



ANÁLISE ESTRUTURAL DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS DE UM EDIFÍCIO ASSOCIADA AO MODELO BIM 4D

Éric P. Flôr

Marcos Arndt

Sérgio Scheer

ericp.f@hotmail.com

arndt.marcos@gmail.com

sergioscheer@gmail.com

Universidade Federal do Paraná, Av. Coronel Francisco H. dos Santos, 210, Jd. das Americas, 81530-000, Curitiba, Paraná, Brasil.

Resumo. A metodologia BIM proporciona vantagens a todas as fases do ciclo de vida de uma edificação. A principal vantagem no projeto de estruturas relaciona-se à automatização das etapas no escritório, que incide sobre o aumento da produtividade. Interior ao processo de projeto, a etapa de análise estrutural também pode ser favorecida pela ferramenta. A associação do modelo estrutural ao modelo BIM 4D permite avaliações estruturais da edificação em etapas executivas intermediárias, previamente à conclusão da obra. Esta avaliação é frequentemente negligenciada pelos projetistas, uma vez que a estrutura é quase sempre calculada a partir do modelo que representa sua configuração final, ou seja, a obra completamente executada. No entanto, a verificação da estrutura em etapas intermediárias pode ser fundamental, visto que particularidades da execução podem configurar esforços que conduzam a estrutura a falhas parciais ou ao colapso total no momento da execução. O objetivo desse trabalho é avaliar a associação do modelo estrutural ao modelo BIM 4D na análise estrutural de edifícios em suas diferentes etapas construtivas. A análise dos efeitos de construção pode ser realizada utilizando-se o Método dos Elementos Finitos (MEF), principal ferramenta matemática de avaliação estrutural utilizada pelos softwares de mercado.

Palavras-chave: BIM, Modelo 4D, Análise Estrutural, Efeitos de Construção.

1 INTRODUÇÃO

A proposta deste trabalho reside no levantamento de efeitos da etapa construtiva na estrutura que possam ser avaliados por modelos computacionais de cálculo estrutural. Por sua vez, os modelos analíticos de cálculo podem ser associados a um modelo BIM 4D, permitindo maior automatização do processo de projeto. Essa associação à plataforma BIM é proposta por Hu et al (2008) – principais norteadores deste trabalho – que testaram a análise da estrutura ao longo do tempo com o auxílio de modelos 4D. Tendo em vista essa proposta, é possível definir tensões críticas nas peças durante a fase executiva, que podem se configurar como critério de falha da estrutura.

Nesse intuito, será levantada conceituação teórica a respeito da ferramenta BIM, seus formatos e principais aplicações no mercado de projeto estrutural. Subsequentemente, abordar-se-á acerca dos principais efeitos na estrutura originados durante a etapa construtiva. Esses efeitos são apontados pelos autores consultados, com destaque para as considerações tratadas por Ang e Karshenas (1983) e Calderón, Alvarado e Adam (2011). Por fim, versa-se sobre a possibilidade de associar os dados analíticos a um modelo de planejamento 4D, conforme os trabalhos de Hu et al (2008).

Uma vez levantadas as implicações estruturais da fase executiva a partir dos estudos examinados, é possível relacioná-las às considerações de cálculo em um modelo avaliado por Método dos Elementos Finitos (MEF). Esse método corresponde, na atualidade, à principal ferramenta matemática utilizada pelos softwares de análise estrutural. Relacionar os efeitos executivos às considerações de cálculo consiste em contribuição particular deste trabalho.

2 A FERRAMENTA BIM

BIM (Building Information Modeling) é a representação computacional das características físicas e funcionais de uma edificação e do seu ciclo de vida de projeto relacionado. O BIM permite que os dados sejam organizados para auxiliar as tomadas de decisão, agregando valor ao projeto (NBIMS, 2014). De acordo com Tarrafa (2012), alguns dos princípios dessa metodologia são listados no Quadro 1.

