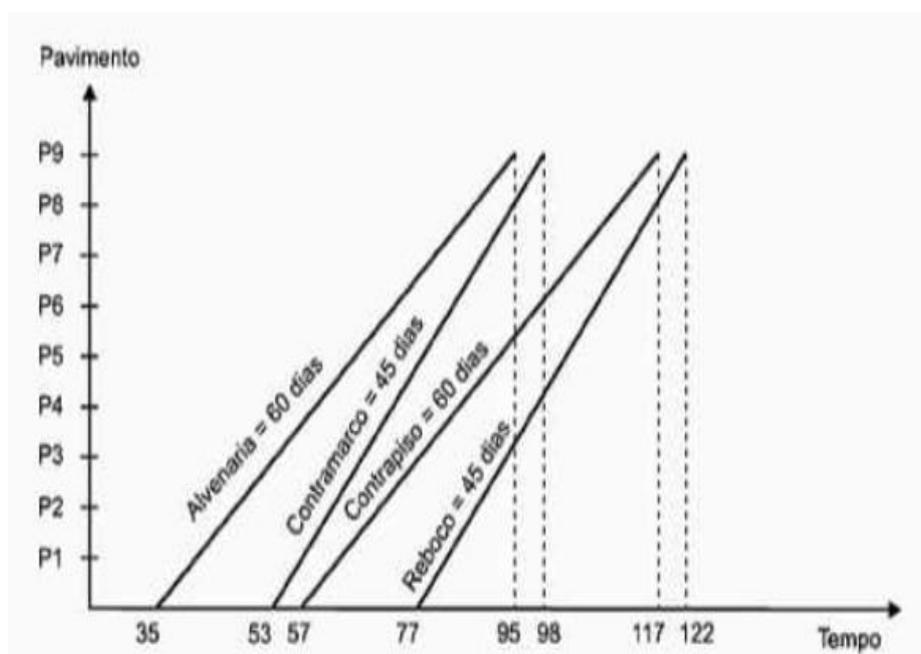


Figura 3 – Linha de Balanço com atividades repetitivas (MATTOS, 2010)

Para Mattos (2010), um dos benefícios da linha de balanço é a condensação de um grande número de atividades comuns em uma linha. Outras facilidades são a representação gráfica do ritmo de produção ou produtividade de cada atividade e a possibilidade de definição de uma declividade ideal para cada atividade, balanceando os ritmos de acordo com a equipe ótima dimensionada para execução.

A linha de balanço pode ser considerada um método de planejamento baseado em localização já que o planejador sabe onde as diferentes equipes se localizam todo o tempo em diversas posições (MATTOS, 2010). O fluxo de trabalho e a capacidade de controlar a passagem entre atividades por localização aperfeiçoam, consideravelmente, a gestão da construção em relação a outros processos.

3.4. CONTROLE

O controle e a análise de desempenho em projetos são necessários para se atingir os objetivos dentro dos padrões definidos. Limmer (1997) explica que o controle é a finalização do ciclo lógico de gerenciamento de um projeto, através da aferição do resultado e a comparação com o que foi planejado, buscando-se determinar o avanço, detectar desvios e definir correções em uma retroalimentação contínua do processo.

O processo de controle envolve quatro etapas segundo Ackoff (1976):

1. Prever os resultados de decisões em medidas de desempenho;
2. Reunir informações sobre desempenho real;
3. Comparar o desempenho real com o previsto;
4. Verificar quando uma decisão foi deficiente e corrigir o procedimento que a produziu e as suas consequências se possível.

O controle de prazos de um projeto é realizado por meio de algumas ferramentas como gráficos, cronogramas, fichas de execução de atividades e de produtividade.

Uma maneira de mostrar o progresso é a curva S, na qual parâmetros como trabalho acumulado ou custo acumulado são plotados em um gráfico em função do tempo. Para Mattos (2010), quando o planejamento é estabelecido, obtêm-se também a curva S de

avanço físico ou financeiro, refletindo o progresso lento-rápido-lento do projeto. A sinuosidade da curva vai depender da sequência das atividades e da quantidade de Hh (homem-hora) ou valor monetário, além da duração total.

Ao longo da execução do projeto, pode-se comparar a curva do planejado em relação à curva do realizado, identificando-se as discrepâncias. Se a curva do realizado estiver acima do planejado, isso representa um projeto adiantado até a data aferida, caso esteja abaixo, o projeto encontra-se em atraso.

Outra forma de controle envolve os cronogramas de barras, representando o realizado por uma barra paralela à do planejado em cada atividade, diferenciando-a por cores ou simbologias que permitam a comparação visual. O acompanhamento físico da obra pode ser feito tendo-se a linha de base, a qual representa o planejamento inicial concluído, e a linha de progresso ou de status. Cada atividade tem um ponto que representa o seu percentual de avanço até a data de *status*, ligando-se os pontos através de seguimentos de retas obtêm-se a linha de progresso e o comparativo que fornece atividades adiantadas, atrasadas ou em dia (Figura 4).

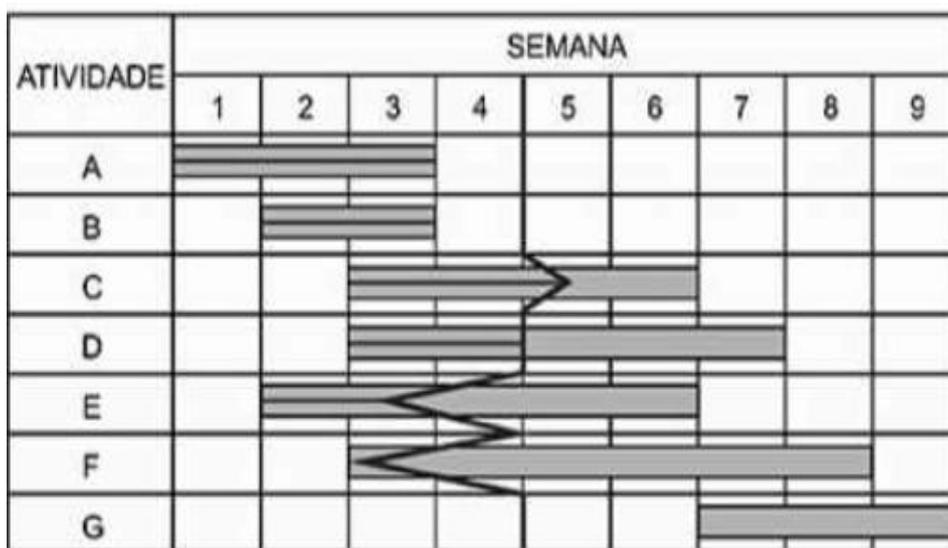


Figura 4 – Cronograma de barras para acompanhamento físico (MATTOS, 2010)

3.5. *LEAN CONSTRUCTION* – CONSTRUÇÃO ENXUTA

O planejamento e controle da produção (PCP) vêm sendo influenciado por algumas filosofias como a do *Lean Construction* ou Construção Enxuta, inspirada no Sistema Toyota de Produção (STP), que visa contornar os entraves atuais da construção civil através do aumento da produtividade e redução de perdas. A produção deve ser vista como um fluxo de materiais e informações por meio de uma rede de especialistas, e a concepção da produção em termos de gerar valor para o cliente, deixando a tradicional visão de que a produção é apenas a transformação de insumos (KOSKELA, 1992). Em complemento, Ballard e Howell (1998) afirmam que a compreensão das atividades em fluxo facilita o processo de tomada de decisões e pode minimizar ou eliminar desperdícios e alterações nos planos da obra.

Um dos princípios da Construção Enxuta é a redução da parcela de atividades que não agregam valor, a exemplo das que consomem tempo, recursos ou espaço sem contribuir para atender aos requisitos do cliente, o produto final. Outros princípios envolvem a redução de variabilidade e do tempo de ciclo, minimização de passos, aumento de transparência, dentre outros. (KOSKELA, 1992).

O projeto do sistema de produção (PSP) é um conceito diretamente relacionado a filosofia *Lean*, pois representa uma das primeiras tarefas a ser executada na fase inicial. Através dele, engenheiros procuram reduzir a variabilidade inerente às atividades da construção, e aumentar a previsibilidade da duração das mesmas através da melhoria do seu fluxo de trabalho e do alinhamento dos múltiplos interesses dos envolvidos na produção de forma a entregar valor a clientes internos e externos (BALLARD; HOWELL, 1998).

Segundo Schramm (2004), complexas decisões são tomadas durante a elaboração do PSP, como por exemplo, a definição do nível de integração vertical, nível da capacidade produtiva, arranjo físico e fluxos de trabalho, sincronização entre processos de produção, e projeto dos processos de produção. O PSP contribui na melhoria do desempenho do planejamento e controle da produção (PCP) e do ciclo de melhoria contínua (*kaizen*) do empreendimento.

Uma das aplicações do STP é o *Last Planner System* (LPS), que emprega a produção puxada, com lotes pequenos, participação de trabalhadores na definição dos planos, nivelamento da produção, parada da produção para analisar problemas e impedir sua propagação, entre outros (BALLARD, 2000). No LPS, o planejamento é realizado em níveis hierárquicos na construção civil: longo (plano mestre), médio (*lookahead planning*) e curto prazo.

No planejamento de longo prazo – também chamado de plano mestre, define-se a programação da obra com base no fluxo de caixa do empreendimento e contempla todo o prazo de realização do empreendimento. Constam as datas marco que indicam o início e o fim das atividades, os ritmos de produção e os lotes de processamento e de transferência, o plano de ataque à obra. O planejamento de médio prazo (*lookahead planning*) identifica possíveis entraves ou restrições à realização das tarefas e ações são disparadas para que sejam removidas antes da liberação das tarefas para a produção. Por fim, o planejamento de curto prazo, geralmente de realização semanal, deve contar com a participação efetiva das equipes que irão realizar as tarefas, para indicar a capacidade produtiva necessária para realizar as atividades programadas e discutir as melhores possibilidades de execução (BALLARD, 2000).

4. BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

4.1. CONCEITOS GERAIS

A visão do *National Institute of Building Sciences* (NIBS, 2008) sobre a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) é que este é “um processo melhorado de planejar, projetar, construir, usar e manter uma instalação, nova ou velha, usando um modelo de informação normalizado que contém toda a informação apropriada num formato que possa ser usado durante todo o seu ciclo de vida”.

BIM, também conhecido como Modelagem da Informação da Construção, compreende muitas das funções básicas para modelar todo o ciclo de vida de um projeto, fornecendo a base para uma nova forma de projetar e promovendo mudanças nos papéis e nas relações entre os envolvidos. Quando adotado corretamente, facilita um processo de concepção e construção mais integrado, o que gera empreendimentos de maior qualidade a custos e durações menores (EASTMAN *et al.*, 2011).

A Modelagem da Informação da Construção possibilita entre outros aspectos, a inclusão de informações a projetos em 3D, relacionadas ao calendário das atividades, custos, características dos materiais e análise de interferências no projeto e entre projetos (Figura 5), contribuindo para a coordenação e o desenvolvimento integrado de projetos, para um melhor planejamento da execução e do canteiro de obras, e para uma operação e manutenção mais eficientes dos empreendimentos após a sua conclusão. Segundo Eastman *et al.* (2011), BIM é mais do que um *software* ou um produto, é uma atividade humana que implica em uma nova forma de projetar, construir e gerenciar.

Eastman *et al.* (2011) afirmam que a compreensão do conceito de objetos paramétricos é essencial na diferenciação do BIM para modelos tradicionais em 3D. Eles consistem em elementos geométricos com informações e regras associadas. Modificações em regras parametrizadas, automaticamente, alteram todos os objetos relacionados com a regra. É possível definir e gerenciar objetos em diferentes níveis hierárquicos, bem como, agregá-los em diferentes níveis. Dessa forma, alterando a espessura de um dos elementos de uma parede, por exemplo, a espessura total da parede também deve mudar automaticamente.

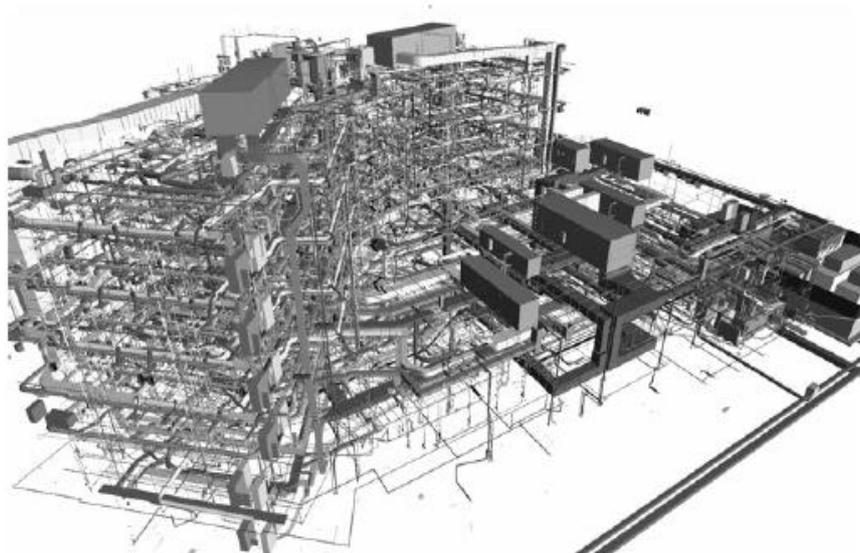


Figura 5 – BIM para análise de interferências com instalações (EASTMAN *et al.*, 2011)

Ainda há equívocos em torno da definição do BIM. Existem modelos 3D que não possuem nenhuma associação de informações aos elementos geométricos, sendo utilizados apenas como visualização gráfica sem inteligência no nível do objeto, não fornecendo apoio para integração da informação essencial na concepção BIM. Outros modelos têm os objetos definidos, mas o posicionamento e a geometria deles são limitados por não usarem a inteligência paramétrica, tornando as mudanças muito manuais, além de não protegerem o usuário contra a visualização de modelos inconsistentes e ainda existem os que permitem alterações em uma vista que não são, automaticamente, corrigidos nas demais vistas, gerando erros no modelo difíceis de serem detectados (EASTMAN *et al.*, 2011).

Eastman *et al.* (2011) apontam alguns benefícios do BIM na etapa construtiva, dentre as quais: uso do modelo como base para elementos pré-fabricados; rápida reação a mudanças de projetos; descoberta de erros e omissões de projetos antes da execução; sincronização do projeto com o planejamento da construção; melhor implementação das técnicas do *Lean Construction* e sincronização de aquisições com projeto e construção.

Ao invés do desenvolvimento de uma única solução, o *Integrated Design and Delivery Solutions* (IDDS), em trabalho de Owen *et al.* (2012), propõe uma transformação no setor da construção civil com a adoção de novos processos como o *Integrated Project*

Delivery (IPD), *Lean Construction* e o BIM, gerando um ambiente com mais processos colaborativos e de comunicação auxiliados pela tecnologia da informação, minimizando ineficiências estruturais e aumentando o valor entregue.

O BIM oferece novos métodos de colaboração, mas também levanta outras questões quanto ao desenvolvimento dos modelos que vão permitir o compartilhamento de informações pelos membros da equipe. Muitas vezes é necessário que o planejador construa um modelo adequado para o planejamento da construção. Isso decorre por que, muitas vezes, o arquiteto cria o projeto usando BIM, mas o nível de detalhes concebido não é adequado para o uso para a construção ou pode ter definições de objetos insuficientes para extrair quantitativos e custos necessários (EASTMAN *et al.*, 2011).

Esses são casos em que há exigência da criação ou adaptação do modelo para usos na construção. Membros da equipe do projeto podem utilizar diferentes ferramentas de modelagem, sendo importante a combinação desses modelos, o que pode inserir maior complexidade, erros e maior tempo para a realização. Modelos BIM podem representar diversas dimensões de informação de uma edificação, incorporando muitos aspectos em um mesmo modelo a depender do estágio do ciclo de vida do empreendimento, integrando informações de tempo, custo, construtibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação e análises energéticas.

Eastman *et al.* (2011) evidenciam outras aplicações do BIM durante todo o ciclo de vida de uma edificação. Proprietários podem ter uma análise de risco mais cedo, melhorar a gestão de instalação, operação e manutenção dos ativos, viabilizar soluções de sustentabilidade. Como exemplo, é possível simular o projeto em uso para situações de evacuação de emergência ou comportamento das multidões.

4.2. MODELO 4D

Programação e planejamento da construção envolvem atividades sequenciadas no tempo e espaço, as quais consideram ainda suprimentos, recursos, restrições espaciais, dentre outras. Apesar de não mostrarem como ou por que certas atividades estavam conectadas em uma determinada sequência e não calcularem o caminho crítico, os gráficos de barras foram os mais usados em projetos. O método atual de maior disseminação para

os planejadores é o CPM em *softwares* como *Microsoft Project*, *Primavera SureTrak* ou *P3* para criar, atualizar e comunicar o calendário através de uma gama de relatórios, possibilitando o cálculo do caminho crítico e a visualização da ligação entre as atividades (EASTMAN *et al.*, 2011).

Koo e Fischer (1998) afirmam que os cronogramas tradicionais não fornecem quaisquer informações referentes ao contexto espacial e à complexidade dos componentes de um projeto e constituem uma representação abstrata do cronograma, exigindo uma interpretação dos usuários que pode ser errônea em função do grande número de atividades e precedências. Com isso, pesquisas foram desenvolvidas no intuito de combinar ferramentas de planejamento com modelos 3D do projeto para transmitir a sequência construtiva visualmente.

No modelo 4D, os aspectos temporais e espaciais do projeto estão, intimamente, conectados, permitindo aos planejadores a visualização do processo de construção, maior compreensão do cronograma, detecção de erros e problemas potenciais antes da execução. Os principais benefícios do modelo 4D estão em seu poder de análise, integração e visualização dos processos (KOO; FISCHER, 1998).

Ainda segundo Koo e Fischer (1998), a maioria dos gerentes de obras visualiza o plano do processo construtivo através das suas cabeças, a partir da experiência de campo deles e encontra dificuldades em transmitir ou discutir as informações com colegas menos experientes. Com isso, torna-se difícil formar um consenso entre os envolvidos quanto ao método ideal de construção e os problemas que os *softwares* tradicionais de gerenciamento não detectam são deixados sem solução até o momento da execução, o que faz com que as mudanças no cronograma durante a construção sejam comuns.

4.2.1. Conceito

Eastman *et al.* (2011) conceituam a modelagem 4D como a ligação entre o planejamento da construção com objetos 3D do projeto, possibilitando a simulação do processo construtivo que mostra como a edificação e o canteiro de obras estariam em qualquer ponto do tempo.

4.2.2. Benefícios

Segundo Eastman *et al.* (2011), os principais benefícios do uso do modelo 4D são:

- a) **Comunicação:** os planejadores podem, visualmente, comunicar os planos aos *stakeholders*. O modelo 4D une os aspectos temporais e espaciais, comunicando o calendário com mais êxito do que os cronogramas tradicionais;
- b) **Múltiplos stakeholders:** maior número de interessados em informações do plano e na influência sobre o entorno como a geração de tráfego e a conturbação de acessos;
- c) **Logística do canteiro:** maior poder de gerenciar áreas de estoque, acessos, localização de equipamentos de grande porte, fluxos;
- d) **Coordenação:** possibilidade de coordenar tempo e espaço, acompanhamento de equipes e fluxo de trabalho em espaços pequenos;
- e) **Comparar programações e acompanhar o progresso da construção:** gerentes de projeto podem comparar diferentes planos e identificar se o projeto encontra-se atrasado ou adiantado em relação ao previsto.

Eastman *et al.* (2011) afirmam que a simulação do processo de construção e a visualização 4D de cronogramas reduzem os tempos de ciclos das operações de construção, pois ajudam a revelar conflitos entre os processos. Reduzir o tempo total de conclusão é um objetivo de qualquer sistema de produção.

As organizações utilizam uma série de ferramentas e processos para gerenciar e relatar o *status* do projeto. BIM pode fornecer suporte para essas tarefas através da visualização gráfica do progresso do projeto, destacando os problemas existentes ou potenciais. Existe também a possibilidade do usuário, visualmente, acompanhar onde há significativas variações entre o custo e o valor orçado no modelo 3D. O *status* do projeto pode ser associado à determinada cores para a identificação de gargalos ou áreas que estão atrasadas (EASTMAN *et al.*, 2011).

Outra aplicação do modelo 4D é no momento de aquisição de suprimentos. É possível fazer compras, diretamente, pelo modelo. Alguns aplicativos disponibilizam modelos de produtos dos fabricantes, cotações em tempo real e rastreamento das aquisições. Com

isso, planejadores podem rastrear a proximidade de tarefas importantes na programação e evitar os atrasos nas aquisições e quais deles impactariam mais o cronograma da construção.

Pré-fabricação requer um planejamento considerável e informações de projeto precisas. BIM oferece vantagens, dentre as quais, geometria 3D, especificações claras de materiais, sequência de entrega, para fabricar componentes fora do canteiro de obras, reduzindo custos e riscos (EASTMAN *et al.*, 2011).

4.2.3. Processo de Modelagem

Planejadores da construção desenvolvem modelos 4D, de maneira manual, há décadas. Primeiro, com lápis e diferentes cores nos desenhos para representar as diferentes sequências de progressão do trabalho, depois, através do CAD e artifícios de sombreado, cores de preenchimento e ativação ou desativação de *layers*, com pouca ou nenhuma automatização. A partir daí, geravam-se simulações e animações que exibiam a programação, entretanto, de forma ineficiente como ferramentas de planejamento. A necessidade de atualizar e refazer manualmente novos cenários de planejamento limita o uso desses modelos a determinados clientes ou agentes externos (EASTMAN *et al.*, 2011).

Para automatizar o modelo 4D, filtragem de objetos e parametrização são essenciais, o que faz o BIM se destacar frente as deficiências inerentes do sistema CAD. As novas ferramentas de edição e criação 4D se baseiam em um modelo 3D BIM associado a cronogramas de *softwares* específicos. Em alguns casos, conforme Eastman *et al.* (2011), a importação dos recursos BIM pelos usuários para a modelagem 4D é suficiente com dados de geometria, nomes e hierarquia. Somente em casos específicos, importam-se outras propriedades dos objetos, como os identificadores únicos, os quais podem automatizar a modelagem 4D. Já a importação de dados do *software* de programação funciona a partir de um banco de dados. Nesse caso, a ferramenta precisará suportar conexões com o banco de dados e extrações de dados da programação.

O modelo 4D deve ter a capacidade de importar e mesclar modelos criados em diversas ferramentas BIM em uma única ferramenta. Há possibilidade também de adicionar componentes temporários ao modelo como andaimes, áreas de escavação e de armazenamento e guindastes, entretanto, alguns usuários ainda tem criar esses componentes. O ideal é que a modelagem 4D tenha uma biblioteca que permita uma adição rápida desses componentes. Como o modelo de construção deve refletir o processo de construção, estruturas temporárias como os andaimes, são importantes por que vão influenciar em restrições espaciais para pessoas e equipamentos, constituindo-se em um instrumento de avaliação de construtibilidade do plano (EASTMAN *et al.*, 2011).

Outro facilitador na construção de um modelo 4D é a vinculação automática entre os componentes da construção e as atividades da programação com base em regras, sendo bastante útil para projetos com convenções de nomenclatura padrão.

O nível de detalhe apropriado para a modelagem 4D depende de vários fatores, por exemplo, solicitação do cliente, tamanho do modelo, tempo previsto de construção, itens críticos a serem comunicados. Existem casos em que o projeto 3D possui um sistema de paredes com diferentes camadas detalhadas, mas o planejador pode optar por representar tudo como um componente único, se a questão crítica for outro sequenciamento. Há situações inversas, onde um único componente pode representar múltiplas atividades, como em um elemento de fundação que envolva atividades de escavação, forma, armação, concretagem, cura do concreto e desforma. O planejador pode aplicar diferentes atividades e tipos de atividades para um único componente (EASTMAN *et al.*, 2011).

A capacidade de reorganização também é essencial para desenvolver um modelo 4D preciso e flexível. *Softwares* 4D permitem que o programador reorganize ou crie grupos personalizados de componentes ou entidades geométricas. Isso é importante por que, muitas vezes, a forma que o projetista organiza um modelo não coincide com a organização do planejador para relacionar os componentes com as atividades (EASTMAN *et al.*, 2011).

Decomposição e agregação de objetos são também para Eastman *et al.* (2011) cruciais na modelagem 4D. Objetos representados por uma entidade única, como lajes, paredes ou telhados, podem precisar ser divididos em outras porções para demonstrar a forma na qual serão construídos. A maioria das ferramentas especializadas não possui essa capacidade e o planejador precisa decompor ou agregar dentro do *software* 3D/BIM.

4.2.4. Ferramentas de Utilização

Koo e Fischer (1998) indicam alguns diferenciais da modelagem 4D como ferramenta de visualização, integração e análise.

MODELO 4D COMO FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO

I) Visualização e interpretação da sequência de construção

Os *softwares* de gerenciamento atuais forçam os usuários a visualizar e interpretar a sequência de atividades em suas mentes. Múltiplos participantes conceituando, individualmente, podem gerar falha de comunicação em função do nível de experiência, conhecimento de cada um.

O modelo 4D consegue mostrar os elementos do projeto sendo construídos com a passagem do tempo, eliminando, fortemente, esse processo de interpretação mental. Entendendo melhor a lógica por trás do sequenciamento, melhora-se muito na percepção de possíveis problemas e contradições.

II) Antecipação de conflitos espaço e tempo durante a construção

Alocar os recursos de maneira adequada e utilizando o espaço de maneira eficaz é uma das principais tarefas dos planejadores da construção. O modelo 4D além de transmitir visualmente a sequência de desenvolvimento, também mostra entraves no espaço, permitindo a detecção de conflitos espaço e tempo, como quando duas equipes de trabalho de especialidades diferentes são alocadas para dividir um espaço de trabalho comum, gerando interferências e reduções de produtividades.

Identificar esses conflitos entre as atividades exige informação espacial, temporal e lógica de cada atividade. Sendo que a informação espacial refere-se a localização e o espaço ocupado, a temporal necessita do início e duração do serviço e a lógica as atividades antecedente e sucessora. Resta ao programador analisar se as atividades simultâneas ou sobrepostas estão utilizando espaços de trabalho restritos. Um dos grandes diferenciais da modelagem 4D é a possibilidade real de visualizar a informação nos três níveis em uma mesma tela, evidenciando os conflitos.

III) Transmissão do impacto da mudança no cronograma

Mudanças são inevitáveis na construção civil e elas precisam ser incorporadas no cronograma. Periodicamente, os cronogramas são atualizados, justamente, para demonstrar essas mudanças. Uma alteração em dada atividade pode causar atrasos em outras atividades, afetando o prazo total.

Um cronograma CPM pode transmitir o efeito cascata da mudança de uma única atividade nas outras relacionadas, entretanto, pode ser complicado identificar as atividades que podem ser afetadas em meio ao total. Além das atividades que, obviamente, são alteradas com uma mudança de sua predecessora, pode haver outras atividades afetadas que não são fáceis de visualizar nos métodos tradicionais. Através do modelo 4D, o planejador determina, de imediato, as atividades afetadas por uma mudança.

Comunicar mudanças no cronograma a outros interessados também é complicado por meio de cronogramas tradicionais. Alguns clientes podem não ser capazes de relacionar todas as atividades afetadas por meio de um cronograma comum, tendo dificuldades de visualizar a sequência construtiva e em perceber por que certas atividades são tão impactadas. Os cronogramas CPM representam as mudanças em outras atividades apenas por diferentes durações ou diferentes datas de início e término, enquanto o modelo 4D mostra graficamente os componentes afetados.

MODELO 4D COMO FERRAMENTA DE INTEGRAÇÃO

I) Formalização de informações de projeto e construção

Projetistas e construtores costumam ainda utilizar informações sem padronização e consistência em projetos 2D. Mesmo sabendo que o planejamento da sequência executiva é fundamental na contenção de custos do projeto, projetistas, nem sempre, percebem como suas escolhas na concepção vão afetar essa sequência. Eles também não estão tão familiarizados com cronogramas CPM e podem ter dificuldades em compreender a lógica de sequências executivas.

Modelos 4D podem ampliar os limites dos desenhos 2D, integrando informações de projeto e construção em um único meio. Projetista e construtor podem trabalhar em um mesmo modelo, eliminando o uso de desenhos separados. Já que os modelos 4D retratam, precisamente, a configuração geométrica da edificação, os projetistas podem apontar os aspectos estruturais significantes, enquanto os construtores podem identificar como a sequência construtiva pode ser afetada pelo projeto.

II) Promoção da integração entre os participantes do projeto

O modelo 4D induz, naturalmente, a interação entre projetista, planejador e construtor abordando questões que o planejamento tradicional não atinge. Caso esse modelo seja construído em fase inicial do empreendimento, ele pode apoiar o planejador na análise de cenários alternativos para escolha do melhor método de construção que garanta condições de tempo e custo. Além disso, ele pode fornecer *feedback* ao projeto nas etapas de estudo de viabilidade e determinação de qual o projeto é mais apropriado para o método de construção selecionado. Com tudo isso, o modelo 4D se torna um aliado para a comunicação eficaz entre o projeto e as entidades de construção.

MODELO 4D COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE

I) Apoio em análises de custo e produtividade

O modelo 4D possui a habilidade de alertar o planejador sobre conflitos de espaço e tempo imprevistos no cronograma inicial, permitindo o desenvolvimento de um planejamento mais realista. Com isso, há uma avaliação da programação estabelecida e a detecção de conflitos entre atividades diferentes em um mesmo espaço, o que geraria diminuição dos índices de produtividades das equipes.

Nessa situação, as atividades poderiam ser remarcadas para possibilitar um bom sequenciamento e a conformação ideal do ritmo de trabalho, resultando no aumento de produtividade. A antecipação desses problemas também minimiza alterações dispendiosas na fase de execução. Variações na taxa de produtividade das equipes e sequenciamento das atividades no cronograma obrigam o planejador a reavaliar as estimativas de orçamento iniciais.

II) Antecipação de situações de risco

Uma das causas de custos adicionais não previstos são situações de risco à segurança. Segurança do trabalho tornou-se uma questão importante para as empresas, ainda mais dada as atuais margens de lucros dos projetos e a ameaça da repercussão de um acidente, o qual pode ameaçar vidas, o que não pode ser quantificado.

Construtores podem ter dificuldade em identificar e antecipar todas as áreas de risco existentes na obra devido ao caráter único de cada obra e a imprevisibilidade associada a falhas humanas dos acidentes. A visualização do modelo 4D auxilia a detecção de áreas propícias a ocorrência de acidentes, possibilitando a execução de medidas preventivas e a percepção de situações de risco causadas por diferentes equipes.

III) Alocação de recursos e equipamentos no espaço

Construtores enfrentam restrições quando alocam recursos e equipamentos no espaço de trabalho. Normalmente, canteiros de obras são ocupados por equipamentos de grande

porte e estoques de materiais que reduzem a capacidade de circulação de máquinas e equipes de trabalho. Nesse cenário, os construtores possuem o desafio de utilizar, de forma eficaz, espaços limitados para ter bons resultados de custo e prazo.

Gestão de espaços é essencial em áreas urbanas ou em empreendimentos que só podem trabalhar na área real que a edificação vai ocupar. Outro gerenciamento importante é a respeito do tempo de entrega de materiais, não permitindo atrasos que inviabilizem as atividades nem adiantamentos que gerem estoques desnecessários.

Mais uma vez o modelo 4D surge como um gerenciador do espaço de trabalho. Os gerentes de construções podem programar quando adquirir os materiais de acordo com seus prazos além de saber quando e onde espaços de trabalho estarão disponíveis ou ocupados, podendo ou não utilizar aquela área para operações auxiliares a execução.

IV) Simulações de execução

Através da visualização da sequência construtiva, a modelagem 4D permite aos usuários a descoberta de problemas no planejamento inicial. Além disso, é uma ferramenta para análises de conflitos espaço e tempo, questões de segurança, gerenciamento do espaço de trabalho. A grande questão é que esses aspectos não podem ser analisados isoladamente, pois são interdependentes. Uma alteração efetuada no cronograma para solucionar um conflito espaço e tempo pode reduzir o espaço de trabalho de equipamentos e trabalhadores.

O grande benefício do modelo 4D é a sua capacidade de considerar todos os fatores através de um único meio, integrando a informação lógica, temporal e espacial do projeto de construção. Ainda existe a possibilidade de o planejador gerar diferentes cenários de execução, escolhendo aquele que solucione problemas interdependentes, diferente da abordagem tradicional que conceitua mentalmente as alternativas, tomando decisões baseadas em questões intuitivas.

O Quadro 2, a seguir, resume todos os tipos de utilização do modelo 4D detalhados por Koo e Fischer (1998).

Quadro 2 – Ferramentas de Utilização do Modelo 4D (KOO; FISCHER, 1998)

Ferramentas		Cronogramas Tradicionais	Modelos 4D
Visualização	Visualização e interpretação da sequência de construção	Força os usuários a visualizar mentalmente	Elimina processo de interpretação
	Antecipação de conflitos espaço tempo durante a construção	Dificuldade de detectar apenas com o cronograma	Identifica potenciais conflitos
	Transmissão do impacto da mudança no cronograma	Dificuldade de detectar apenas com o cronograma	Mostra claramente o impacto
Integração	Formalização de informações de projeto e construção	Baseado em um processo de produção fragmentado	Facilita o compartilhamento de informações e a integração
	Promoção da integração entre os participantes do projeto	Não promove integração	Promove integração
Análise	Apoio em análises de custo e produtividade	Não fornece suporte	Permite facilmente a detecção
	Antecipação de situações de risco	Não fornece suporte	Permite facilmente a detecção
	Alocação de recursos e equipamentos no espaço	Não fornece suporte	Permite facilmente a alocação
	Simulações de execução	Não fornece suporte	Permite a geração de cenários alternativos

4.2.5. Controle de Obras através do Modelo 4D

A capacidade de comunicar eficazmente informações de progresso e discrepâncias em relação ao planejado é considerada estratégica para a gestão de um projeto bem sucedido, permitindo a tomada de ações corretivas em tempo hábil. Golparvar-Fard *et al.* (2009) desenvolveram uma técnica de monitoramento do progresso a partir da visualização do modelo 4D sobreposto a fotografias do avanço real. A modelagem 4D permite que os envolvidos no projeto e clientes compreendam as dificuldades espaciais, explorem alternativas, sem depender do nível de conhecimento e experiência prévia dos envolvidos.

Golparvar-Fard *et al.* (2009) lembram que a visualização detalhada de algumas atividades aumenta a capacidade de controlar e enxergar a dinâmica de operações de um

projeto, entretanto, visualizar atividades de instalações no modelo pode não ser possível, obtendo maior êxito com representações de avanços de atividades visíveis como as externas, de estrutura e fachada.

Em trabalho apresentado por Song *et al.* (2012), um projeto pode ser acompanhado através da simulação 4D de várias formas. Eles sugerem ajustar algumas funções da simulação como alterar a velocidade, pausar e voltar para auxiliar na análise. Outro mecanismo desenvolvido para acompanhamento consiste na exibição de dois esquemas diferentes de simulação simultânea, lado a lado, conforme Figura 6. Essa ferramenta permite que o usuário visualize, dentre outras possibilidades, dois métodos de construção, o planejado e o executado, escolhendo o método mais apropriado ou identificando as discrepâncias no cronograma.

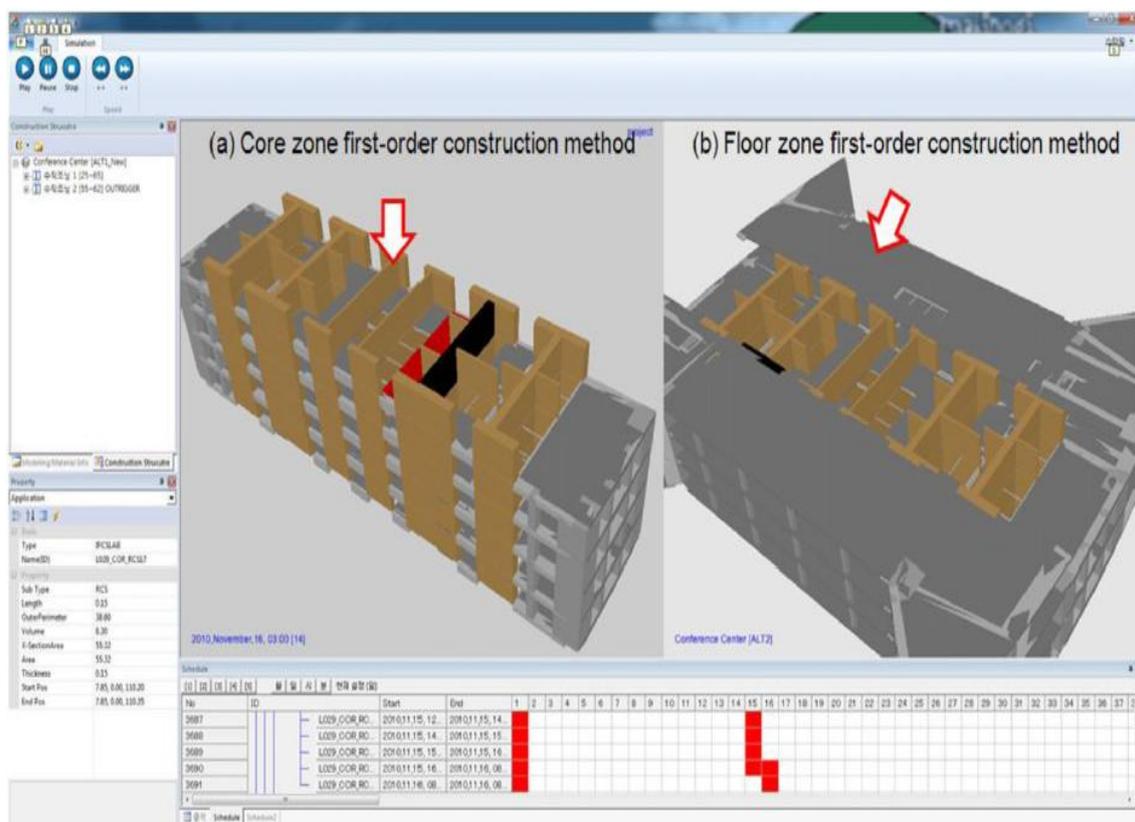


Figura 6 – Simulações representadas ao mesmo tempo (SONG *et al.*, 2012)

Ainda em sua pesquisa, Golparvar-Fard *et al.* (2009) utilizam um esquema visual de cores para evidenciar as discrepâncias no cronograma. Os desvios observados em relação ao planejado são divididos em um espectro de cores que vai do vermelho ao verde. Elementos em vermelho indicam componentes que necessitam de uma ação

corretiva, enquanto os de verde representam atividades dentro da normalidade e os de verde escuro para componentes que foram realizados além do esperado, de maneira antecipada.

Chang *et al.* (2009) afirmam que a modelagem 4D costuma usar cores para representar os diferentes estados construtivos e quando, encontra-se o esquema ideal de cores, os engenheiros entendem o modelo e identificam os possíveis conflitos com mais facilidade. Porém, consideram existir poucas pesquisas nessa área e apresentam um procedimento sistemático para determinar o esquema de cores ideal para modelos 4D.

Chang *et al.* (2009) e Chen *et al.* (2013) perceberam em suas pesquisas que os planejadores selecionam os esquemas de cores dos modelos com base em preferências pessoais. Durante a construção, controle por meio de modelos 4D acontece por mudanças de cores para representar o avanço no tempo, portanto, usuários precisam lembrar de todas as cores e seus estados correspondentes para entender o processo, o que pode ser muito complicado de memorizar, causando erros de interpretação.

Em seus esquemas de cores, Chang *et al.* (2009) escolheram cores frias para atividades dentro do previsto devido à sensação de calma que causam na natureza, adequadas para condições de construção estáveis e seguras de prazo. Já as cores quentes representavam atrasos por serem vivas e capazes de despertar e estimular o espectador, atraindo a sua atenção para condições críticas como as de atraso. Ainda em seu trabalho, eles detectaram que cores com efeito de transparência confundem os usuários por se misturarem com cores de fundo do modelo.

Chen *et al.* (2013) também desenvolveram uma ferramenta de seleção e avaliação de esquema de cores para modelos 4D, conforme Figura 7. Seu método de seleção envolvia a determinação do número de estados de construção e a seleção das cores para representar esses estados, avaliando em simuladores de exibição, de espectadores e de renderização. A determinação do número de estados dependia da aplicação da modelagem. Para fins de planejamento, o modelo 4D poderia ter até 3 *status*: pré-construção, em construção, construído. Já em aplicações de controle do projeto, comparativos entre o planejado e o executado, ideal ter até 6 estados, incluindo estados atuais de: atraso de pré-construção, atraso em construção e atraso da construção.

4D Color Selector and Evaluator

Selecting Good Color Schemes for 4D Models

Selector

3 Status 5 Status 6 Status



- Pre-Construction
161 218 180
- Under-Construction
65 182 196
- Completion
34 94 168
- Pre-Construction Delay
253 204 138
- Under-Construction Delay
252 141 89
- Completion Delay
215 48 31

Application Software

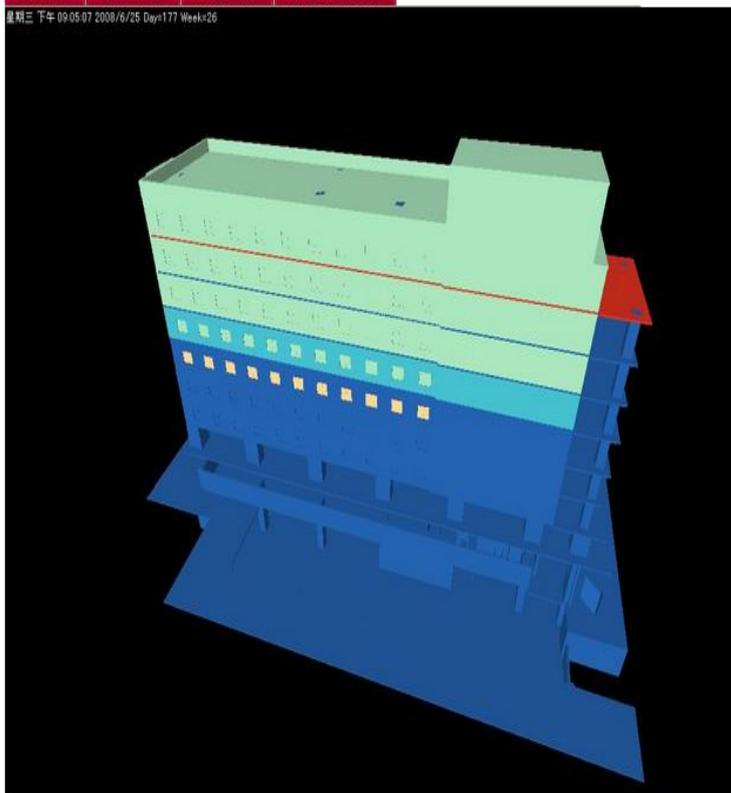
- Intergraph SmartPlant
- Autodesk Navisworks

Note

Evaluator

Original Colorblind Projector Color Printout

星期三 下午 09:05:07 2008/6/25 Day:177 Week:26



8 / 12



Figura 7 – Seletor e Avaliador do Esquema de Cores para Modelos 4D (CHEN *et al.*, 2013)

Algumas recomendações são fornecidas por Chen *et al.* (2013) para a modelagem 4D com base em suas experiências. Combinações de azul-vermelho e amarelo-roxo funcionam bem em mídias de exibição e em usuários daltônicos, com pouca distorção de cor. Estados de atraso são bem representados no esquema amarelo-laranja-vermelho, sem empecilhos para daltônicos. Devem-se evitar cores verdes nos estados dentro do previsto quando se usam cores quentes nos estados de atraso para se atender às necessidades dos daltônicos. Também é dispensável o uso do verde, amarelo e do vermelho juntos, já que em usuários com visões deficientes essas cores podem ser indistinguíveis.

4.2.6. Entraves na Propagação do Modelo 4D

Uma das dificuldades citadas por Koo e Fischer (1998) para a propagação dos modelos 4D é o desenvolvimento do modelo que engloba os componentes geométricos 3D, as informações do cronograma e suas associações. Os autores consideravam trabalhoso e demorado, especialmente, naquela época, esse processo preparatório dos modelos 4D e argumentavam da necessidade da automação para aliviar a carga de trabalho sobre os planejadores, os quais não possuíam grandes períodos de tempo disponíveis.

A propagação do BIM reduziu esse tempo, antes necessário, à medida que substituiu a elaboração do modelo CAD 3D, notadamente, a etapa mais demorada demonstrada pelos autores. No entanto, a preparação inicial dos dados do cronograma também é muito importante e ainda determina a qualidade do modelo 4D final. Decisões precipitadas podem não incluir os componentes necessários na modelagem 4D proposta e, em alguns casos, é interessante gastar mais tempo na preparação dos nomes dos componentes do cronograma afim de economizar tempo posteriormente. Portanto, é essencial criar um cronograma com o nível de detalhe desejado e, compatível, ao modelo 3D que será utilizado.

Limitações na detecção de possíveis problemas através da análise do modelo 4D pelos espectadores, em função do nível de conhecimento e experiência individual, também é citado como um entrave ao pleno desenvolvimento. Como desafio, propõem-se melhorias de funcionalidades que reconheçam problemas na sequência construtiva e transmitam essa informação ao usuário, identificando omissões de componentes ou contradições no cronograma. Conflitos de espaço e tempo e questões envolvendo produtividade das equipes encontram dificuldades em serem detectados devido a falta de alguns dados no modelo 4D, tais como tamanhos das equipes e dos equipamentos, requisitos de espaços de trabalho e zonas de segurança (KOO; FISCHER, 1998).

Russell *et al.* (2009) acrescentam que os modelos 4D precisam de mecanismos para visualizar o progresso das atividades internas, ou seja, a capacidade de enxergar por dentro da estrutura. Esse é um tópico que não vem recebendo atenção significativa, mas é essencial para a visualização do avanço de um empreendimento. Um acesso visual

restrito às atividades que acontecem no interior de uma edificação limitam a aplicabilidade do modelo 4D.

Para combater a essas dificuldades, Russell *et al.* (2009) discutem algumas estratégias como as da Figura 8. Um dos mecanismos poderia ocultar os níveis acima dos locais onde estão acontecendo atividades internas para facilitar a visualização, outra possibilidade seria ajustar a transparência de alguns elementos para ver o interior do edifício e diferenciar cores para distinguir atividades.

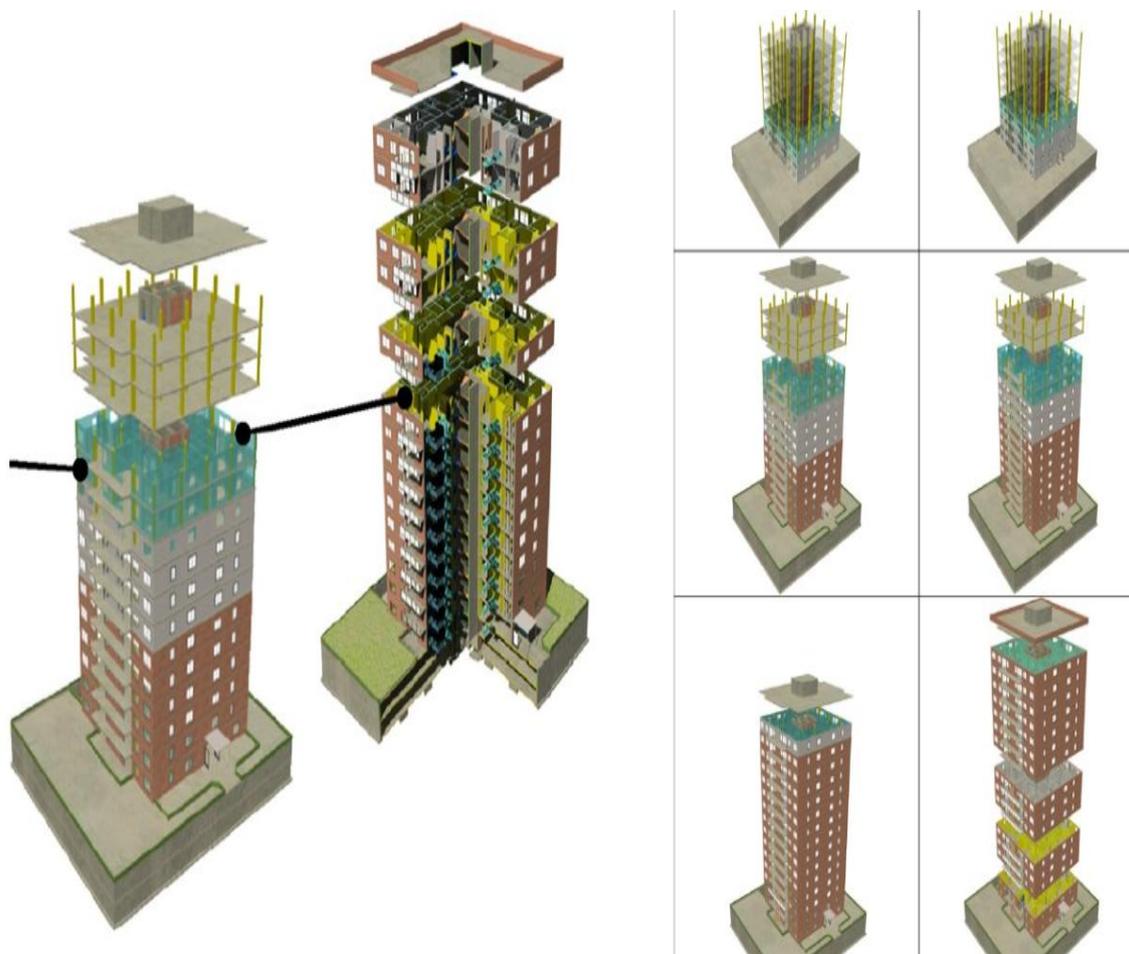


Figura 8 – Mecanismos de Visualização Interna do Modelo 4D (RUSSELL *et al.*, 2009)

Hartmann *et al.* (2008) consideram que a indústria da construção civil precisa de uma compreensão maior e mais ampla sobre como utilizar modelos 3D/4D para suporte no gerenciamento de projetos. Outro entrave seria o uso de diferentes modelos 3D para cada aplicação com níveis de detalhes diferentes, sem um *software* que alternasse entre vários níveis de detalhes.