Quadro 1 – Princípios da metodologia BIM

Compreensão visual do projeto a partir do modelo 3D
Projeto orientado ao objeto (paramétrico) com definição de suas propriedades físicas
Facilidade para extração de vistas, cortes, documentos e informações do modelo, como quantidades e custos
Facilidade de detecção de conflitos entre projetos e coordenação
Possibilidade de modelagem 5D = 3D + tempo (4D) e custo (5D).

De acordo com Azuma et al. (2007), o edifício modelado em BIM facilita o entendimento do projeto, reduz erros e permite simulações de canteiro de obras. Além disso, fornece melhores produtos de construção a custos reduzidos. Todas as partes interessadas do projeto

se beneficiam com o modelo BIM, entre elas o cliente. Investimentos em tecnologia BIM devem ser avaliados ao nível do projeto, fracionando os custos e os benefícios entre todos os interessados (Eastman et al., 2011).

Segundo a proposta de Kim et al. (2012), a associação do BIM à estrutura confere otimização no processo a partir das vantagens asseguradas pela metodologia. Tipo, quantidade e custo dos recursos necessários para a execução da estrutura são facilmente apontados pelo procedimento. Os recursos podem ser humanos, de equipamentos, material e tempo. O arquétipo indicado pelos autores comprova o conceito fundamental da metodologia: associar a um modelo estrutural geométrico 3D, modelado ou importado em formato IFC, informações inerentes ao processo para posterior listagem e uso gerencial desses dados. O modelo também poderá servir de auxílio à análise estrutural, orientada a partir da geometria do modelo BIM estrutural.

3 IFC E SOFTWARES DE MERCADO

O IFC (Industry Foundation Classes) é um formato de arquivo aberto e orientado ao objeto 3D, utilizado pelo BIM, que arquiva dados sobre cada elemento. Desta forma, os aplicativos podem facilmente identificar a informação contida no modelo de cada disciplina. Segundo Kim et al. (2013), os principais elementos padrões do IFC utilizados nas modalidades BIM estruturais são IfcColumn, IfcSlab e IfcBeam, representantes dos elementos de pilares, lajes e vigas, respectivamente.

Pazlar e Turk (2008) realizaram à época testes de interoperabilidade, verificando dados de geometria exportados de softwares estruturais e importados em softwares de arquitetura utilizando o modelo IFC, a fim de validar o arquivo de importação gerado nos ambientes de modelagem arquitetônica. Dessa forma, os autores puderam relacionar quais elementos estruturais tiveram suas informações inseridas, reduzidas ou simplesmente ignoradas na leitura final do arquivo. Os experimentos confirmaram as expectativas e os modelos não funcionaram com completa acurácia. Carvalho (2011) retoma as análises de Pazlar et al. (2008), extraindo conclusões aproximadas. Os exemplos apresentaram casos de distorção da informação inserida nos modelos e perda dos atributos. Não menos importante, o autor afirma que há desconhecimento por parte dos usuários de quais informações sobre o elemento estrutural são pertinentes e se devem ser inseridas. Há ainda dificuldades em acessar as informações do formato nos diferentes softwares de projeto. Dessa forma, é possível afirmar que o formato aberto IFC ainda não foi bem absorvido pelos softwares em estudo, barreira que deverá ser transposta para melhor proveito desse padrão no mercado.

De acordo com os autores, a simulação BIM 4D representa a dinâmica da construção ao longo do tempo, baseada em um cronograma. Conforme a etapa, os elementos construídos são destacados, sendo possível averiguar se o andamento do edifício, inclusive da estrutura, está de acordo com o desejado, conforme a Fig. 1, proposta por Hu et al. (2011).

Na sequência, são enumerados os principais softwares de mercado que associam, integralmente ou em parte, a análise estrutural ao modelo geométrico BIM. Cabe salientar que os softwares frequentemente utilizam formulações de Método dos Elementos Finitos (MEF) quando possuem etapa de avaliação estrutural.

Revit Structure. O software oferece ferramentas de detalhamento das características estruturais, distribuição de cargas, identificação de materiais, resistência à compressão e

associação bidirecional entre modelos e vistas. O IFC é apresentado como recurso com todas as extensões da propriedade (Carvalho, 2012).