Todos os membros de um projeto vão experimentar benefícios em diversas áreas como construtibilidade, custo e planejamento da construção, todas com maior conhecimento e mais cedo que a concepção CAD. As vantagens da abordagem BIM integrada e colaborativa pode torná-lo um método preferido e, amplamente, utilizado no futuro. Contudo, essa abordagem também exigirá novos contratos baseados em uma maior colaboração e partilha de informações entre os envolvidos (EASTMAN *et al.*, 2011).

5. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA MODELAGEM 4D AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento da pesquisa, incluindo a caracterização da empresa e do empreendimento envolvido no estudo de caso, informações dos *softwares* utilizados, as etapas da modelagem 4D e sua aplicação.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo de caso foi realizado em uma empresa construtora e incorporadora, criada em 1996, e que executa obras residenciais de alto padrão e comerciais em Salvador e cidades próximas.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Neste item, têm-se algumas definições necessárias para o desenvolvimento do estudo de caso.

5.2.1. Empreendimento

A escolha do empreendimento se deu em razão da construtora ter iniciado a utilização da tecnologia BIM em seus projetos e ter demonstrado interesse na implantação de um sistema de planejamento e controle através da modelagem 4D para visualizar espacialmente a sequência construtiva e o plano de ataque, além de acompanhar o avanço físico do projeto e facilitar a comunicação com investidores.

5.2.2. Softwares Utilizados

O planejamento inicial foi revisado no *software Microsoft Project®*, definindo as atividades que seriam modeladas no 4D. O projeto 3D havia sido feito no *Revit®* pela empresa. Para a associação entre o cronograma e o projeto, utilizou-se o *Navisworks®*, desenvolvendo o modelo 4D do estudo.

5.2.3. Etapas da Modelagem 4D

O processo para desenvolvimento do modelo 4D, utilizado no estudo de caso, seguiu uma sequência (Figura 9), envolvendo algumas etapas citadas a seguir e detalhadas nos próximos itens. São elas:

- I) Revisão do planejamento;
- II) Exportação dos projetos 3D do *Revit*® e importação pelo *Navisworks*®;
- III) Importação do planejamento com o cronograma definido;
- IV) Associação das atividades do cronograma com os elementos do projeto.

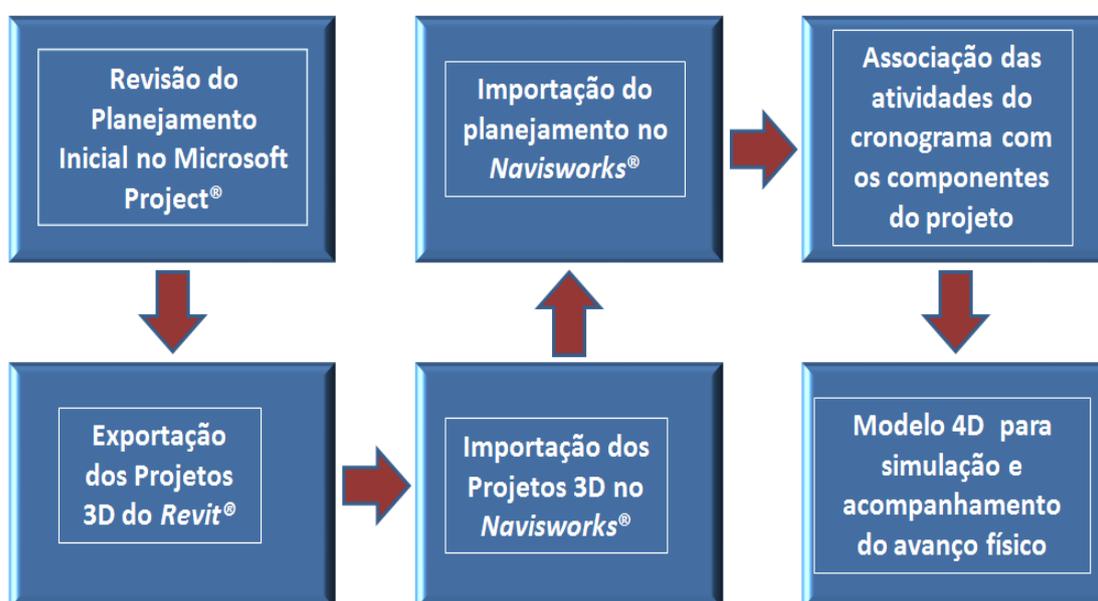


Figura 9 – Etapas do desenvolvimento do Modelo 4D

I) REVISÃO DO PLANEJAMENTO

Ao iniciar o estudo, havia um planejamento inicial realizado pelo engenheiro da obra a ser analisado. Além da revisão das datas para o período previsto para início das obras, da sequência de atividades devido a algumas escolhas construtivas e do plano de ataque dos módulos, foram selecionadas as atividades que seriam representadas no modelo 4D e o nível de detalhe ao trabalho proposto, conforme Figura 10 .

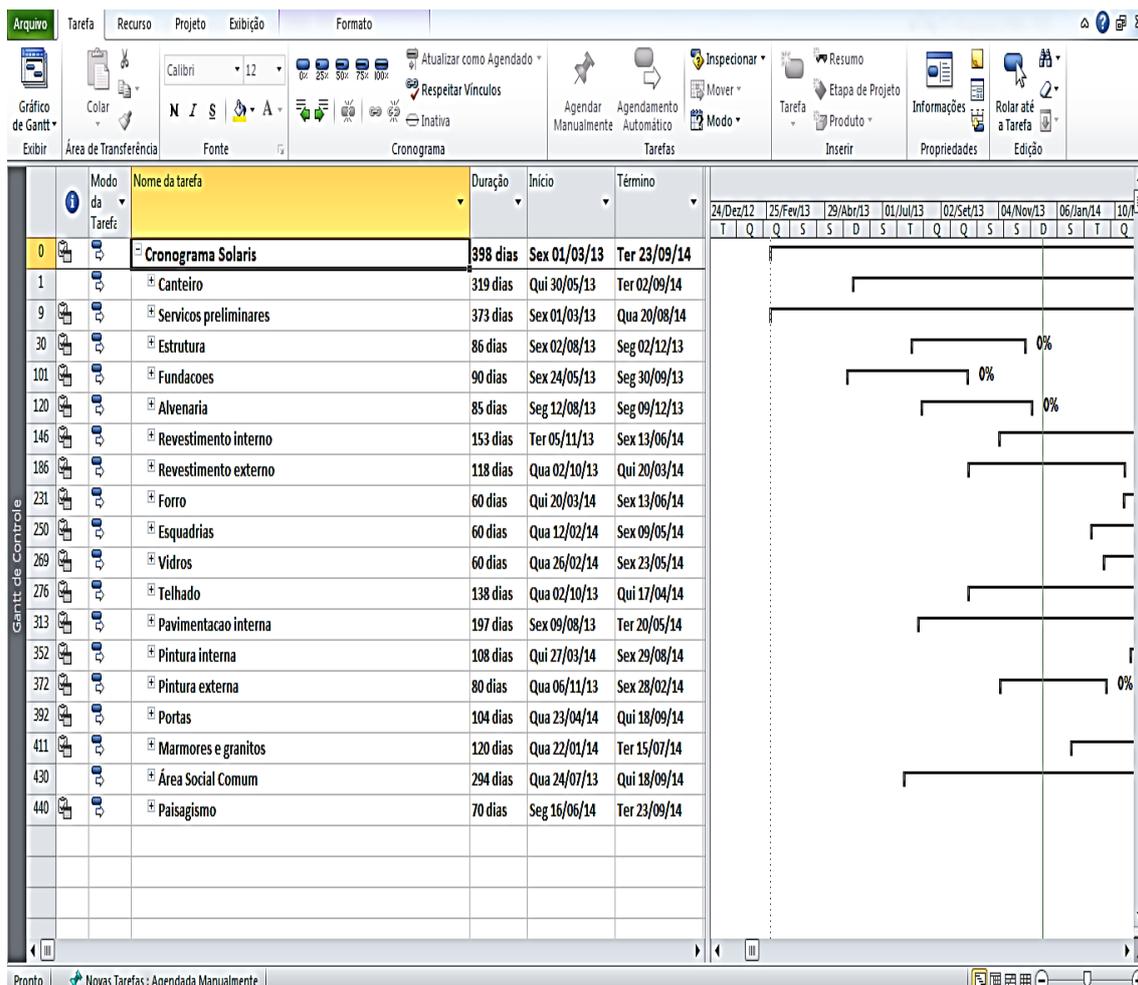


Figura 10 – Planejamento revisado

II) EXPORTAÇÃO DOS PROJETOS 3D DO REVIT® E IMPORTAÇÃO PELO NAVISWORKS®

Como o *Navisworks*® abre uma variedade de arquivos em diferentes formatos, foram exportados os arquivos do projeto 3D do *Revit*® em formato NWC, os quais são menores que os arquivos originais, o que é ideal em grandes projetos por acelerar o processo, já que a utilização no formato tradicional RVT aumenta, consideravelmente, o tempo demandado na abertura e atualização do modelo. Para organizar os arquivos exportados, foi criada uma pasta com cada arquivo que irá compor o modelo 4D, conforme Figura 11.

Já no *Navisworks*®, os arquivos NWC foram importados. O *Navisworks*® tem a habilidade de reunir esses arquivos, combinando-os, criando um único arquivo com o modelo de todo o projeto. Optou-se por salvar o modelo no formato NWF.

Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
1.1 Solaris - Modulo 01.nwc	03/07/2013 10:47	Navisworks Cache	752 KB
1.2 Solaris - Modulo 02.nwc	03/07/2013 10:51	Navisworks Cache	630 KB
1.4 Solaris - Modulo 04.nwc	03/07/2013 10:55	Navisworks Cache	743 KB
1.5 Solaris - Modulo 05.nwc	03/07/2013 10:57	Navisworks Cache	931 KB
1.6 Solaris - Modulo 06.nwc	03/07/2013 11:00	Navisworks Cache	748 KB
2.1 Solaris - Telhado Modulo 01.nwc	03/07/2013 11:23	Navisworks Cache	393 KB
2.2 Solaris - Telhado Modulo 02.nwc	03/07/2013 11:32	Navisworks Cache	394 KB
2.3 Solaris - Telhado Modulo 03.nwc	03/07/2013 11:40	Navisworks Cache	393 KB
2.4 Solaris - Telhado Modulo 04.nwc	03/07/2013 11:48	Navisworks Cache	394 KB
2.5 Solaris - Telhado Modulo 05.nwc	04/07/2013 09:21	Navisworks Cache	561 KB
2.6 Solaris - Telhado Modulo 06.nwc	04/07/2013 09:55	Navisworks Cache	394 KB
3.0 Solaris - Garagem Modulo 02.nwc	04/07/2013 10:00	Navisworks Cache	112 KB
4.0 Solaris - Piscina.nwc	04/07/2013 10:04	Navisworks Cache	210 KB
5.0 Solaris - Lounge (Proposta).nwc	04/07/2013 10:05	Navisworks Cache	25 KB
6.1 Solaris - Clube + Cozinha.nwc	04/07/2013 10:08	Navisworks Cache	402 KB
7.1 Solaris - Quiosque 01.nwc	04/07/2013 10:09	Navisworks Cache	65 KB
7.2 Solaris - Quiosque 02.nwc	04/07/2013 10:10	Navisworks Cache	65 KB
8.0 Solaris - Vestiário e Reservatório.nwc	04/07/2013 10:15	Navisworks Cache	191 KB
9.0 Solaris - Guarita.nwc	04/07/2013 10:19	Navisworks Cache	154 KB
5.1 Solaris - Contenção Terreno Novo (Plantas) sem vizinho.nwc	04/07/2013 12:09	Navisworks Cache	929 KB
1.0 Solaris - Terreno Natural.nwc	04/07/2013 12:11	Navisworks Cache	9 KB
4.0 Solaris - Terreno Natural + Platôs sem vizinho.nwc	04/07/2013 12:14	Navisworks Cache	30 KB
3.0 Solaris - Terreno Natural + Platos (Calculo de Volume da Terra) sem L...	04/07/2013 12:50	Navisworks Cache	20 KB
1.3 Solaris - Modulo 03.nwc	10/07/2013 11:18	Navisworks Cache	638 KB

Figura 11 – Pasta com os arquivos exportados em NWC

III) IMPORTAÇÃO DO PLANEJAMENTO COM O CRONOGRAMA DEFINIDO

Com o planejamento definido no *Microsoft Project®*, o cronograma foi importado no *Navisworks®* na ferramenta *Timeliner*, com as atividades escolhidas, o nível de detalhamento, as durações e precedências definidas.

IV) ASSOCIAÇÃO DAS ATIVIDADES DO CRONOGRAMA COM OS ELEMENTOS DO PROJETO

A vinculação entre cada atividade do cronograma com os respectivos elementos do projeto, ou *Sets*, exige que esses conjuntos sejam criados na janela de gerenciamento de conjuntos (*Manage Sets*), conforme Figura 12. Todos os itens relacionados a uma atividade são agrupados e salvos em uma pasta para se associar à atividade, representando-a. Para encontrar e selecionar os componentes de cada atividade pode-se utilizar duas opções: manualmente e através do *Find Items*. Na primeira opção, o usuário seleciona, item a item, os componentes que vão compor o *set* e salva com a ferramenta *Save Selection*, enquanto que na última, faz-se uma busca pelos itens de acordo com regras definidas pelo usuário, selecionando-os e salvando os componentes

de maneira mais automática, utilizando o *Save Search*. Além dessa vantagem, o *Save Search*, mantém o *set* atualizado, independente de mudanças realizadas nos projetos salvos, devido a sua busca automática pelas regras definidas.

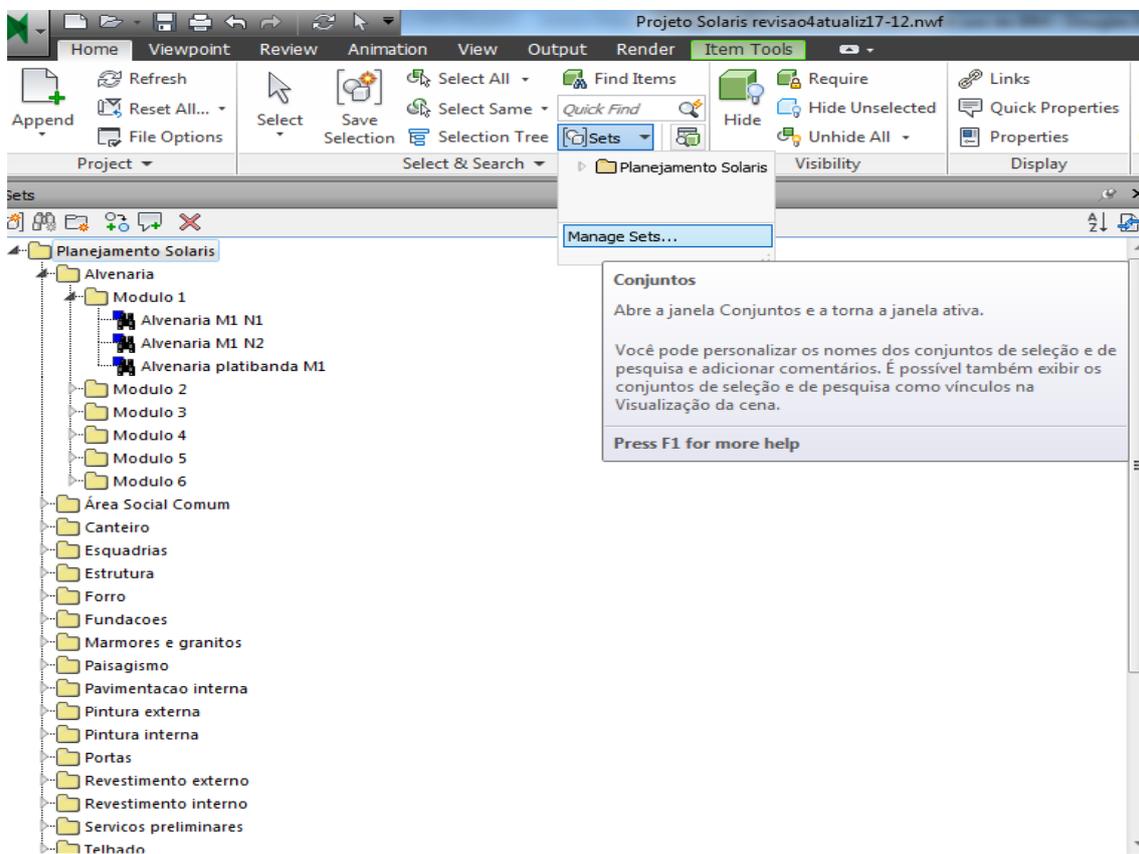


Figura 12 – Detalhe da janela *Manage Sets*

5.3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Neste item, é apresentado o processo de desenvolvimento do modelo e as aplicações definidas neste trabalho.

5.3.1. Particularidades do Empreendimento

O empreendimento em estudo neste trabalho é composto de um condomínio com 6 módulos residenciais de 2 pavimentos, constituindo-se em uma obra horizontal com 64 unidades, a qual a empresa planejou executar em 18 meses, conforme Figura 13. Sua localização é no litoral norte baiano em uma vila conhecida pelo turismo, distante cerca de 80 km de Salvador, o que traz algumas dificuldades de materiais e mão de obra.



Figura 13 – Visão do empreendimento

Como particularidades, as lajes serão compostas de vigotas pré-moldadas feitas na obra. O concreto de vigas, pilares e lajes serão dosados no canteiro e o revestimento interno e o externo serão com argamassa projetada, influenciando em questões de planejamento, como o ritmo das atividades e o tamanho das equipes.

5.3.2. Processo de Elaboração do Modelo 4D

Como foi dito, anteriormente, na importação do cronograma para o *Navisworks*® há a geração das tarefas do modelo na ferramenta *Timeliner*. Nesse momento, na guia *Data Sources*, após adicionar o cronograma desejado, há a opção de atualizar com *Rebuild Task Hierarchy* (Figura 14). Essa função irá importar todas as tarefas do cronograma para a guia *Tasks* do *Timeliner*.

Já na guia *Tasks* com o planejamento importado, é possível exportar todas essas atividades, mantendo as nomenclaturas para facilitar o processo de associação entre *Sets* e *Tasks* por regras, para os *Sets* da ferramenta *Manage Sets*, citada anteriormente. Para isso, basta clicar com o lado direito do *mouse* sobre o primeiro item da lista de tarefas, aquele que está no nível mais superior que minimiza as demais tarefas, em *Export to Sets*, conforme Figura 15.

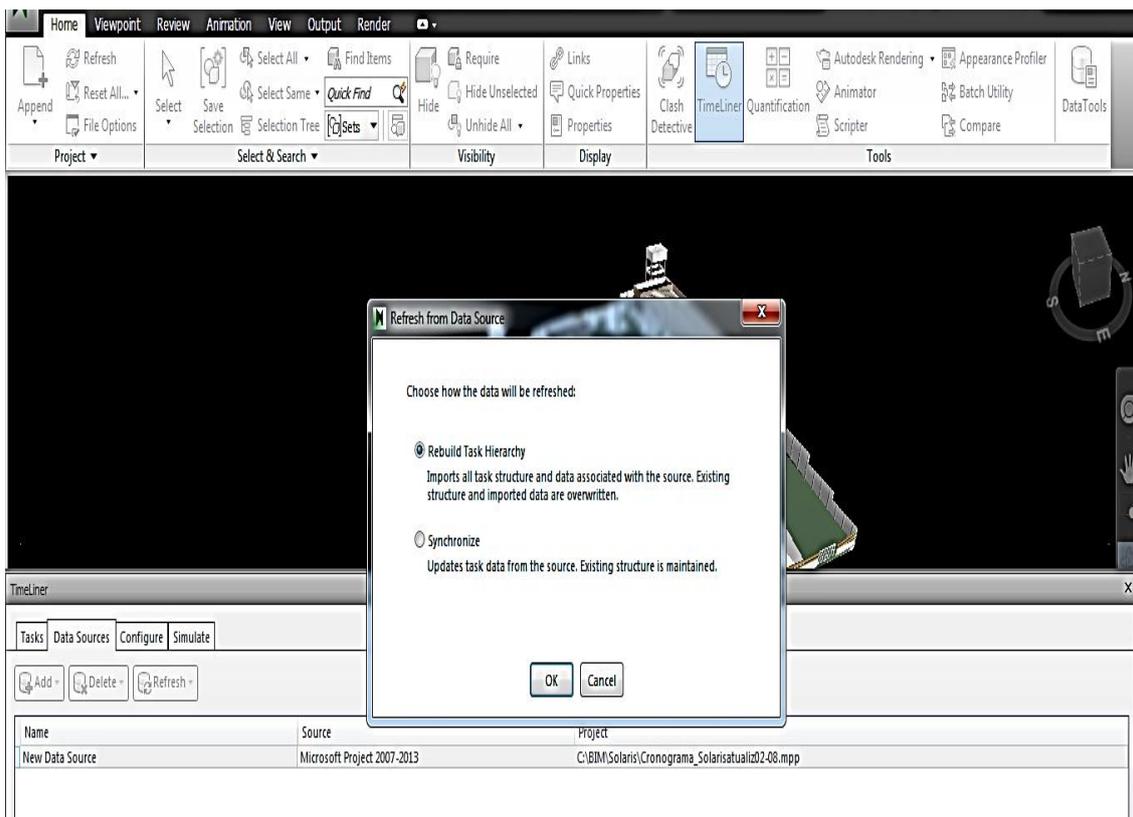


Figura 14 – Importação do Cronograma com a opção *Rebuild Task Hierarchy*

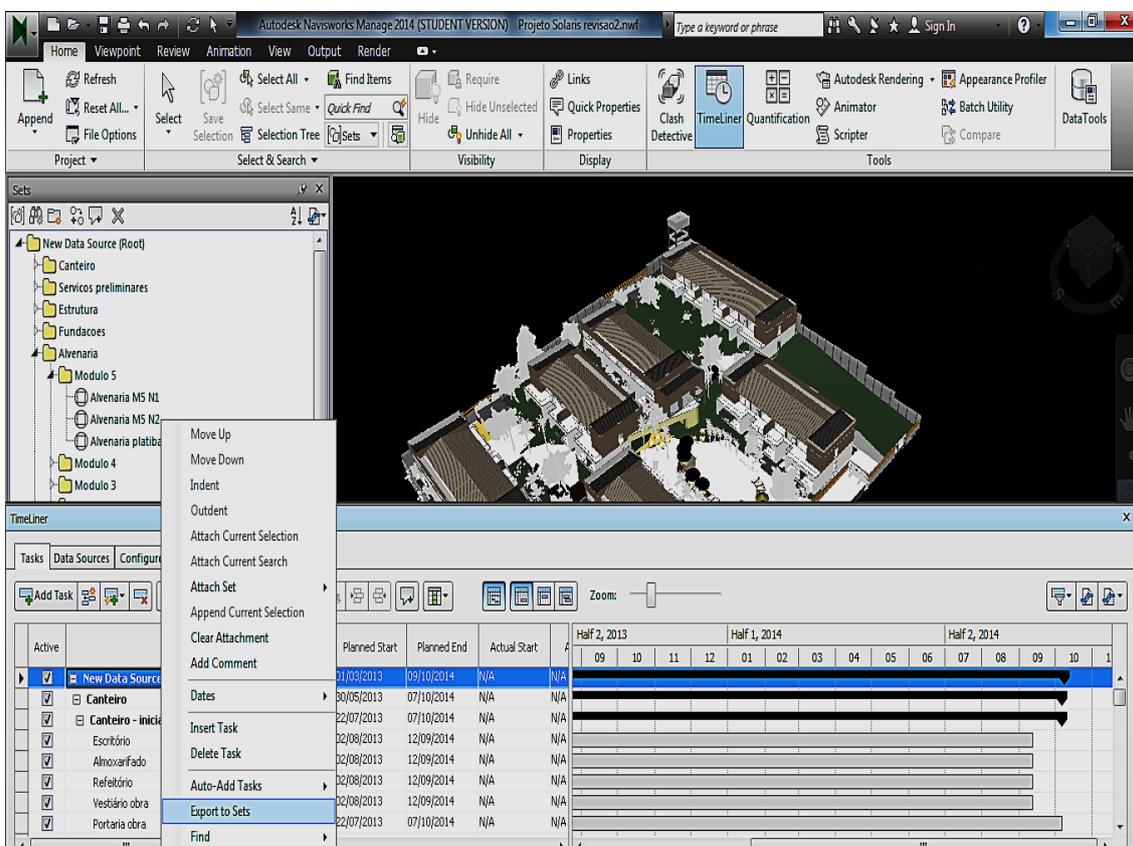


Figura 15 – Exportando as tarefas para os Sets

A criação dos conjuntos ou *sets* é uma etapa estratégica, pois são eles que irão representar as atividades programadas. Visando a redução do tempo gasto nesse processo, optou-se por usar a opção *Save Selection* apenas em atividades que foram detectadas dificuldades em encontrar, automaticamente por parâmetros, como as contenções, exemplificado na Figura 16. Os demais serviços relacionados à alvenaria, estrutura, revestimentos, pinturas, foram selecionados para formar cada *set* pela ferramenta *Find Items*, por meio de combinações de regras de propriedades como materiais que os compõem e níveis onde acontece cada atividade, automatizando esse processo, o que pode ser visualizado na Figura 17. Após a seleção dos componentes, a opção *Save Search* cria o *set* representativo em questão.

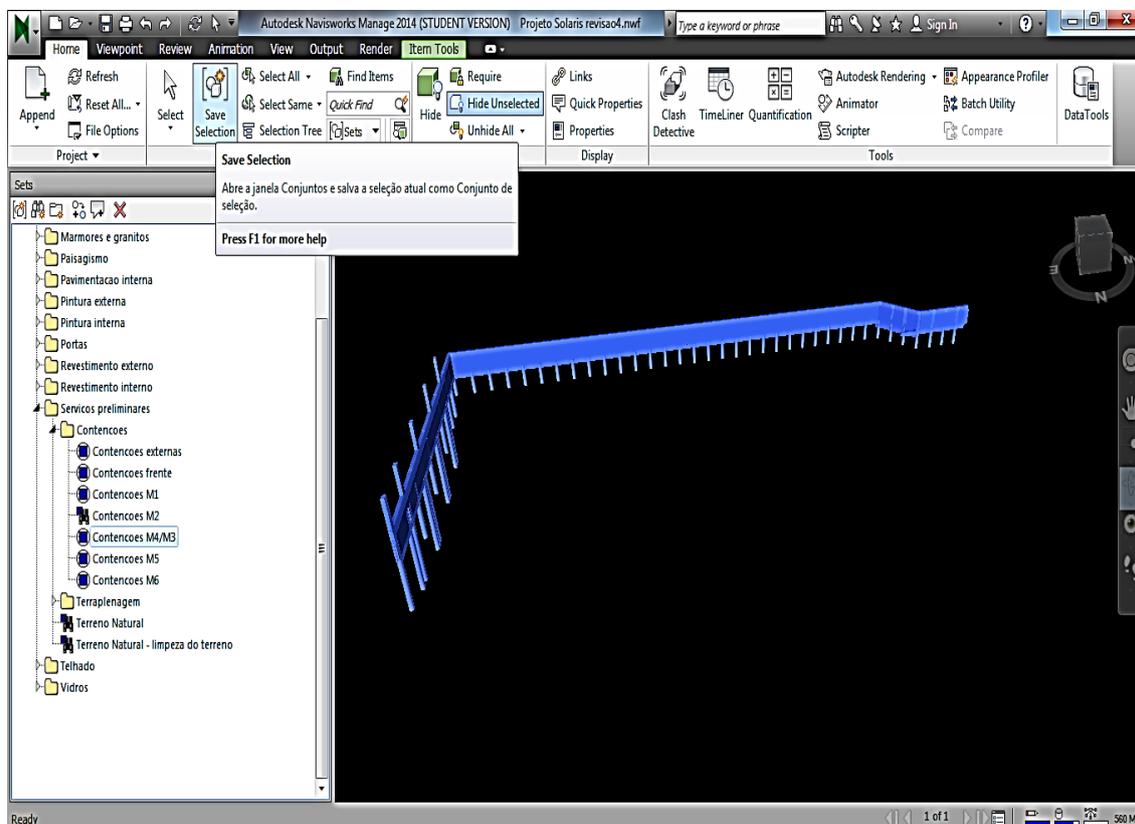


Figura 16 - Detalhe de *set* de contenção criado por *Save Selection*

Outro ponto que merece atenção na elaboração dos *sets* é quando uma atividade tem um componente geométrico com várias características, o que, nesta pesquisa, ocorreu algumas vezes. Na mesma Figura 17, pode-se verificar que o revestimento interno possui camadas com espessuras diferentes, variando entre áreas molhadas e paredes de outros cômodos, o que fez com que necessitasse combinar regras diferentes no *Find Items* para criar o *set* correto. Isso aconteceu em outros momentos do processo, como

nas atividades relacionadas com a estrutura, pois a laje do primeiro pavimento também tinha duas espessuras, portanto, reforçando a importância de se conferir os *sets* após a sua conclusão.

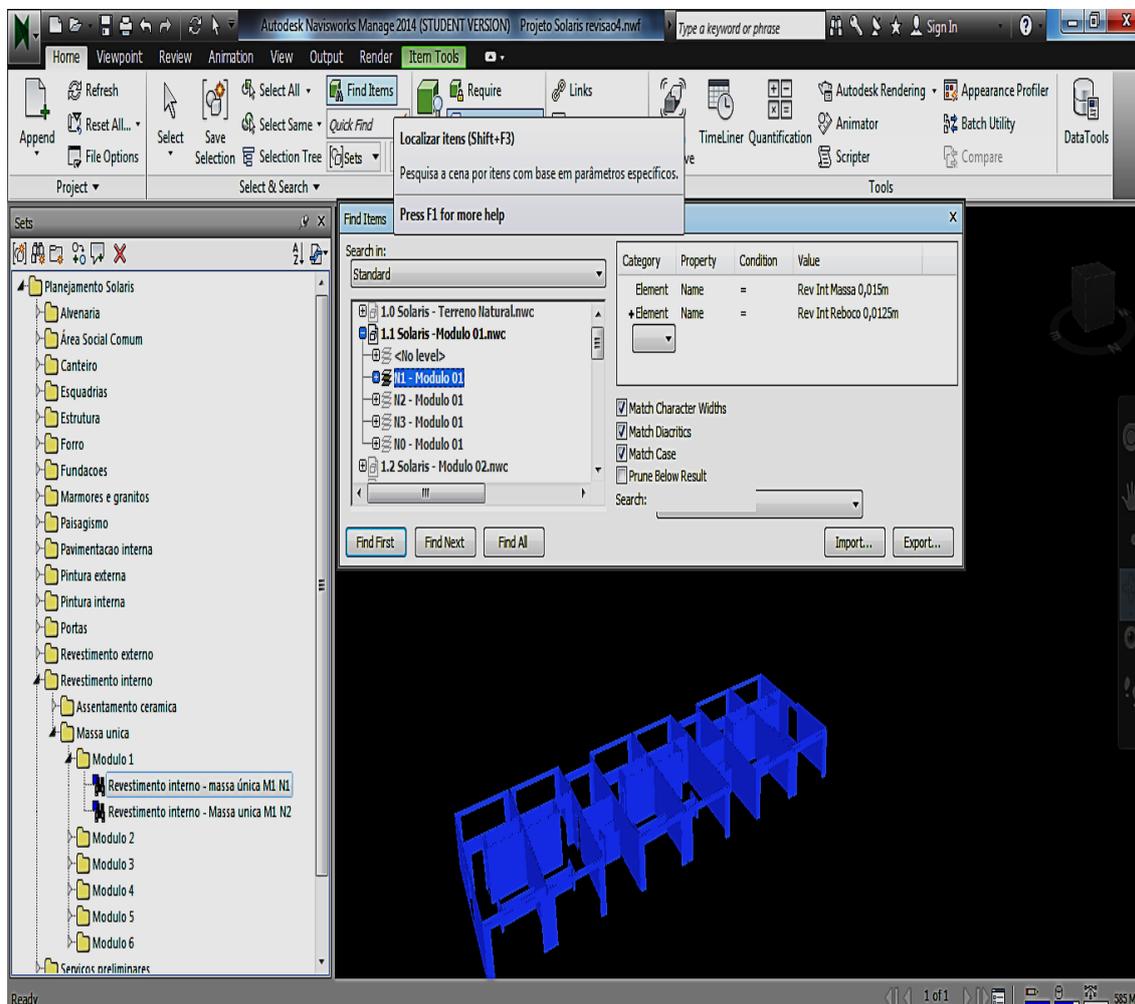


Figura 17 – Detalhe de criação de *set* de revestimento interno com *Find Items*

Neste trabalho, após a conclusão da criação dos conjuntos, estabeleceu-se uma forma de verificar se todos os elementos geométricos do projeto 3D foram alocados em todos os *sets* representativos das atividades. Para isso, na aba *Home*, em *Selection & Search*, clicando em *Sets* e na pasta que resume todos os conjuntos do modelo, todos os elementos que foram utilizados até aqui são selecionados no modelo. Então, na mesma aba *Home*, em *Visibility*, basta clicar em *Hide* para ocultar os itens que estavam selecionados e deixar, apenas, os itens do modelo não utilizados em nenhum conjunto (Figura 18). O usuário pode visualizar se existe algum elemento não utilizado e se alguma atividade não foi bem representada, alterando algum *set* ou, até mesmo, criando

mais alguma atividade para atingir seus objetivos no modelo 4D ou se o item não alocado pode, simplesmente, deixar de compor o arquivo devido a sua incompatibilidade com o que foi proposto.

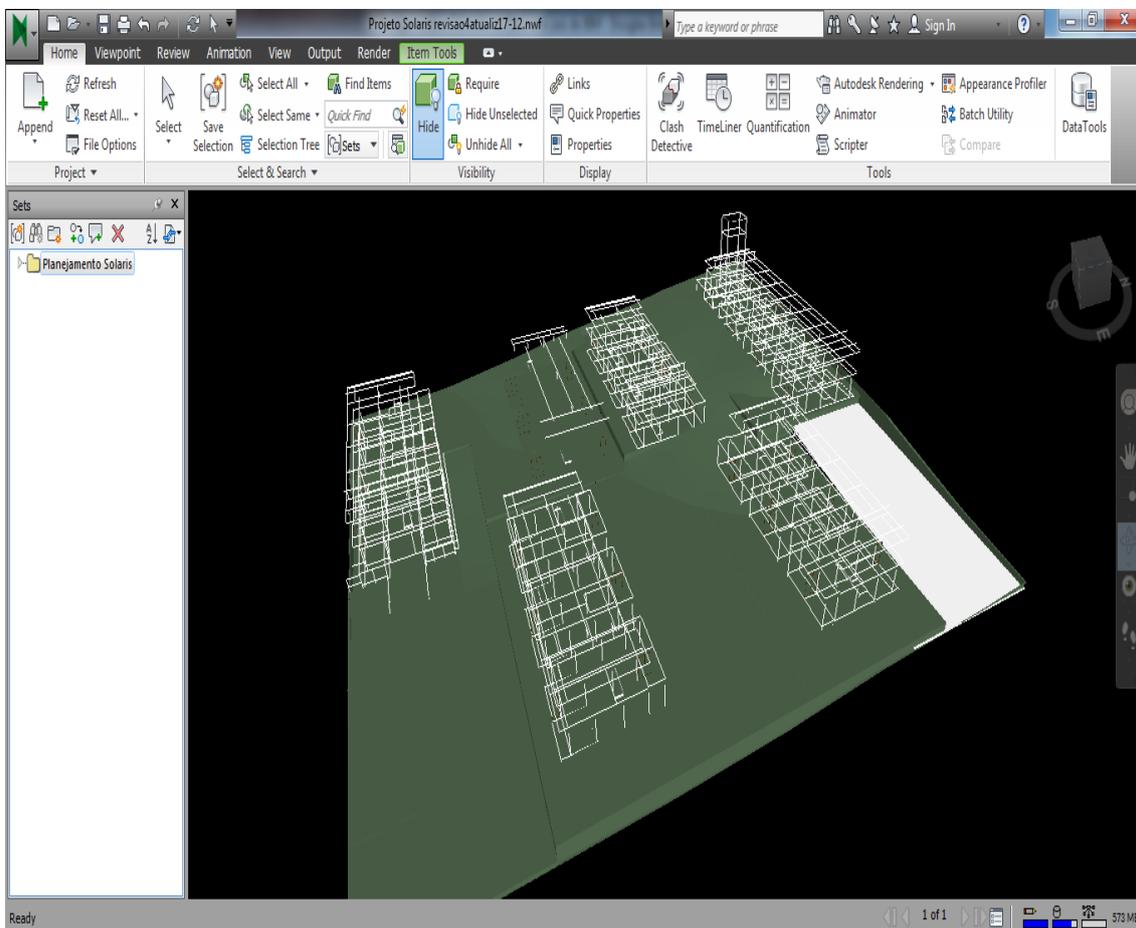


Figura 18 – Visualização dos componentes não utilizados na modelagem

Com os *sets* concluídos e verificados e o *Timeliner* com as tarefas do cronograma atualizadas resta, apenas, associar cada *set* com a sua respectiva tarefa. Já que a estrutura dos *sets* foi exportada do cronograma, a nomenclatura também é a mesma, o que facilitará, enormemente, o processo de combinação que irá gerar o modelo 4D.

Buscando uma associação rápida, foi decidido usar a ferramenta *Auto-Attach Using Rules*, a qual, simplesmente, associa com base em regras definidas pelo usuário, presente na guia *Tasks* do *Timeliner*. Neste trabalho, aplicou-se a regra de combinar tarefas e *sets* com o mesmo nome (Figura 19). Mais uma vez, cabe ao usuário verificar na coluna *Attached*, guia *Tasks* do *Timeliner* se todas as atividades do cronograma

possuem um *set*. Caso contrário, essa atividade não será representada na simulação, comprometendo o modelo 4D final.

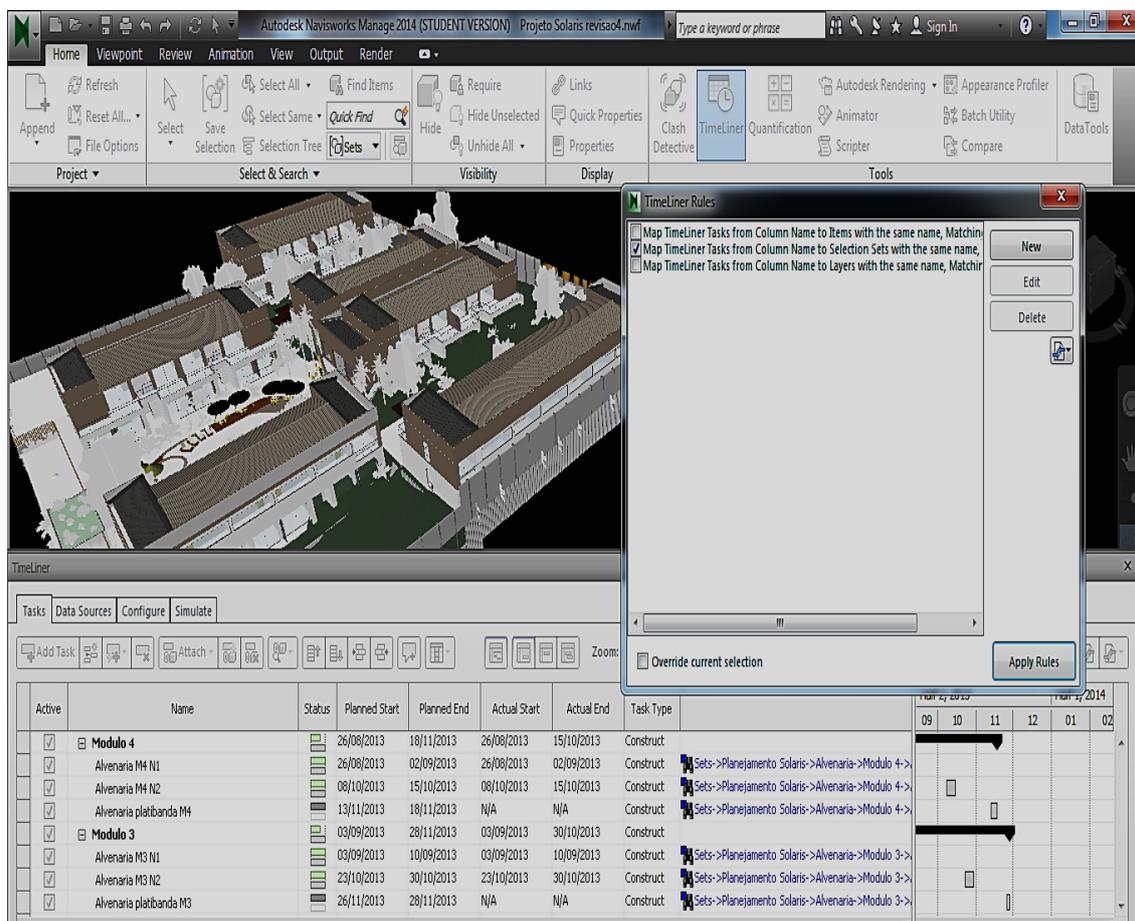


Figura 19 – Associação entre *sets* e tarefas usando regras

Antes de executar a simulação do modelo 4D é necessário configurar cada atividade entre temporária (*temporary*), permanente (*construct*) e de demolição (*demolish*). Para isso, na guia *Configure* do *Timeliner* precisa-se definir as aparências dos tipos de atividades em cada estado: inicial (*start appearance*), final (*end appearance*), adiantado (*early appearance*), atrasado (*late appearance*), início da simulação (*simulation start appearance*).

Inicialmente, definiu-se que a atividade *Construct* apareceria no estado inicial na cor azul, terminando no estado final com a aparência do modelo (*model appearance*). A mesma só apareceria na simulação quando a atividade iniciasse (*simulation start appearance* definida em nenhuma - *none*). Para chamar a atenção dos gestores no controle do cronograma estabeleceu-se que atividades com começo atrasado

apareceriam em vermelho e as com começo adiantado em cinza, cor fria, por não representarem riscos consideráveis, conforme Figura 20.

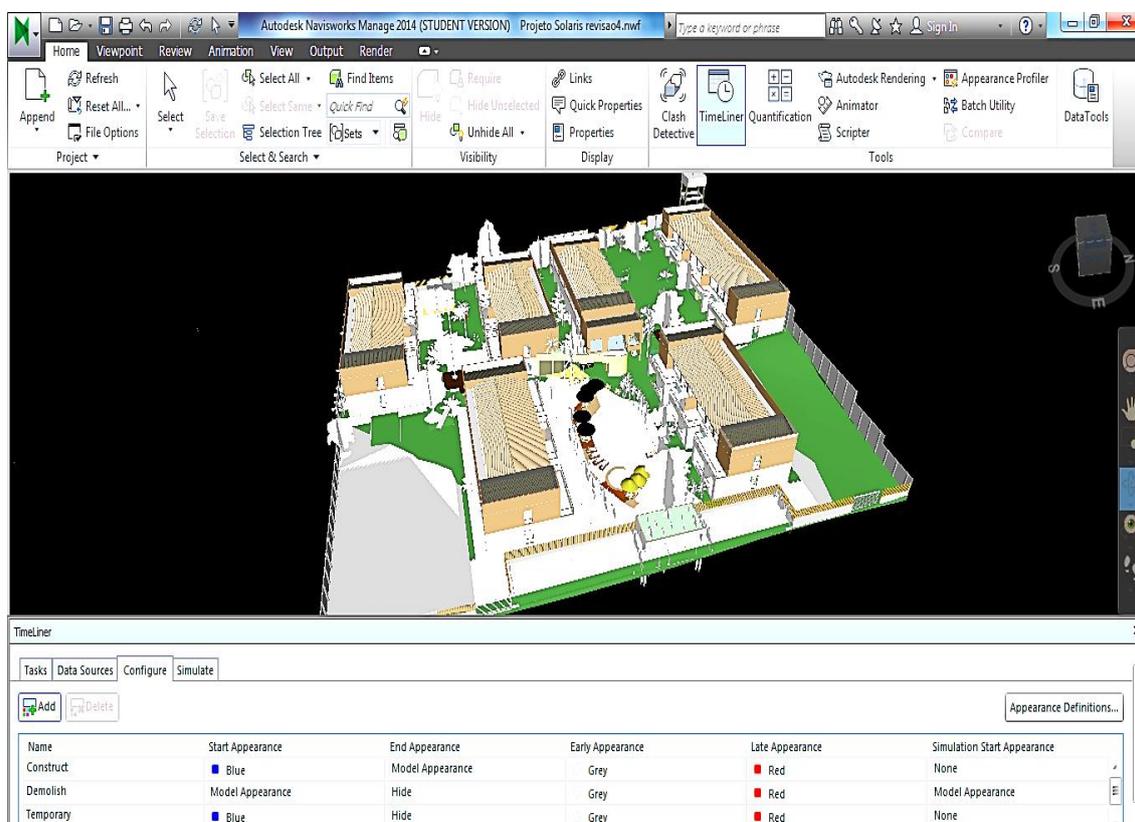


Figura 20 – Configuração das aparências dos tipos de atividade em cada estado

Após essas configurações é preciso definir o tipo de atividade de cada uma das atividades da guia *Tasks* do *Timeliner*. Naturalmente, as atividades construtivas são permanentes, enquanto terraplenagens, instalações de canteiro de obras, são temporárias e é preciso haver essa diferenciação para reproduzir a realidade na simulação.

Para acelerar essa etapa, há a possibilidade de definir a primeira atividade da coluna *Task Type* da guia *Tasks* do *Timeliner* como *Construct*, notadamente o tipo de atividade mais comum em obras, selecionar todas as atividades seguintes e, clicando com o lado direito do *mouse*, escolher a opção *Fill Down* que arrasta esse tipo de atividade para as demais atividades, o que pode ser observado na Figura 21. Com isso, o usuário apenas precisará alterar, manualmente, as atividades que serão *Temporary* e *Demolish*, diminuindo o tempo dessa etapa, principalmente em modelos de projetos complexos com muitas atividades.

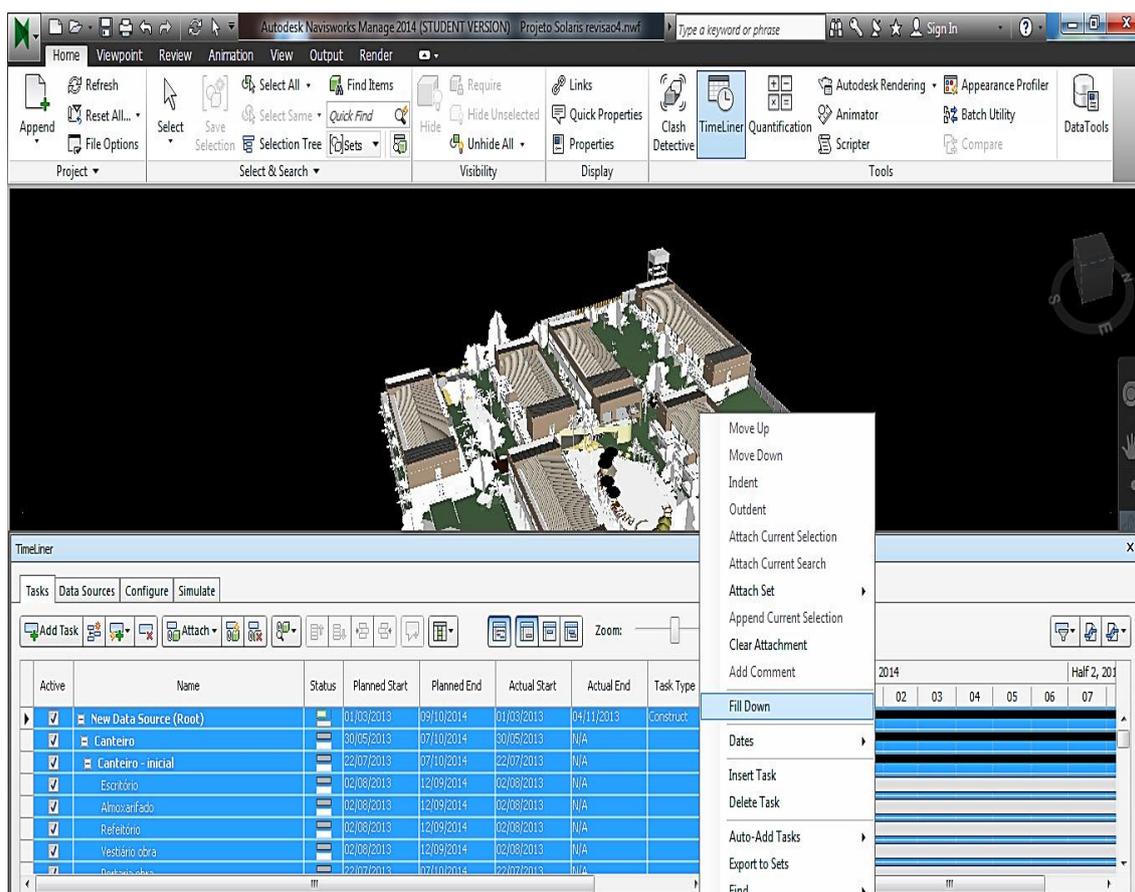


Figura 21 – Configurando as atividades com os tipos de representação

5.3.3. Modelo 4D para Análise do Planejamento

Uma das aplicações da modelagem 4D realizadas nesse trabalho foi a visualização da simulação da construção e a sua aplicação ao planejamento da obra. O grande diferencial da modelagem 4D em relação as formas mais conhecidas de se planejar é, justamente, a possibilidade de visualização da estratégia do plano. Diferentemente dos cronogramas tradicionais, os quais indicam, por exemplo, em que pavimento e módulo uma equipe está trabalhando, o modelo 4D fornece também a dimensão espacial, o deslocamento das equipes e a localização dentro do contexto global, analisando melhores sequenciamentos que combinem esses deslocamentos com o *layout* do canteiro.