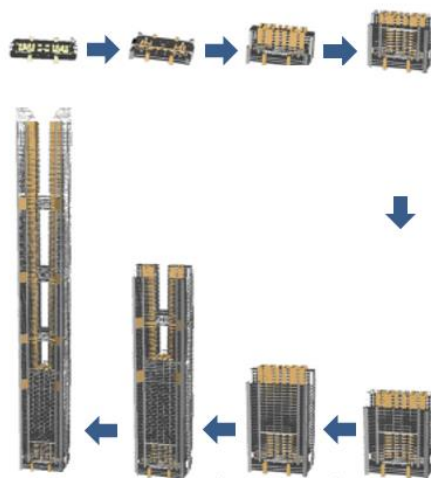


Figura 1 – Modelo Estrutural 4D

Tekla Structures. O software permite a concepção estrutural, independente do material ou da complexidade, além de cobrir todos os processos até a fabricação, montagem e gestão da construção. (Tekla, 2014).

CAD/TQS. A partir da sua versão 14.0, o software passou a utilizar um aplicativo orientado para o Autodesk Revit Structure que permite transferência bidirecional limitada de modelos estruturais entre os softwares. O software está entre os mais comuns no mercado nacional orientado ao projeto de estruturas de concreto armado. (Carvalho, 2012).

Cypecad. O programa permite trabalhar com uma ampla gama de elementos estruturais e possui integração com outros softwares CAD, utilizando ferramentas de alteração automática das plantas bases dos pavimentos. (Carvalho, 2012).

Solibri. O software estrutural Solibri também possui suporte BIM, através da interface Solibri Model Checker. Segundo o mesmo autor, o programa apresenta como diferencial uma ferramenta de fácil utilização em que é possível identificar modelos criados em outros ambientes BIM que trabalham com arquivos IFC.

Kaner et al. (2008) realizaram um estudo de caso de implementação da plataforma BIM em escritórios de projeto estrutural. A partir do estudo foi possível avaliar os ganhos efetivos da utilização da metodologia, além das dificuldades encontradas na mudança de processo, enumeradas na Tabela 1.

4 IMPLICAÇÕES ESTRUTURAIS DO PROCESSO CONSTRUTIVO

Nesta seção, serão definidas particularidades da configuração da estrutura ocorrentes durante a etapa de obra. Tem-se por objetivo listar os principais esforços e efeitos frequentemente negligenciados que se originam nesta etapa de construção. Estas peculiaridades serão fundamentais para a definição de modelos analíticos que bem representem os efeitos da fase executiva em uma formulação por MEF.

Cumprе ressaltar que existem outros efeitos de ações construtivas que possuem impacto sobre a estrutura, apesar de não serem abordados na análise deste trabalho. Serão relacionados dois efeitos, pormenorizados nas subseções deste capítulo.

Tabela 1 – Vantagens e desafios na implementação do BIM no projeto estrutural

Vantagens	Desafios
Redução de erros de desenho e retrabalhos	Necessidade de liderança efetiva e persistência
Redução do tempo de projeto	Necessidade de treinamento profissional
Desenhos melhores, com informações mais bem dispostas	Antecipação das tomadas de decisão
Auxílio do modelo à fase executiva	Necessidade de hardware e softwares adequados
Automatização dos processos de desenho e consequentemente aumento do valor dos serviços de engenharia.	Limitações da interoperabilidade no formato IFC

Segundo Ang e Karshenas (1983), perdas de recursos humanos e econômicos devidas ao colapso de estruturas são maiores durante a fase de construção que no uso efetivo do edifício. Essas perdas são causadas principalmente por falhas humanas e pela falta de padronização nos processos de construção. Entre elas, destacam-se improbabilidades na definição das cargas e da capacidade de suporte das estruturas nessa etapa. Dessa forma, a construção requer corpo técnico experiente e competente para a tomada de decisões.