Algumas decisões influenciaram no planejamento e, conseqüentemente, no modelo que estava sendo gerado para validar essas escolhas. Decidiu-se que a obra iria executar os revestimentos internos e externos com argamassa projetada e contrapiso com argamassa

autonivelante, particularmente conhecidos por produtividades elevadas em relação às técnicas tradicionais, portanto, reduzindo a duração total dessas atividades. Com isso, a obra pretendia retardar o início dos revestimentos e das atividades subsequentes, concentrando os esforços, inicialmente, na fundação, estrutura e alvenaria dos módulos.

A sequência de Figuras 22 a 26 a seguir, evidenciam as particularidades no planejamento da obra e apresentam a simulação da execução em certas datas, representando as atividades que ocorrem em cada módulo, os elementos presentes do canteiro e sua posição. A limpeza do terreno iniciou em Março de 2013, as fundações em Junho e a estrutura com alvenaria foi finalizada em Janeiro de 2014, dez meses após o começo em um cronograma previsto de dezoito meses. Outras atividades como revestimentos e contrapisos puderam ser adiadas ao máximo, conforme justificado anteriormente, possibilitando um maior controle gerencial sobre as equipes, menos conflitos de espaço e menos problemas de ritmo de execução das diferentes atividades.

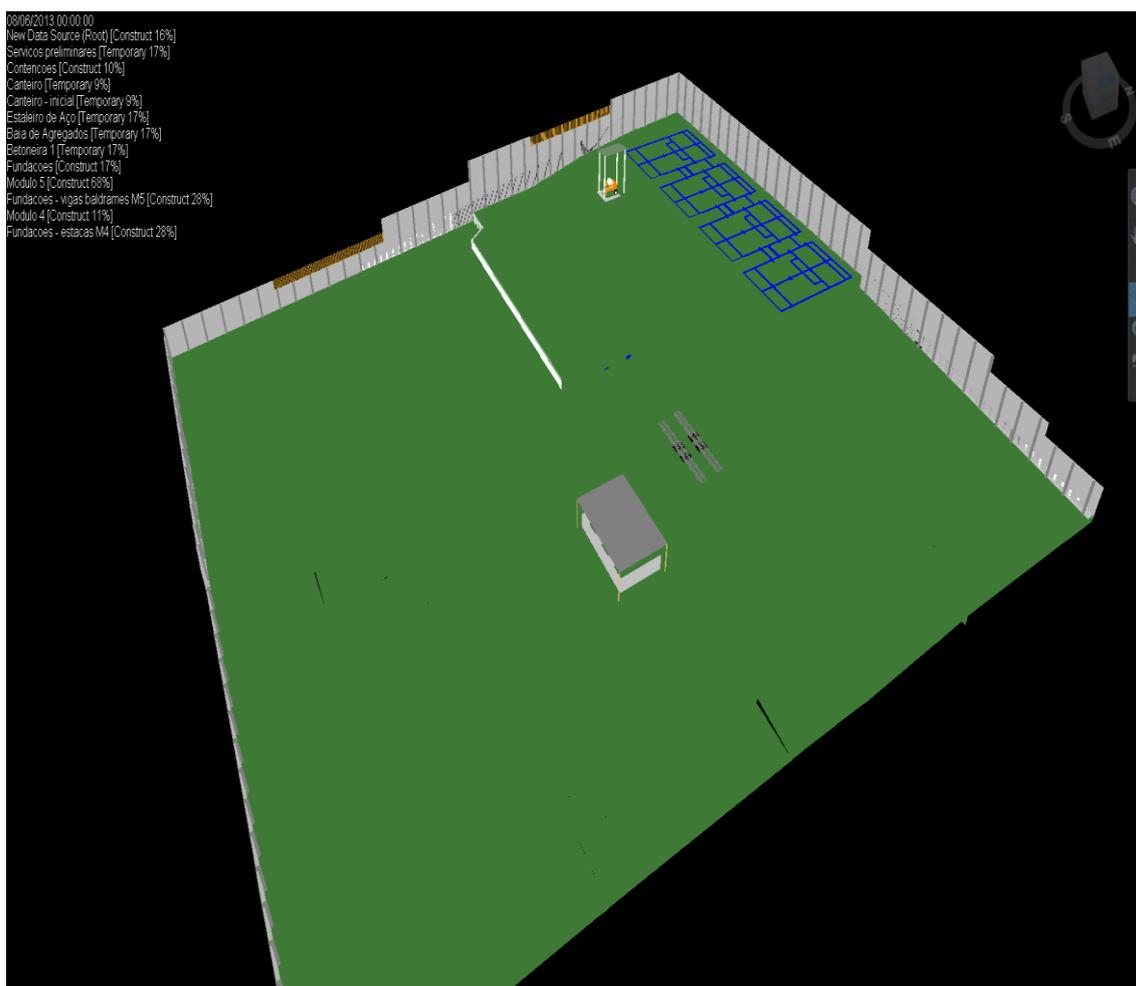


Figura 22 – Planejamento em 08/06/13: fundações e canteiro

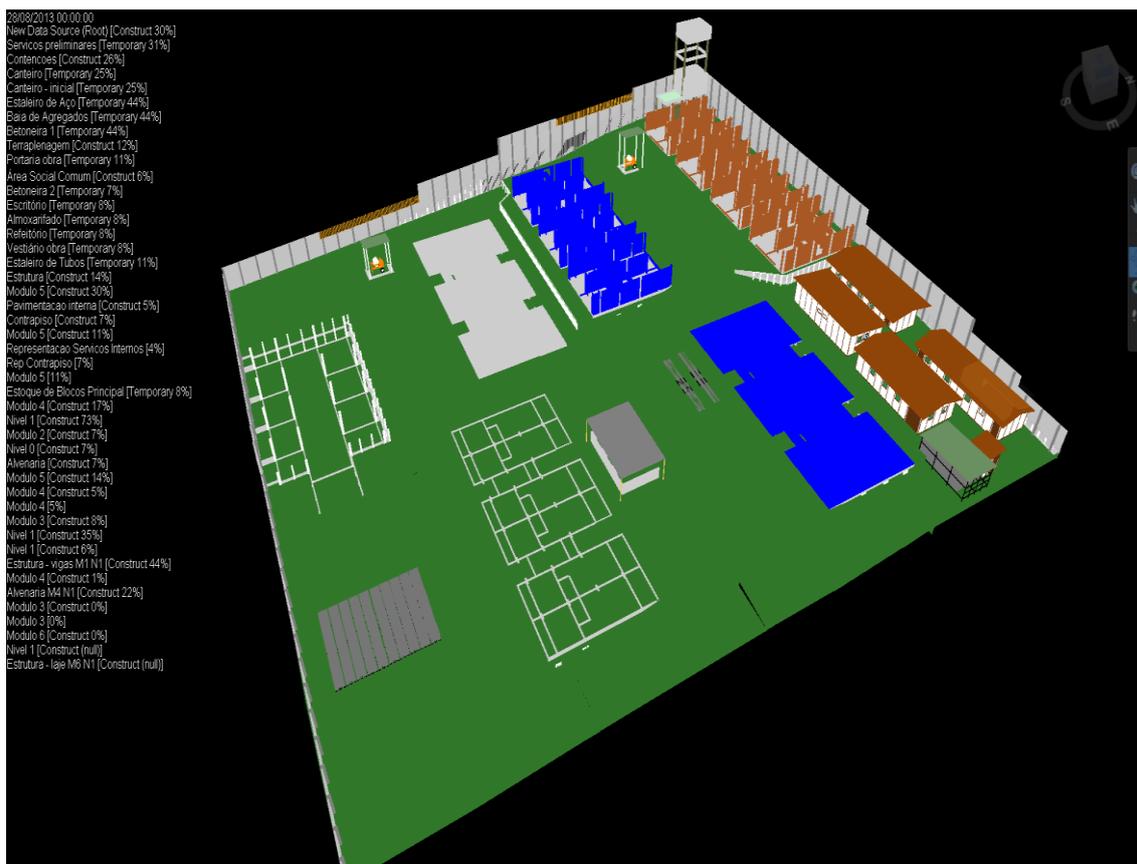


Figura 23 – Planejamento em 28/08/13: estrutura, alvenaria e canteiro

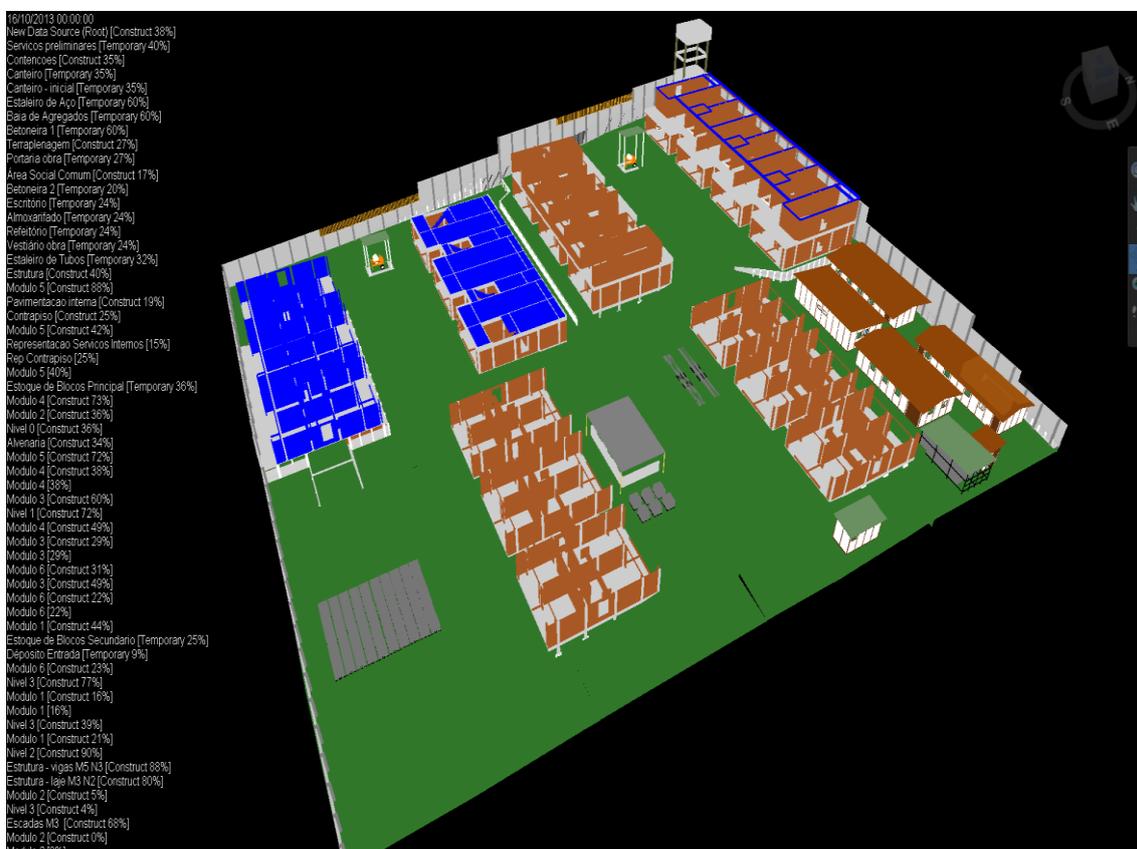


Figura 24 – Planejamento em 16/10/13: estrutura, alvenaria e canteiro

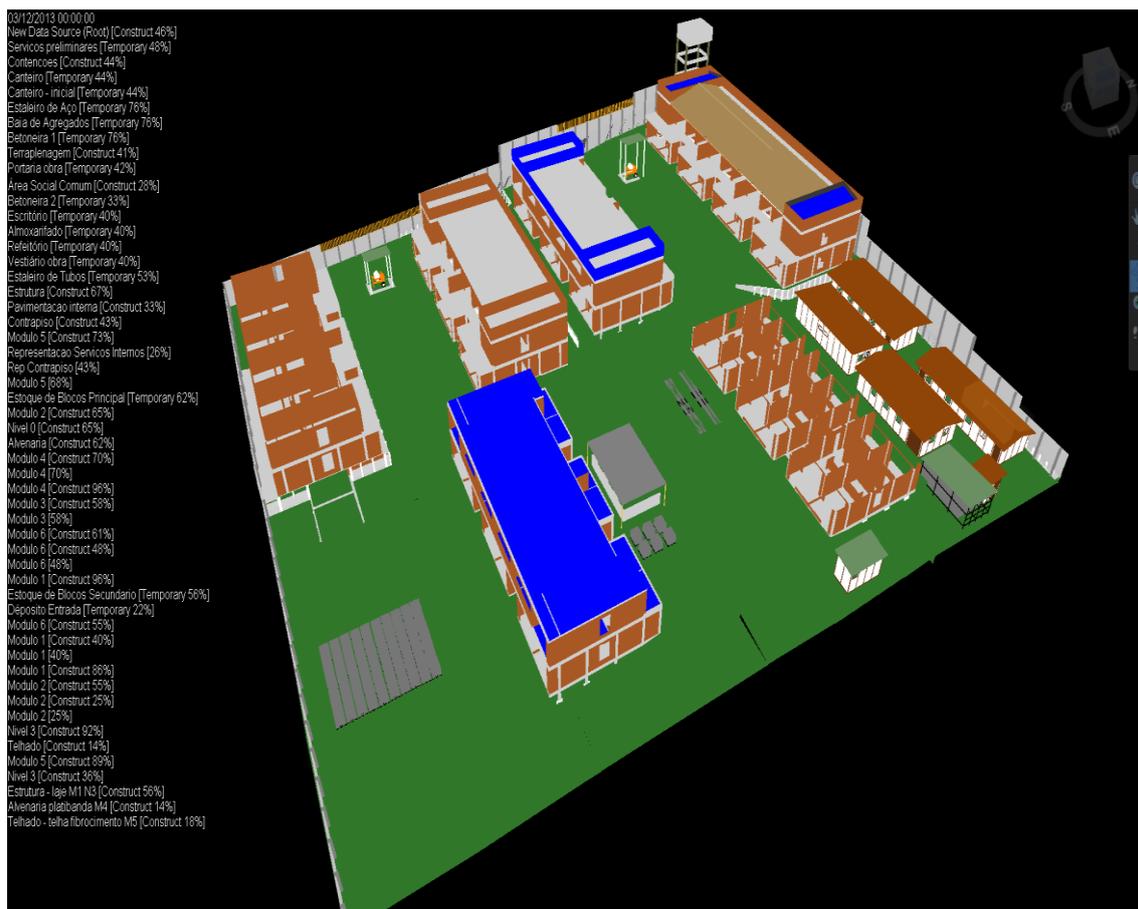


Figura 25 – Planejado em 03/12/13: estrutura, alvenaria, telhado e canteiro

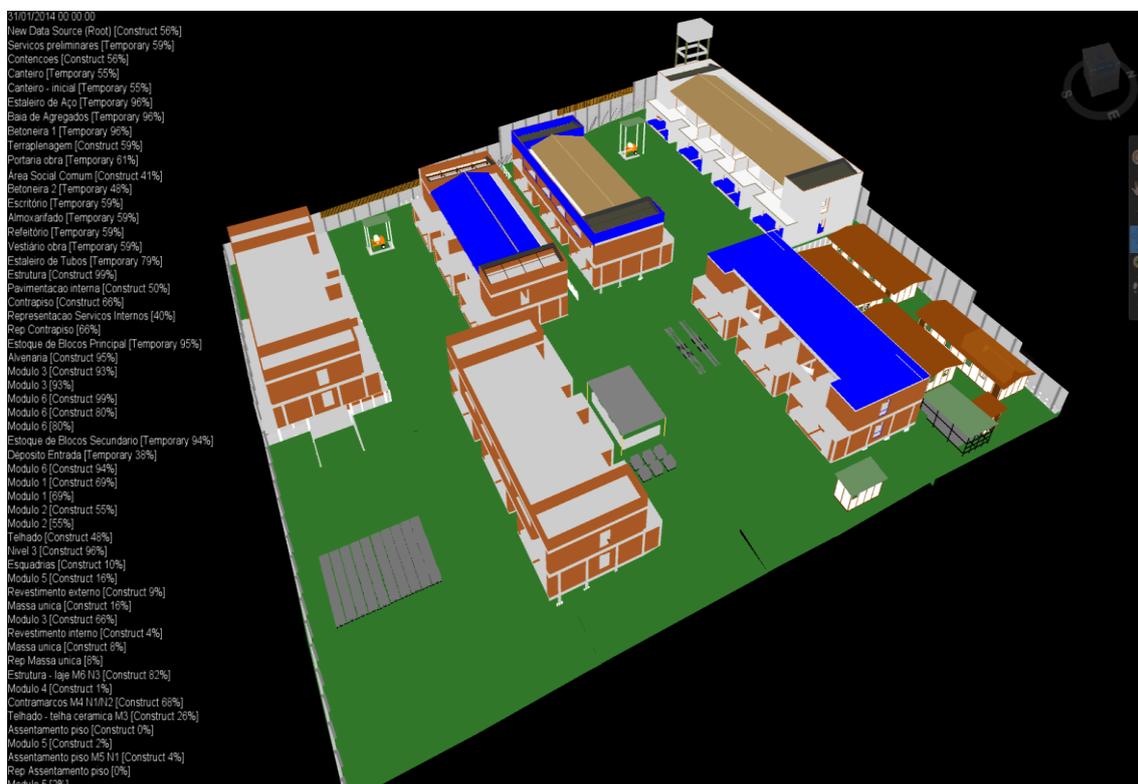


Figura 26 – Planejado em 31/01/14: estrutura, telhados, revestimentos e canteiro

Os elementos em azul demonstram as atividades que estão acontecendo no planejado. Optou-se por não usar efeitos de transparência para não confundir os usuários e selecionou-se a cor azul para representar as atividades planejadas por pertencer a escala de cores frias, conforme pesquisado na revisão bibliográfica.

Ainda nas Figuras 22 a 26, há o predomínio de atividades que não ocorrem internamente, o que facilita a visualização, o contrário de quando estão acontecendo muitas atividades internas diferentes na obra ou em um mesmo módulo. Nessa última situação, perceberam-se dificuldades nos usuários para diferenciá-las no modelo 4D.

A Figura 27 representa a execução simultânea de serviços de assentamento de cerâmica interna e na fachada do Módulo 5, revestimento de argamassa externa do Módulo 6, madeiramento do telhado do Módulo 1, assentamento de cerâmica interna e pintura externa do Módulo 4. Pode-se observar a dificuldade encontrada para a visualização eficiente em virtude da utilização de apenas uma cor para representar todas as atividades, especialmente as internas, as quais muitas vezes são encobertas por outros elementos do modelo.

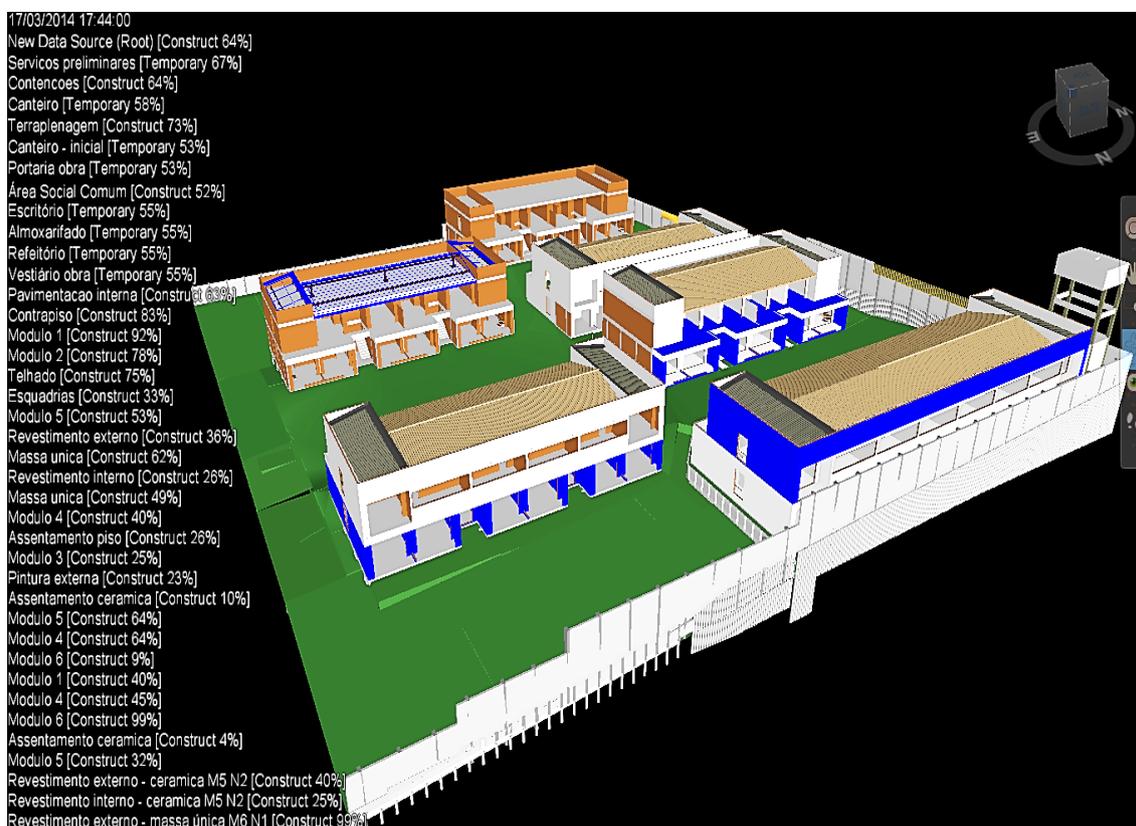


Figura 27 – Dificuldades na visualização de muitas atividades ao mesmo tempo

5.3.4. Representação das Atividades Internas com Cores

A partir dos entraves encontrados na representação das atividades internas da maneira inicial, desenvolveu-se um modelo 4D utilizando cores definidas para exibir cada tipo de atividade interna, com a exigência desta representação aparecer na fachada de cada módulo para facilitar a boa visualização, já que muitos elementos internos são encobertos por outros externos.

Cogitou-se criar um *set* por pavimento de todos os elementos externos da fachada como cerâmica e pintura para representar cada atividade interna que ocorresse, variando apenas a cor no momento da exibição. Entretanto, essa estratégia esbarrou na possibilidade de em um mesmo pavimento de um módulo estar acontecendo uma atividade interna e de fachada, o que inviabilizaria essa forma de representação.

Outra barreira em implantar esse artifício é que as atividades internas teriam que ser definidas como temporárias. Caso elas fossem consideradas permanentes, o que de fato é verdade, elas terminariam com a aparência do modelo, nesse caso seriam os elementos de fachada como pintura e cerâmica externas. O que aconteceria é que o modelo 4D apresentaria a fachada completamente pronta após a primeira atividade interna terminar, entretanto, essas atividades externas ainda não teriam realmente acontecido, alterando a lógica correta do modelo 4D.

Foi preciso buscar uma alternativa flexível para exibir, de maneira clara, as atividades internas e ao mesmo tempo não impedir a exibição normal das atividades externas. Para isso, foram criados elementos geométricos no *Revit*® como faixas quase transparentes próximas a cada pavimento de cada módulo com pequena altura (Figura 28), de modo que não atrapalhassem a visualização das fachadas. Esses elementos foram adicionados ao modelo 4D.

Outra condição necessária é que mesmo usando esses elementos externos para representar as atividades internas, era necessário que o modelo 4D, após concluída cada atividade interna, incorporasse os respectivos elementos, ou seja, finalizada a representação da pintura interna, as paredes internas deveriam estar realmente pintadas no modelo.

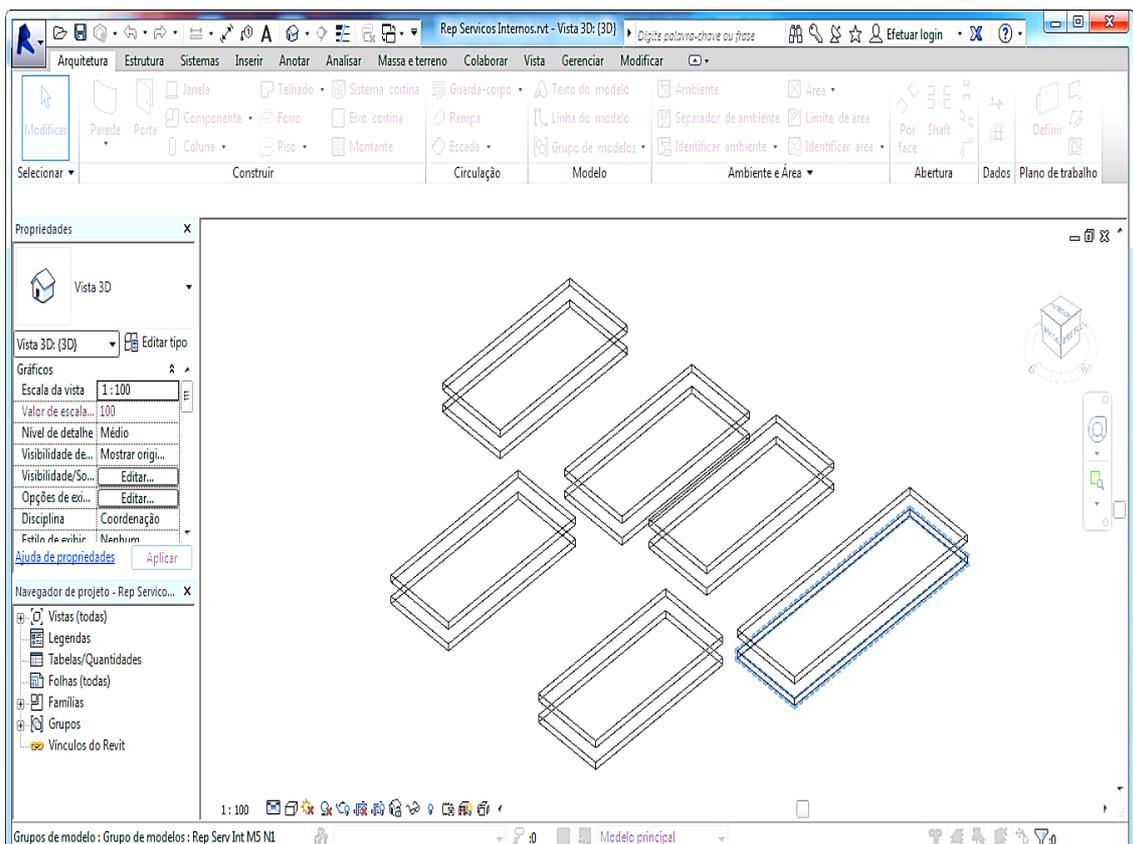


Figura 28 – Criação de elementos para representação de atividades internas

Para isso, o planejamento no *Microsoft Project*® deveria ter as tarefas das atividades internas, como inicialmente, e as tarefas das representações das atividades internas, ambas com as mesmas datas, durações e precedências. Mais tarde, essa tática seria essencial na criação de dois *sets* para cada tarefa de uma atividade interna, um para os elementos geométricos da atividade interna (paredes de pintura interna, tetos dos forros, etc.) e outro para os elementos da representação da atividade interna (faixa em torno do pavimento de cada módulo referente).

Neste trabalho, representaram-se sete atividades internas por meio dessa técnica com cores diferentes. Já no *Navisworks*®, foram criados os *sets* das representações das atividades internas para gerar a nova simulação. Na Figura 29, visualiza-se como uma atividade de assentamento de piso em um pavimento aparecerá no modelo 4D, unindo o *set* original com o criado para a representação da atividade interna. Ambos serão configurados para que apareçam juntos com a mesma cor, sendo que o externo é apenas um agente facilitador da visualização, pois é temporário para cada atividade.

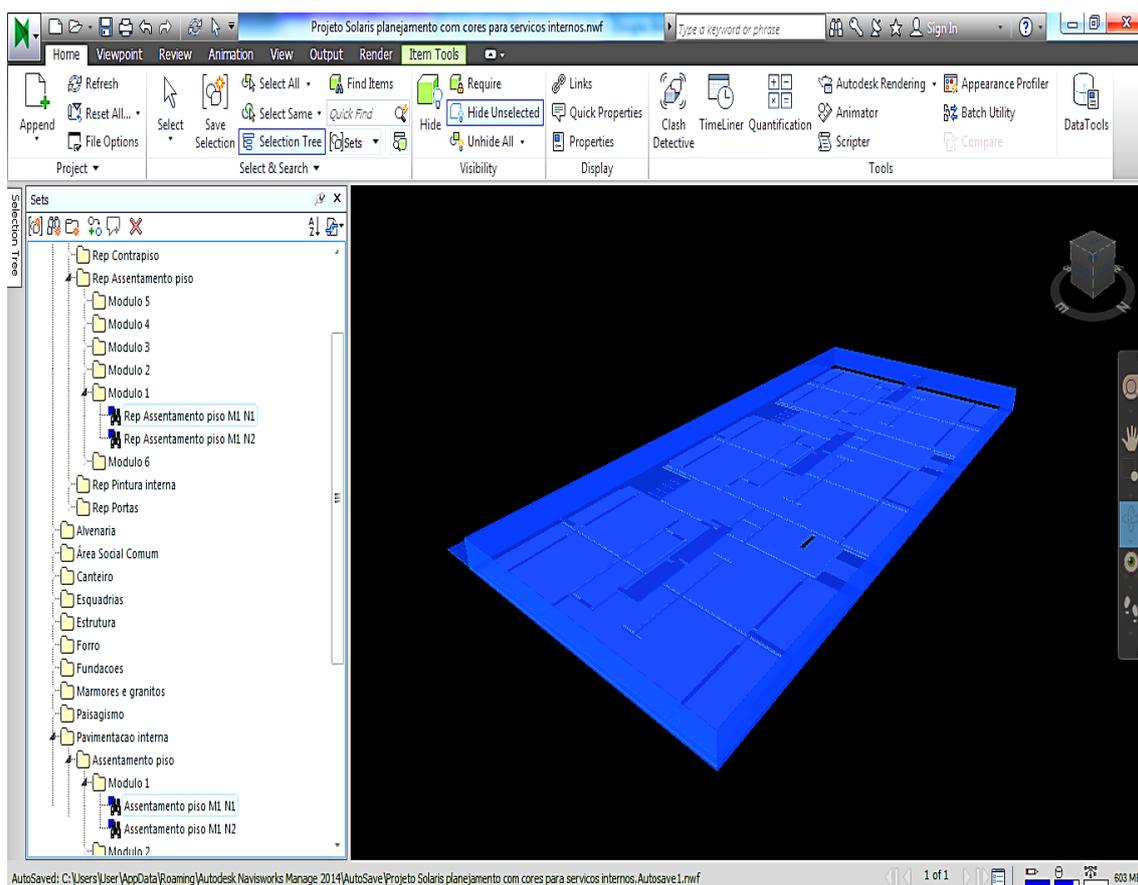


Figura 29 – União dos sets de assentamento de piso

Após a criação dos sets, assim como anteriormente, foi preciso associá-los com as respectivas tarefas. Essa associação seguiu a mesma lógica explicada no item 5.3.2., a diferença para esse novo modelo foi a criação de outros tipos de tarefas na guia *Configure* do *Timeliner* para diferenciar as cores de cada atividade interna a ser representada. Na Figura 30, visualizam-se todos os novos tipos de atividades criadas e as cores de cada uma. Percebe-se que as atividades internas como o Forro, por exemplo, permanecem sendo permanentes, tendo sua aparência final como a do modelo, enquanto as representações das atividades internas seguem a lógica de uma tarefa temporária com aparência final escondida. Essa diferenciação ocorre para que no fim de cada atividade os elementos geométricos reais da tarefa apresentem-se visíveis internamente e o elemento externo que não faz parte do projeto desapareça. Já na Figura 31, é possível na guia *Tasks* do *Timeliner* conferir as atividades internas associadas a cada tipo de tarefa criada para viabilizar um modelo 4D com essas variações.

TimeLiner

Tasks Data Sources Configure Simulate

Add Delete Appearance Definitions...

Name	Start Appearance	End Appearance	Early Appearance	Late Appearance	Simulation Start Appearance
Construct	■ Azul	Model Appearance	■ Grey	■ Red	None
Demolish	Model Appearance	Hide	■ Grey	■ Red	Model Appearance
Temporary	■ Azul	Hide	■ Grey	■ Red	None
Representacao Forro	■ Purple	Hide	■ Purple Claro	■ Purple Escuro	None
Representacao Piso	■ Amarelo	Hide	■ Amarelo Claro	■ Amarelo Escuro	None
Representacao Contrapiso	■ Laranja	Hide	■ Laranja Claro	■ Laranja Escuro	None
Representacao Pintura Interna	■ Azul Piscina	Hide	■ Azul Piscina Claro	■ Azul Piscina Escuro	None
Representacao Portas	■ Rosa	Hide	■ Rosa Claro	■ Rosa Escuro	None
Representacao Ceramica Azulejo	■ Cinza	Hide	■ Cinza Claro	■ Cinza Escuro	None
Representacao Massa Unica Interna	■ Creme	Hide	■ Creme Claro	■ Creme Escuro	None
Forro	■ Purple	Model Appearance	■ Purple Claro	■ Purple Escuro	None
Piso	■ Amarelo	Model Appearance	■ Amarelo Claro	■ Amarelo Escuro	None
Contrapiso	■ Laranja	Model Appearance	■ Laranja Claro	■ Laranja Escuro	None
Pintura Interna	■ Azul Piscina	Model Appearance	■ Azul Piscina Claro	■ Azul Piscina Escuro	None
Portas	■ Rosa	Model Appearance	■ Rosa Claro	■ Rosa Escuro	None
Ceramica Azulejo	■ Cinza	Model Appearance	■ Cinza Claro	■ Cinza Escuro	None
Massa Unica Interna	■ Creme	Model Appearance	■ Creme Claro	■ Creme Escuro	None

Figura 30 – Criação de novos tipos de tarefas

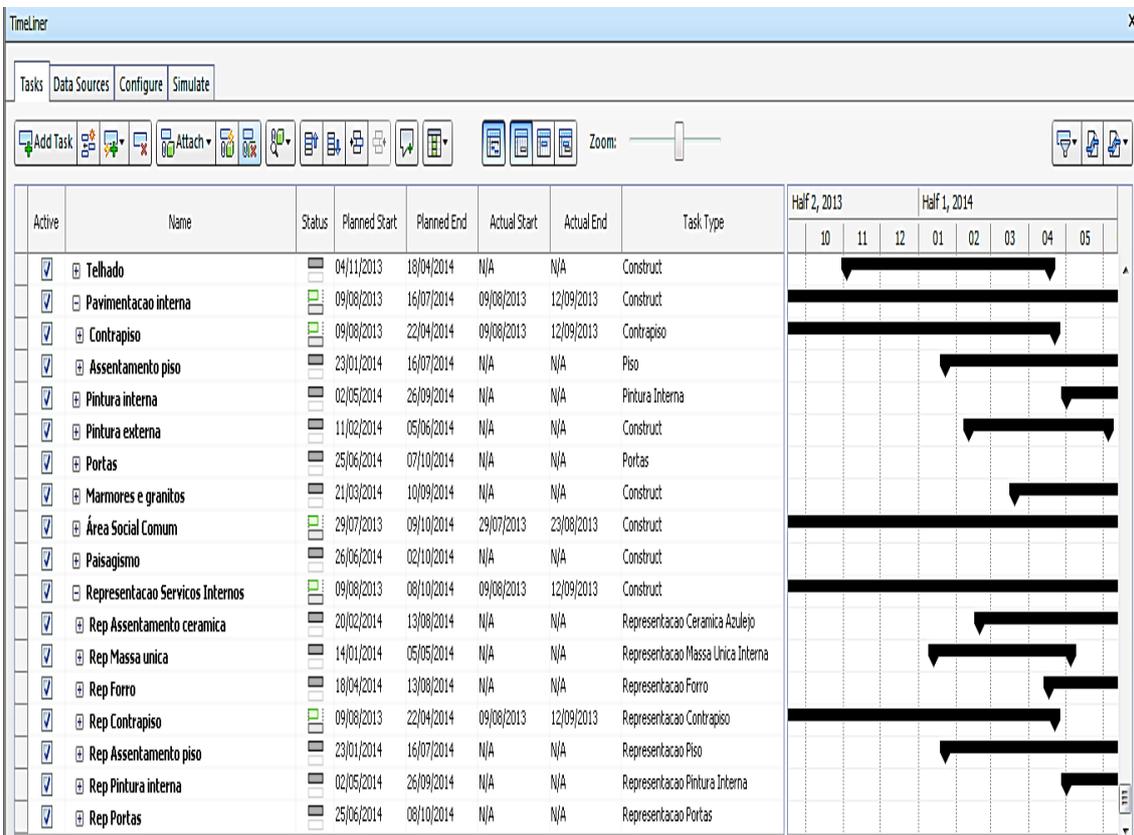


Figura 31 – Associação das atividades com os novos tipos de tarefas criados

Com essas alterações realizadas para possibilitar a representação das atividades internas com diferentes cores no modelo 4D foi possível simular o planejamento do empreendimento e analisar se a interpretação do cronograma se tornou mais fácil aos usuários.

Para facilitar a visualização e o entendimento dos envolvidos com as cores escolhidas para cada tipo de atividade interna, optou-se por criar uma legenda da representação no formato de uma figura e abri-la junto com a simulação, conforme Figura 32. Na data selecionada, as seguintes atividades internas estão ocorrendo: assentamento de azulejo no Módulo 3 (representado na cor cinza), assentamento de piso no Módulo 6 (amarelo), revestimento de argamassa no Módulo 2 (creme), forro no Módulo 5 (roxo) e as seguintes atividades de fachadas: assentamento de cerâmica no Módulo 3 e pintura no Módulo 6, representadas na cor azul como no modelo inicial.



Figura 32 – Simulação com as atividades internas representadas por cores

A representação criada, para diferenciar as atividades internas das demais, contribuiu para deixar os usuários com maior capacidade de interpretação das informações que surgiram ao longo do tempo. Essa percepção se tornou mais evidente nos períodos em que a obra possuía diversas atividades, externas e internas, acontecendo simultaneamente em vários módulos. Visualiza-se, na Figura 33, forro acontecendo no Módulo 2 (roxo), vidros no Módulo 1 (azul), pintura interna no Módulo 6 (azul piscina), portas no Módulo 3 (rosa) e piscina na área externa (azul).



Figura 33 – Simulação com atividades internas ocorrendo simultaneamente

5.3.5. Modelo 4D para Acompanhamento do Avanço Físico

Outro objetivo estabelecido neste trabalho foi a aplicação da modelagem 4D para acompanhamento do avanço físico de um projeto, transformando-a em uma ferramenta de controle importante para os construtores e gestores. Como a obra estudada pôde ser acompanhada desde o seu início, durante cerca de nove meses, a comparação entre o planejado e o executado foi útil para verificar se o plano estava sendo cumprido de acordo com o estabelecido e contribuir para o replanejamento quando necessário.

Para possibilitar o controle do projeto é preciso que o cronograma seja atualizado com as datas reais das atividades planejadas. Isso foi feito no próprio *Microsoft Project®* em visitas quinzenais ao empreendimento com a coleta de dados em campo e registrados pela equipe da obra. Para atualizar o cronograma da guia *Tasks* do *Timeliner*, como na Figura 34, com as datas reais de início e fim basta sincronizar as informações na guia *Data Sources*.

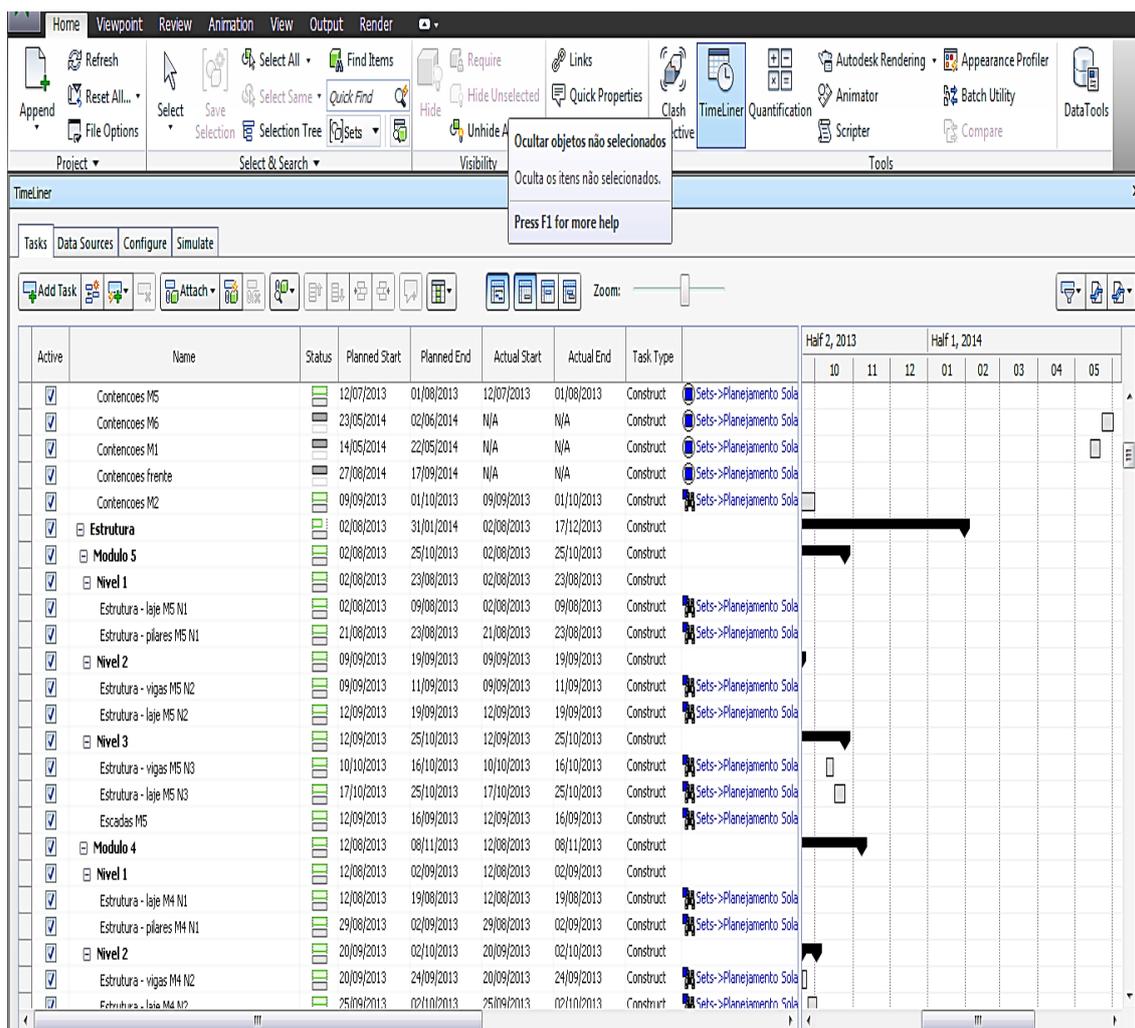


Figura 34 – Cronograma com datas reais para controle

Com isso, na guia *Simulate* é possível visualizar as discrepâncias do executado em relação ao planejado por diferenciação de cores. Na Figura 35, a execução da platibanda no Módulo 1 encontra-se em atraso e é representada na cor vermelha selecionada para esse fim, enquanto as atividades de madeiramento no Módulo 4 e as vigas da estrutura no Módulo 2 aparecem na cor fria azul, indicando que acontecem conforme a data prevista

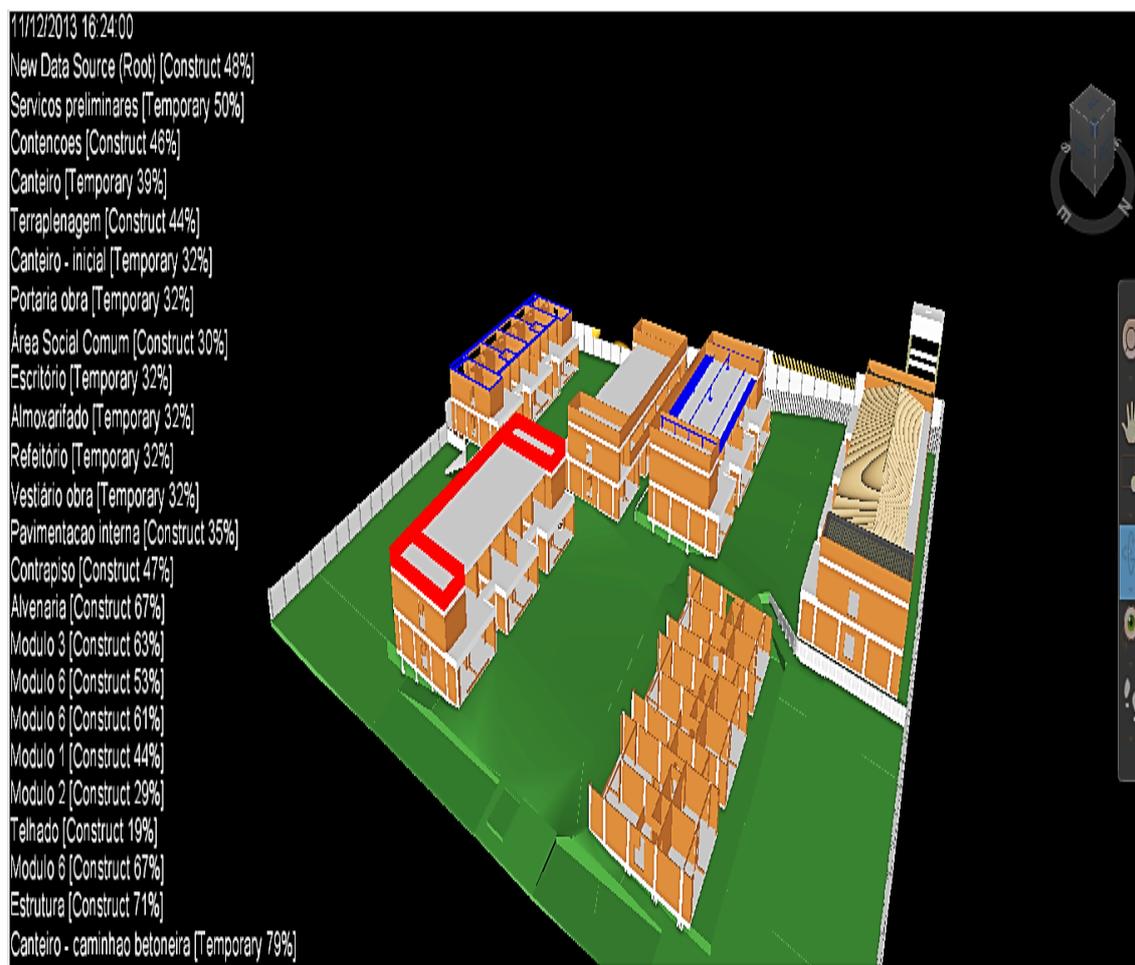


Figura 35– Acompanhamento do avanço físico com cores

No controle representado por diferenciação de cores para indicação do avanço físico da obra foram notadas, mais uma vez, algumas dificuldades na análise de muitas atividades ao mesmo tempo em uma mesma tela. A partir dessa demanda, buscaram-se estratégias para visualizar o planejado x real lado a lado por duas telas. A solução encontrada foi abrir dois arquivos e dividir a tela ao meio verticalmente, configurando uma simulação para exibir o Planejado e a outra o Real, diferentemente da forma anterior de acompanhamento na qual era selecionado o Planejado contra Real em uma mesma tela, na opção *Simulation Settings* da guia *Simulate* do *Timeliner*, conforme Figura 36.

Para o acompanhamento do avanço físico com duas telas não é possível a simulação de ambas as telas ao mesmo tempo, sendo realizado o acompanhamento por análises de datas específicas. Para isso, define-se cada tela para mostrar o empreendimento numa mesma data e, visualmente, por meio de duas imagens, o usuário identifica as

discrepâncias entre o planejado e o real com mais precisão e tempo de análise para identificar possíveis causas e gargalos.