A experiência e conhecimento técnico do construtor consistem, portanto, em alguns dos fatores necessários ao estudo dos estágios críticos do projeto, altamente suscetíveis à falha. Entre esses fatores, resalta-se a falta de regularização e padronização do processo de construção, que não uniformiza, por exemplo, atividades de escoramento e estabelecimento de uma resistência mínima das ligações provisórias. Conforme o trabalho dos autores, é necessária uma filosofia de construção que permita identificar com precisão os carregamentos e a resistência da estrutura em todas as etapas para cada método construtivo.

Calderón, Alvarado e Adam (2011) também afirmam que segundo os autores consultados em seus trabalhos, os estágios mais críticos de uma estrutura apresentam-se no momento em que ela é construída, comprovado pelo fato de que a maioria dos colapsos ocorrem nessa etapa.

De acordo com Hu e Zhang (2011), as ‘estruturas dependentes do tempo’ – tradução livre – têm sido estudadas desde a década de 50. As pesquisas foram inicialmente estimuladas devido às diferenças das características do concreto armado na etapa de construção e no uso da edificação. Durante o período de construção, as estruturas possuem características próprias, entre elas as propriedades dos materiais, carregamentos especiais e sistemas estruturais temporários, sendo esta última propriedade ilustrada na Figura 2. A figura procura ilustrar diferentes propostas para atingir uma mesma configuração final, as quais estabelecem diferentes estruturas ao longo da execução.

Segundo Hu et al. (2008), a resistência mecânica das peças pode variar ao longo do tempo em alternativas estruturais como o concreto armado. É de comum acordo que nessa modalidade a resistência mecânica não atinge os valores previstos em projeto imediatamente. Nestes casos, as variáveis das quais a resistência mecânica é função também devem ser

levadas em consideração na estrutura. Este parâmetro tem implicância direta na definição das matrizes de rigidez dos elementos estruturais, que variaria em um modelo integrado ao tempo.

Ainda segundo os autores, os carregamentos também variam durante as atividades do processo de construção. No concreto armado, por exemplo, existem duas fases principais de grande impacto, que consistem na concretagem e na retirada dos escoramentos. Estas fases alteram e redistribuem o sistema de cargas e o efeito desses processos pode ser impactante. Sendo assim, esses fatores são de relevância na análise estrutural dependente do tempo, uma vez que configuram novos vetores de força.

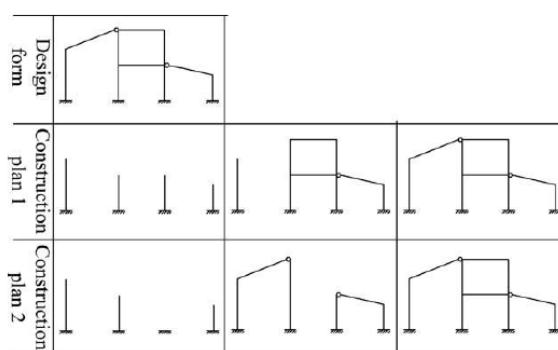


Figura 2 – Propostas de planejamento relacionadas a diferentes sistemas estruturais temporários

4.1 Instabilidades nas peças estruturais conforme o planejamento de execução da estrutura

Ang e Karshenas (1983) avaliaram a segurança de edifícios de estrutura metálica durante a etapa de construção. A cada estágio, os autores aferem os potenciais modos de falha a partir de um método probabilístico de análise de confiabilidade. O estudo dos autores ressalta os efeitos construtivos em estruturas dessa modalidade. O carregamento crítico apontado consiste na carga de vento. Incertezas na definição da estrutura e variações nos carregamentos – em especial do vento – também são levadas em conta na formulação. Os efeitos dinâmicos sobre a estrutura ainda não finalizada são avaliados a partir de elementos de vibração comum. Dessa forma, sendo definido um modelo analítico que contemple os efeitos dinâmicos, é possível extrair os esforços solicitantes a partir de uma modelagem adequada em MEF.