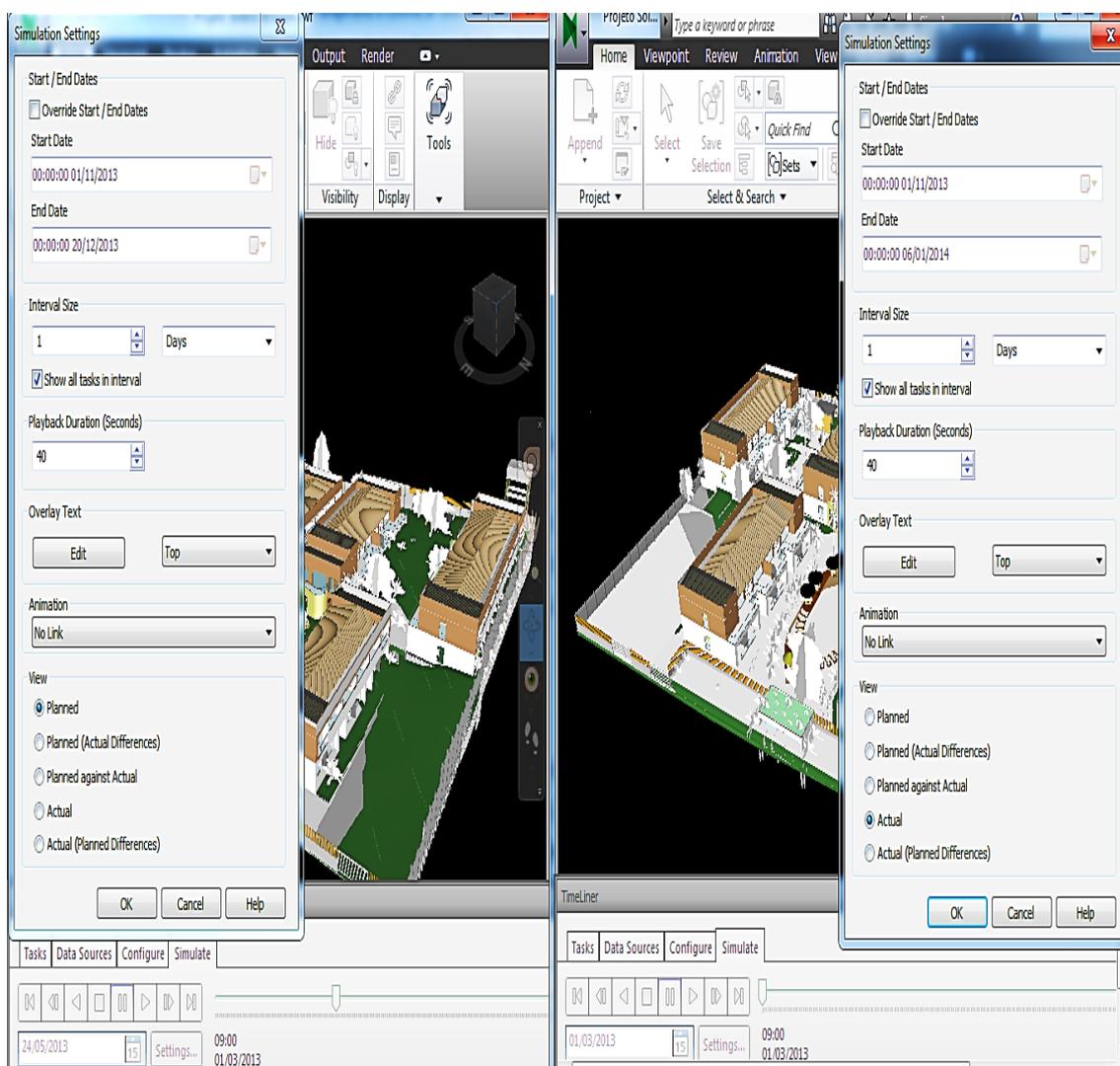


Figura 36 – Configurando as simulações para Planejado x Real

Na Figura 37, do lado esquerdo têm-se o planejado e do lado direito o real na mesma data. O usuário pode constatar que a colocação das telhas no Módulo 4 estão atrasadas, as lajes superiores dos Módulos 2 e 6 ainda não foram concretadas e as platibandas dos Módulos 3 e 1 não foram executadas como o planejamento inicial previa. O gestor pode ter essa informação sempre que quiser, de acordo com o intervalo de controle definido para atualização do planejamento e realizar avaliações do impacto de alterações no avanço físico em datas futuras do projeto.

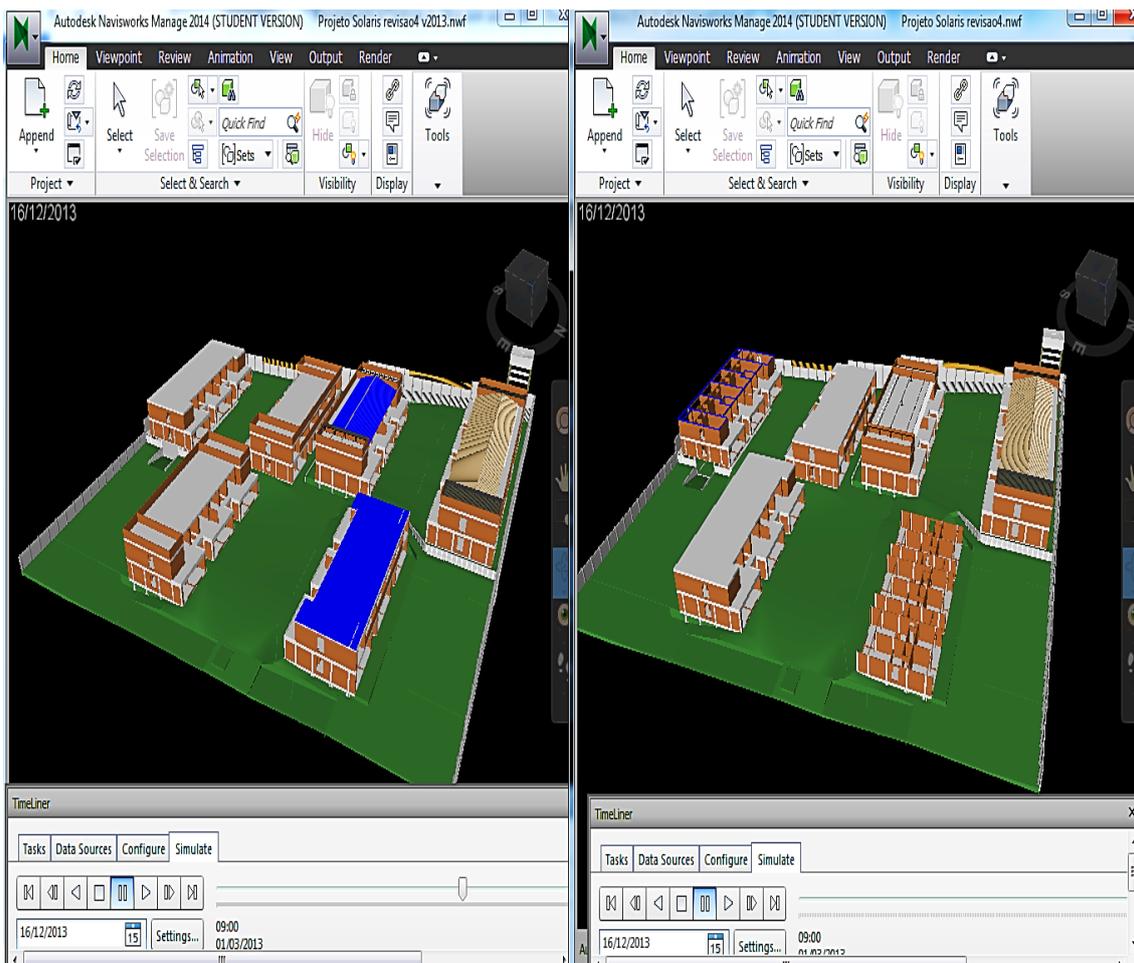


Figura 37 – Acompanhamento do avanço físico por meio de duas telas

5.3.6. Modelo 4D como Forma de Apoio à Comunicação

Além do modelo 4D gerar as simulações que podem apoiar de maneira mais eficiente o processo de transmissão das informações ao construtor e sua equipe, indicando como, quando e onde um plano será executado, ele também pode ser uma importante ferramenta de comunicação a outros *stakeholders* do projeto, como clientes, diretoria e investidores.

Na guia *Output* em *Visuals* é possível configurar a geração de uma imagem da vista atual em diferentes formatos, tamanhos e qualidades. A configuração da imagem a ser exportada e o resultado final pode ser visto na Figura 38. De forma rápida e simples, uma imagem leve é obtida para compor apresentações, relatórios, e-mails que podem comunicar o andamento da obra a agentes externos.

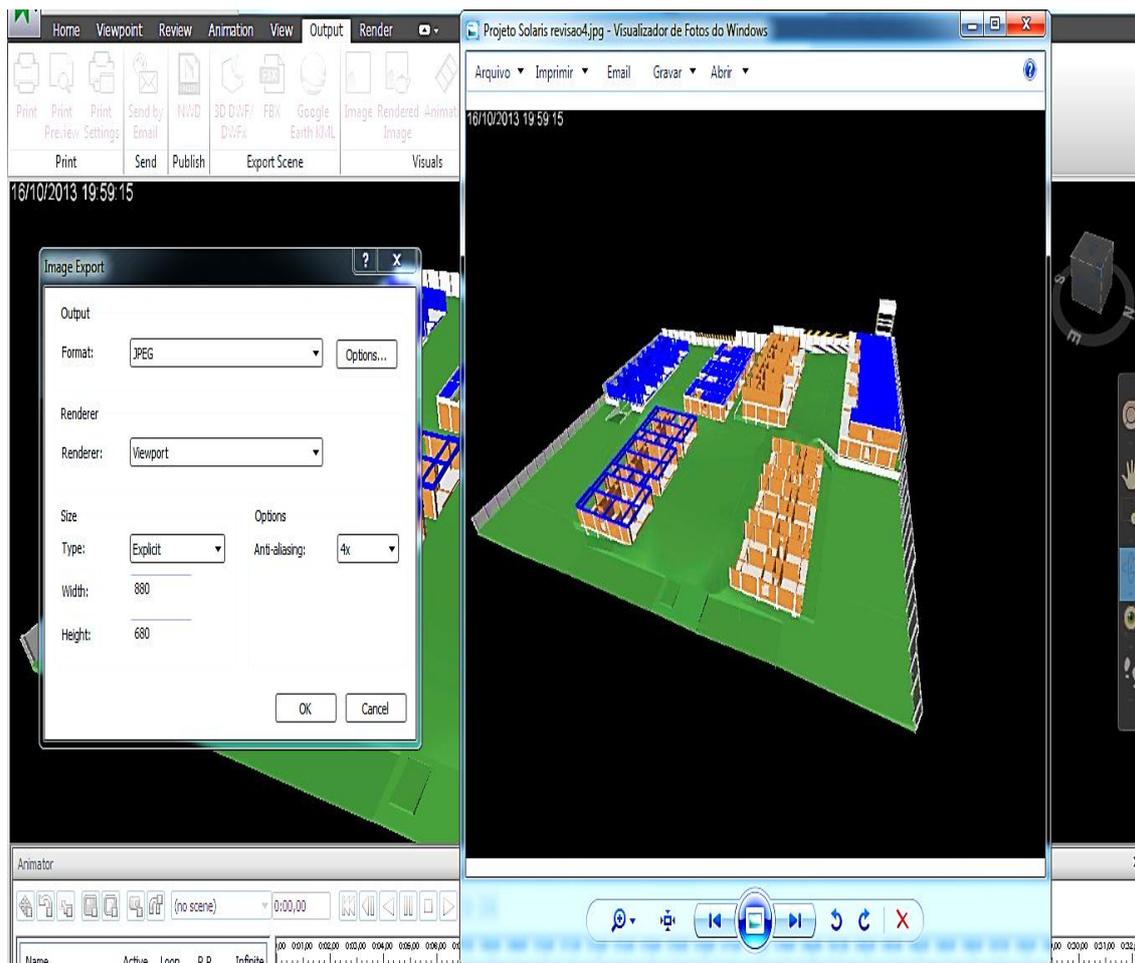


Figura 38 – Configurando e exportando imagens geradas de vistas

O *Navisworks*® ainda permite a geração de animações e vídeos de trechos ou de toda a simulação que podem ser exportados em formatos usuais de reprodução. Essa ferramenta não foi explorada intensamente neste trabalho e verificou-se que algumas simulações demandaram muito tempo para serem processadas em computadores comuns e ficaram muito pesadas após a exportação. Entretanto, a capacidade de gerar vídeos de simulações de trechos específicos e poder criar determinadas animações com mudanças escolhidas nas direções das vistas não pode ser ignorada como outra forma interessante de comunicação possibilitada pela modelagem 4D.

5.3.7. Particularidades na Análise do Modelo 4D

Neste trabalho, foram analisados alguns casos particulares na análise de um modelo 4D como ferramentas para a visualização de diferentes vistas, cortes e outras formas de utilizar o modelo.

I) SIMULAÇÃO DO MODELO DE APENAS UM MÓDULO

Muitas vezes, analisar o modelo com todas as atividades acontecendo em todos os módulos pode ser desgastante para o usuário, quando o mesmo está interessado apenas em analisar o planejamento e o sequenciamento das atividades para validação ou alguma alteração.

É possível na janela *Selection Tree* da aba *Home*, a qual exibe todos os projetos contidos no modelo, marcar apenas os correspondentes a um único módulo antes de iniciar a simulação, clicando em *Hide Unselected*, o que faz com que apenas os itens selecionados sejam mantidos em visualização, como na Figura 39.

Realizadas essas modificações, ao simular o planejamento, o usuário pode analisar a sequência de atividades de um único módulo de forma mais precisa e direta (Figura 40). Essa forma de simulação não substitui a análise do cronograma com todos os módulos e os elementos de canteiro presentes, já que isso é essencial para a identificação de conflitos e interferências, entretanto, a análise com maior aproximação de um módulo é uma boa forma de aprimorar o plano.

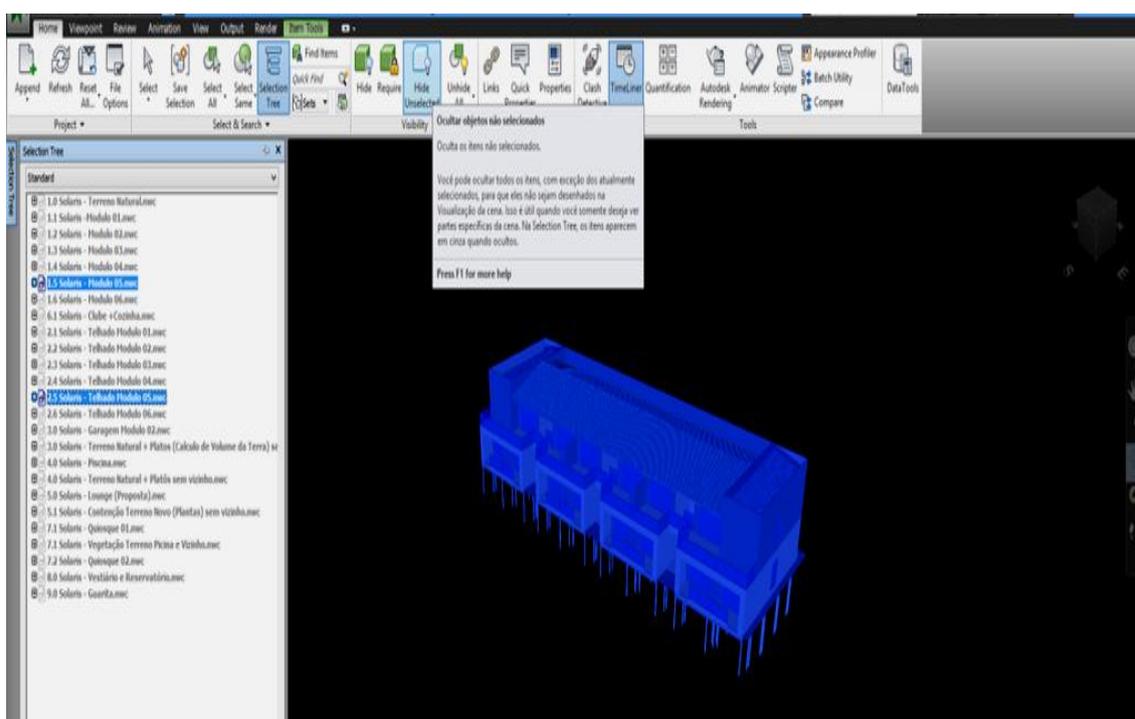


Figura 39 – Modificação para exibição de apenas um módulo

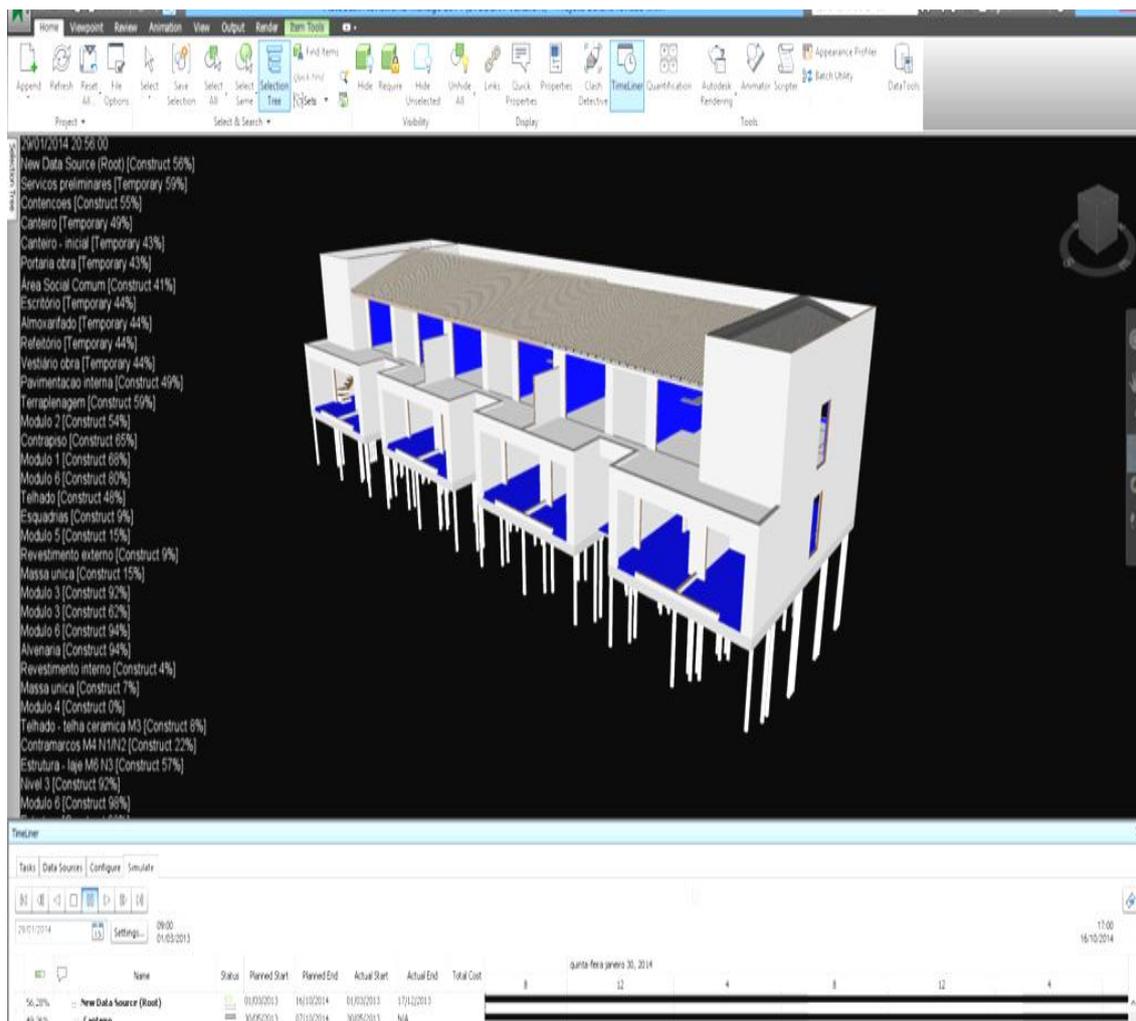


Figura 40 – Simulação do modelo de apenas um módulo

II) SIMULAÇÃO DO MODELO A PARTIR DE CORTES

Outra ferramenta experimentada durante o trabalho foi a visualização do modelo a partir de cortes em certos planos, principalmente, para apoio na exibição das atividades internas. Ainda utilizando as configurações de simulação de um único módulo, como no item anterior, clicando em *Fit Selection* da aba *Sectioning Tools*, o modelo é seccionado de um plano selecionado de acordo com o que mostra a Figura 41.

A simulação apresentada facilita, ainda mais, a visualização das atividades internas. Ao cortar uma das faces do módulo em questão, o usuário percebe, como na Figura 42, em que local do pavimento e qual o tipo de atividade interna que está ocorrendo.

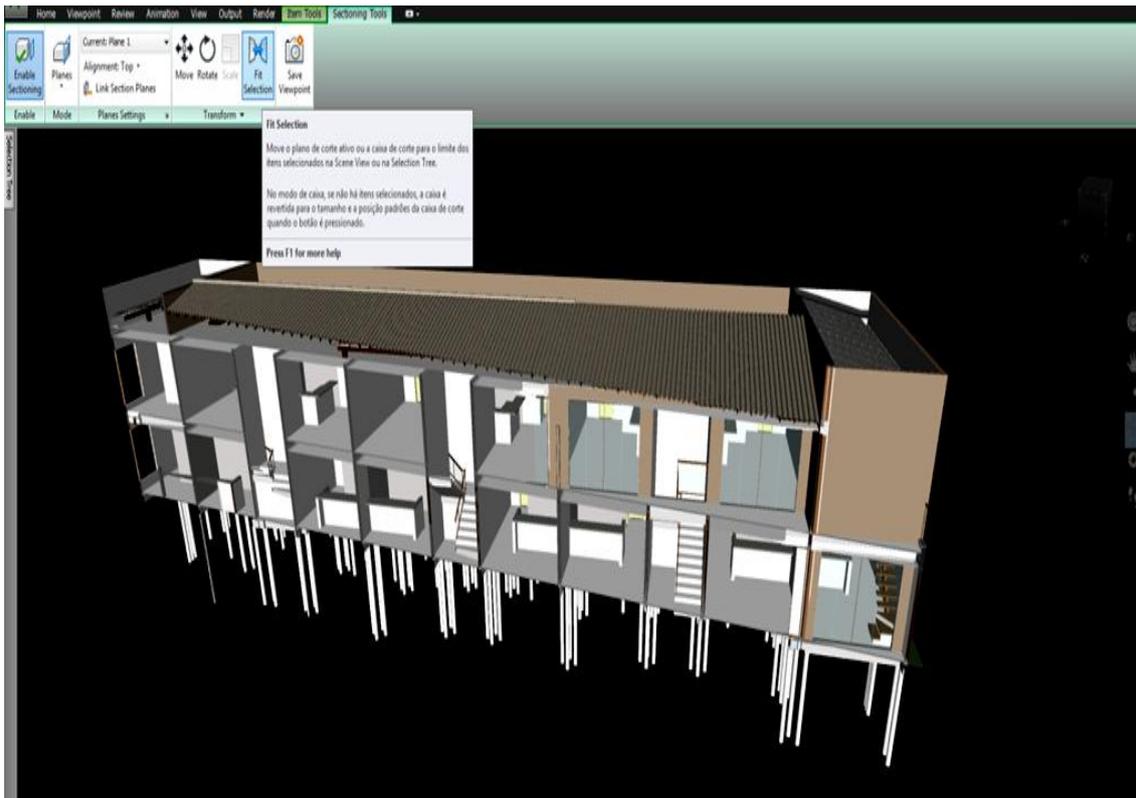


Figura 41 – Seccionando o modelo através de um plano

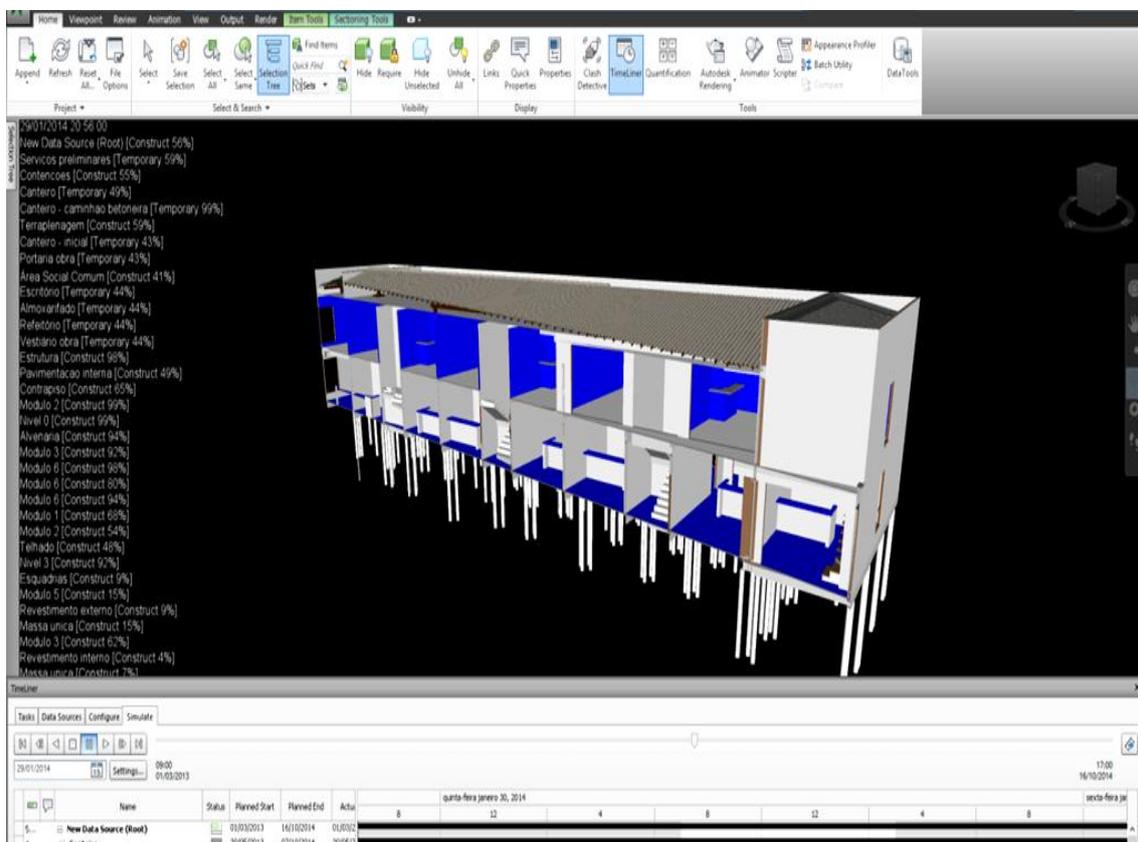


Figura 42 – Simulação do modelo seccionado com atividades internas

Outra possibilidade de corte do modelo, ao invés de seccionar através de planos, utiliza o modo de seccionamento tridimensional, como uma caixa. É possível acionar essa opção de corte clicando em *Box* na mesma aba *Sectioning Tools* e, então, uma caixa com as três dimensões aparece para ser movida até a posição que secciona o modelo na forma desejada (Figura 43), podendo até mesmo fazer cortes inclinados. O resultado desse modo de seção é apresentado na Figura 44, e o modelo simulado consegue exibir de maneira ainda mais clara as atividades que acontecem por dentro do módulo.

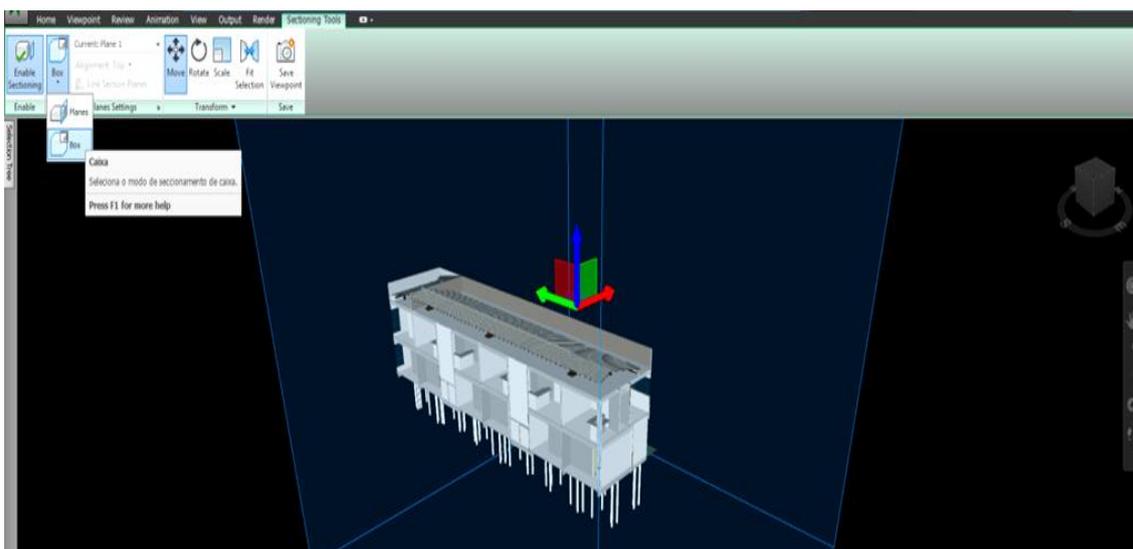


Figura 43 – Modo de seção tridimensional

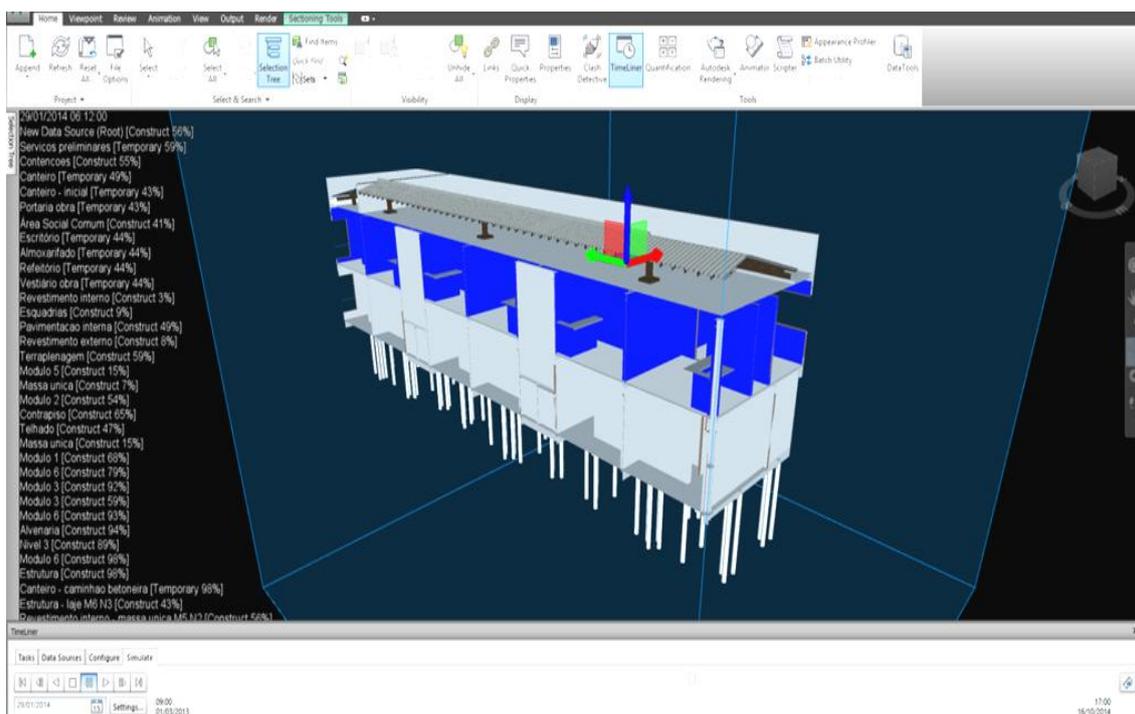


Figura 44 – Simulação do modelo seccionado tridimensionalmente

III) SIMULAÇÃO DO MODELO ATRAVÉS DE VISTAS DIFERENTES

Outra ferramenta de apoio à visualização do modelo 4D consiste na simulação da construção sob duas vistas (Figura 45), escolhidas pelo usuário. Para isso, é preciso na aba *View*, clicar em *Split View* e optar pela forma de divisão da tela, nesse caso, a mesma foi dividida verticalmente.

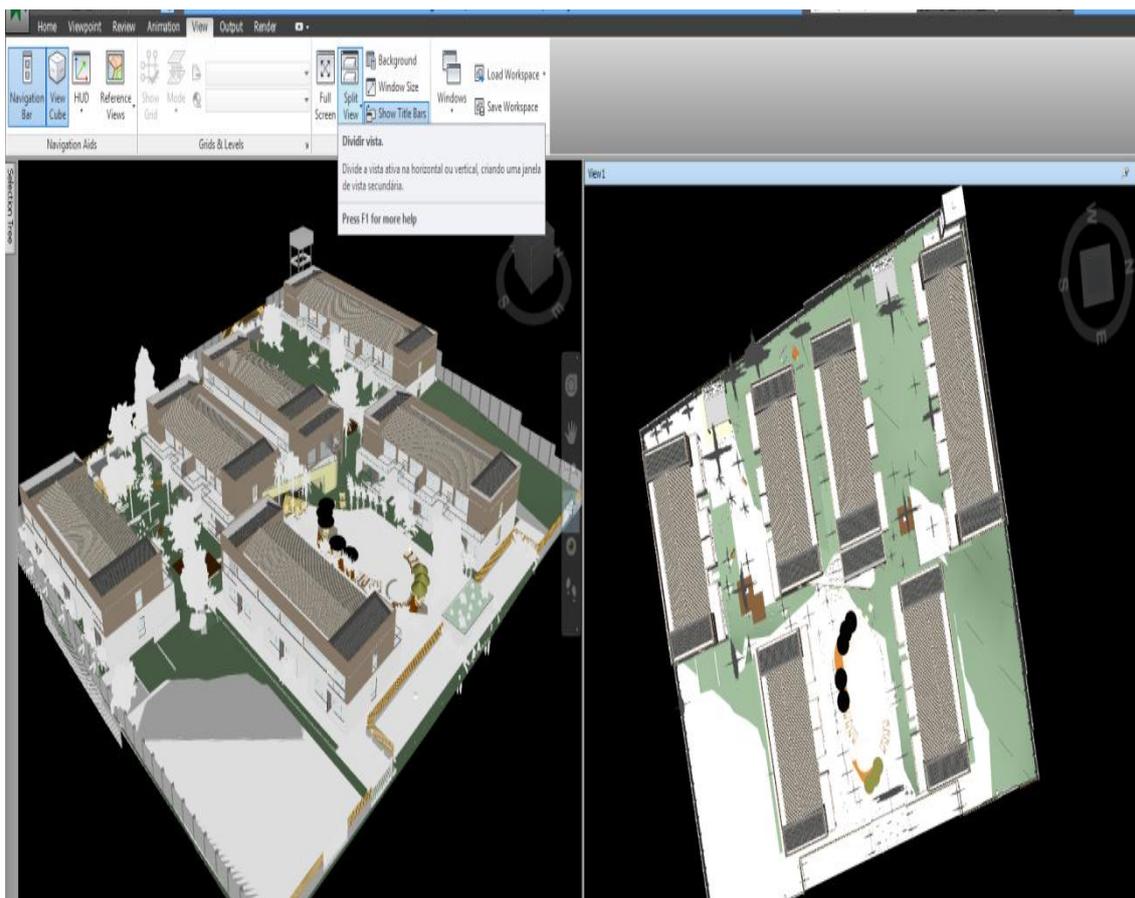


Figura 45 – Configuração para a exibição de duas vistas do modelo

A utilidade desse mecanismo se torna ainda mais evidente ao simular o cronograma (Figuras 46 e 47). É comum, em modelos 4D a necessidade do usuário ir modificando a vista durante a simulação para melhor visualização das atividades que acontecem em cada módulo e as quais, muitas vezes, são encobertas por outros módulos ou elementos de canteiro. Então, a possibilidade de simular exibindo simultaneamente duas vistas reduz, de forma acentuada, esses problemas, facilitando a interpretação e o entendimento de quem visualiza o modelo.

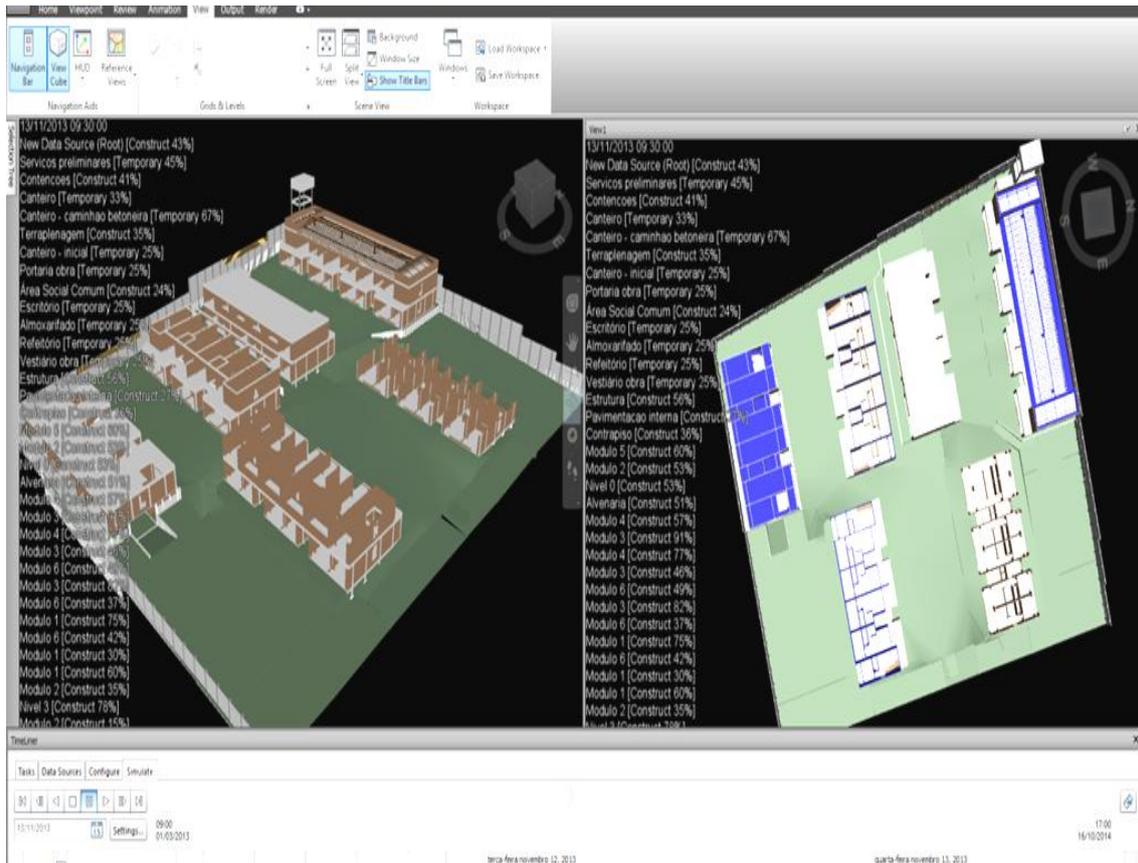


Figura 46 – Simulação por meio de duas vistas

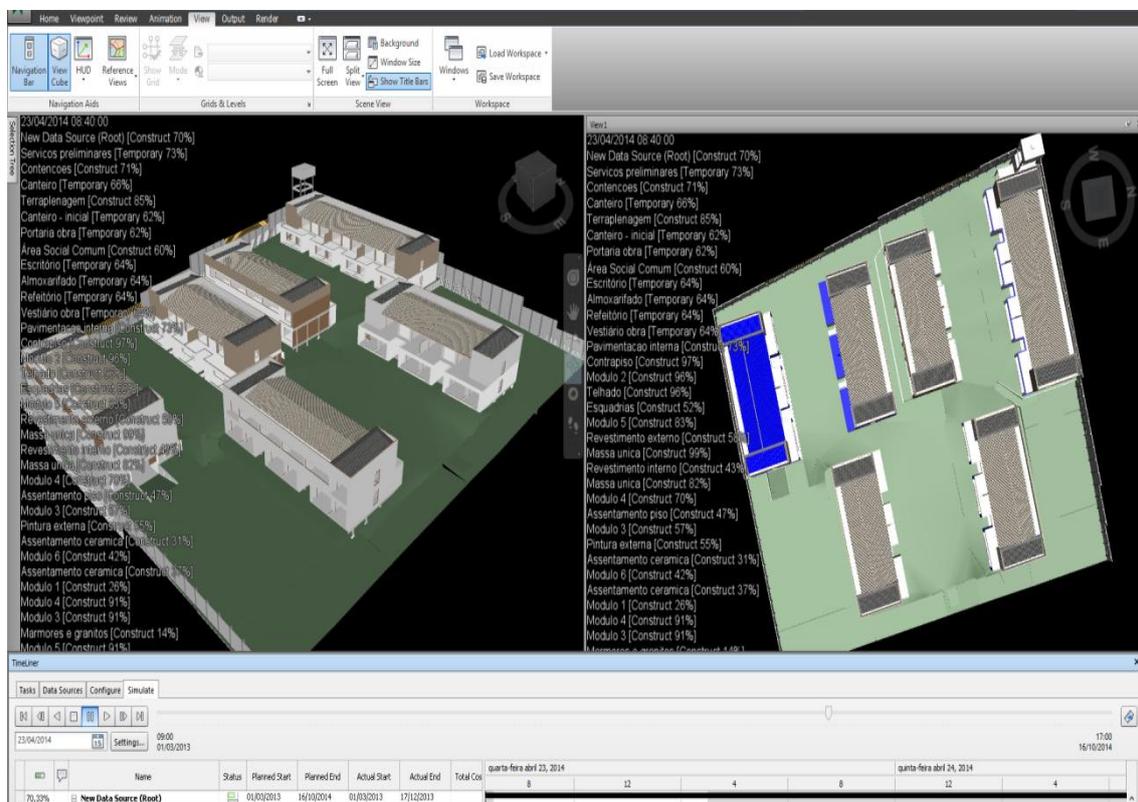


Figura 47 – Simulação do cronograma através de duas vistas simultâneas

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante do que foi discutido no estudo de caso e tendo em vista o objetivo deste trabalho de avaliar a aplicação do modelo 4D ao planejamento e controle de obras, foram identificadas e avaliadas algumas vantagens e potencialidades, dentre as quais podem-se destacar:

I) Eliminação do esforço de visualizar e interpretar mentalmente o cronograma

O fato do modelo 4D proporcionar a visualização da simulação do empreendimento sendo construído, elimina o esforço mental usual ao se interpretar os cronogramas tradicionais. Essa possibilidade de visualização também diminui a diferença de interpretação entre usuários com diferentes níveis de experiência e facilita a percepção de falhas e incoerências.

II) Transmissão do impacto de mudanças no cronograma com maior precisão

Durante o acompanhamento do avanço físico, o modelo 4D transmitiu com eficiência aos usuários as alterações no avanço e o impacto dessas mudanças no futuro do cronograma. Além de indicar as atividades que foram influenciadas pela mudança no prazo, essa alteração é comunicada de forma mais fácil a outros interessados.

III) Acompanhamento do avanço físico de maneira clara e visual

A modelagem 4D permitiu o acompanhamento do avanço físico da obra por diferenciação de cores e por meio de duas telas para detecção de possíveis discrepâncias entre o previsto e o executado. Além disso, o acompanhamento foi mais claro, por ser visual, informando ao gerente mais rapidamente do que o processo de controle comum.

IV) Possibilidade de simular cenários alternativos de execução

Outro aspecto apoiado pelo modelo 4D é a simulação de cenários alternativos de execução do empreendimento. Diferentes planos de ataque e estratégias de execução podem ser testados para a escolha da melhor opção de forma visual.

V) Facilidade na integração e comunicação entre os envolvidos

A integração entre planejador, construtor, cliente e investidor é facilitada por meio da modelagem 4D. Todos os interessados no empreendimento podem se comunicar e se manter atualizados por um mesmo meio, utilizando o modelo para informar o andamento e o prazo final.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral a aplicação da modelagem 4D ao planejamento e controle de um empreendimento. Para atingir este objetivo, no estudo de caso foi desenvolvido um modelo 4D para a simulação da execução e o acompanhamento do avanço físico.

Um dos objetivos específicos foi: conhecer o processo de planejamento e controle sobre a ótica BIM. Este objetivo foi atendido através da revisão bibliográfica, na qual foram percebidas as diferenças entre as técnicas tradicionais e o gerenciamento por meio do modelo 4D através de livros técnicos e trabalhos anteriores de artigos nacionais e internacionais.

Outro objetivo deste trabalho consistiu na realização de simulações do planejamento e acompanhamento do avanço físico com o modelo 4D. O estudo de caso apresentou o processo de desenvolvimento do modelo e aplicação do mesmo no acompanhamento de uma obra durante o período de nove meses.

O terceiro e último objetivo avaliou a implantação do modelo 4D. Foram identificadas vantagens, limitações e potencialidades com a utilização de um modelo 4D. As vantagens e potencialidades observadas são apresentadas a seguir:

- Eliminação do esforço de visualizar e interpretar mentalmente o cronograma;
- Capacidade de identificação de possíveis conflitos de espaço e tempo durante a construção, os quais reduzem a produtividade e causam interferências;
- Transmissão do impacto de mudanças no cronograma com maior precisão;
- Acompanhamento do avanço físico de maneira clara e visual;
- Possibilidade de simular cenários alternativos de execução;
- Apoio na alocação de equipamentos e recursos no espaço;
- Facilidade na integração e comunicação entre os envolvidos;

É importante ressaltar que o grande benefício da modelagem 4D é a sua capacidade de considerar todos esses fatores em um único meio através da integração da informação

lógica, temporal e espacial do projeto. Isto foi percebido durante o estudo de caso e a avaliação com o gerente da obra.

Com vistas a melhorar a visualização em projetos complexos, com muitas atividades ou maior nível de detalhe, desenvolveram-se mecanismos para contornar a limitação da visualização interna, que geraram resultados positivos e mais eficiência nas análises. Entretanto, é essencial a automatização dessas ferramentas. O mesmo pode ser estendido para o acompanhamento físico via duas telas lado a lado, o qual não era possível no *software* utilizado e motivou a criação de outra solução alternativa.

A disseminação ainda baixa no Brasil da modelagem 4D a coloca como uma ferramenta em potencial para auxiliar o processo de planejamento e controle, combatendo algumas dificuldades das técnicas tradicionais. Uma das causas principais dessa baixa adesão envolve a dificuldade na mudança da mentalidade dos profissionais envolvidos no processo. Acredita-se que, a curto e médio prazo, o competitivo mercado da construção civil assimile o paradigma BIM e suas aplicações no ciclo de vida dos empreendimentos.

Os resultados obtidos neste trabalho recomendam aos estudos futuros que desenvolvam ferramentas com maior nível de automação para visualizar as atividades internas do modelo e o acompanhamento físico via duas telas dentro do próprio *software* em utilização. Outra sugestão é a modelagem 4D aplicada ao planejamento e controle de um empreendimento utilizando outros *softwares* diferentes dos que foram escolhidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ACKOFF, R. **Planejamento Empresarial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1976.

BALLARD, G. & HOWELL, G. Shielding production: an essential step in production control. ASCE, **Journal of Construction Engineering and Management**, Washington, v.124, n.1, p. 11-17, jan/feb., 1998.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. Birmingham: School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, 2000. Tese de Doutorado.

CHANG, H. S., KANG, S. C. & CHEN, P. H. Systematic Procedure of Determining an Ideal Color Scheme on 4D Models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n.4, p. 463-473, 2009.

CHEN, Y., TSAI, M., KANG, S., LIU, C. Selection and evaluation of color scheme for 4D construction models, **Journal of Information Technology in Construction**, v. 18, p. 1-19, 2013.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, Inc. 2ed. New Jersey, 2011.

GOLPARVAR-FARD, M., PENA-MORA, F., ARBOLEDA, C. A. & LEE, S. Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n.6, p. 391-404, 2009.

HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, Washington, v. 143, n. 10, p. 776-785, oct. 2008.

KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering, 1998. Technical Report n. 118.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report 72.

LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management And Economics**, London, n.5, p. 243-266. 1987.

LIMMER, CARL V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997, 225p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**, 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2010.

NIBS (2008) - United States National Building Information Modeling Standard, version 1 - **Part 1: Overview, principles, and methodologies.**

OWEN, R.L. *et al.* **Integrated Design & Delivery Solutions Research Roadmap Report.** International Council for Research Innovation in Building and Construction, n.373, 2012.

RUSSELL, A., STAUB-FRENCH, S., TRAN, N., WONG, W. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 18, n.2, p. 219-236, Mar. 2009.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SONG, S., YANG, J.; KIM, N. Development of a BIM-based Structural Framework Optimization and Simulation System for Building Construction. **Computers in Industry**, v. 63, p. 895-912, 2012.