Ainda sobre as estruturas metálicas, é comum realizar ligações provisórias entre as peças estruturais que permitam a sequência das atividades. Em etapa subsequente, essas ligações serão substituídas por ligações definitivas. As ligações provisórias definem-se como um dos pontos críticos do problema, visto que se configuram como ligações flexíveis, que resistem parcialmente aos momentos fletores que solicitam a peça. O nível de flexibilidade depende sobretudo do número de parafusos utilizados. Sendo assim, é necessário definir a capacidade resistente da peça neste estado, em termos de momento fletor resistente, que pode ser inferior à solicitação. Neste caso, alterações nas ligações conferem mudança no vetor de deslocamentos dos elementos. (Ang e Karshenas, 1983).

Durante a etapa construtiva, também são executados sobre essas estruturas contraventamentos temporários, definidos por cabos de aço diagonais. A flexão na estrutura, no entanto, pode comprometer o comportamento desses cabos.

Conforme os autores, uma das instabilidades mais frequentes consiste na instabilidade lateral das vigas metálicas previamente à concretagem das lajes de concreto. Nesta condição, as vigas possuem baixa resistência à flambagem lateral. Além disso, na falta de travamento lateral, a viga com baixa rigidez compromete o comprimento de flambagem dos pilares, reduzindo sua rigidez consideravelmente, sendo este um dos principais fatores de falha da estrutura. Nos pilares, previamente ao estabelecimento dos carregamentos mais impactantes – paredes, lajes e cargas de utilização – os esforços normais são negligenciáveis. Entretanto, os momentos fletores estabelecidos nessa etapa podem ser bastante elevados, definindo uma alta tensão nas placas de junção das emendas entre esses elementos.

Segundo os mesmos autores, as estruturas metálicas, durante a construção, são, portanto, consideradas flexíveis, devido às características elencadas. Por sua vez, o efeito dinâmico do vento em peças flexíveis é acentuado. Dessa forma, as propriedades dinâmicas da estrutura durante os diversos estágios também devem ser avaliadas. Essas propriedades estão altamente associadas ao peso e à rigidez das peças e conexões. O amortecimento de uma peça metálica nesses casos, por exemplo, é função do tipo de conexão, da configuração estrutural e da etapa de construção. Só para exemplificar, o fator de amortecimento de uma peça metálica considerado baixo gira em torno de 0,5%. Peças metálicas na etapa construtiva podem configurar fatores entre 2 e 3%.

Analisando particularmente o caso de uma estrutura em etapa de construção solicitada preponderantemente pela força do vento, os autores propõem uma formulação que define a probabilidade de colapso durante a montagem. A estrutura, na etapa construtiva, é simulada a partir de um modelo analítico, que contempla os efeitos das ligações provisórias a partir molas rotacionais. Peças diagonais no modelo simulam o efeito do contraventamento por cabos de aço utilizados nesta etapa.

A Figura 3 e o Gráfico 1 apresentam o estudo de caso realizado pelos autores para um edifício de 10 andares. Neste estudo, foram analisadas as probabilidades de falha da estrutura conforme um método de probabilidade equacionado no próprio estudo. Os critérios de análise avaliam as resistências das ligações e a estabilidade dos contraventamentos. A partir do gráfico subsequente, que relaciona a probabilidade de falha às etapas construtivas, é permitido concluir que a estrutura possui uma etapa construtiva intermediária com maior risco de falha.

A probabilidade de ruptura da estrutura também depende de fatores como duração da etapa de construção; época em que a construção será realizada e local onde a obra se estabelecerá. A intensidade do vento é um bom exemplo que permite bem compreender a implicação destas variáveis.

Por fim, os autores extraem conclusões a respeito do comportamento de uma estrutura metálica ao longo da etapa executiva, constantes nos parágrafos abaixo.

A força e a rigidez dos travamentos de um pilar são fundamentais na análise de segurança da etapa de construção. Pequenas restrições laterais podem reduzir consideravelmente o efeito de flambagem dessas peças.

Planejamento da estrutura, especialmente quanto à construção dos elementos de travamento lateral permanente, também consiste em prática de segurança. Nos casos em que esses suportes são construídos imediatamente após a montagem das peças, a probabilidade de ruptura é consideravelmente menor do que quando esta etapa é adiada a uma fase posterior.

Figura 3 – Modelo analítico com ligações e contraventamentos provisórios

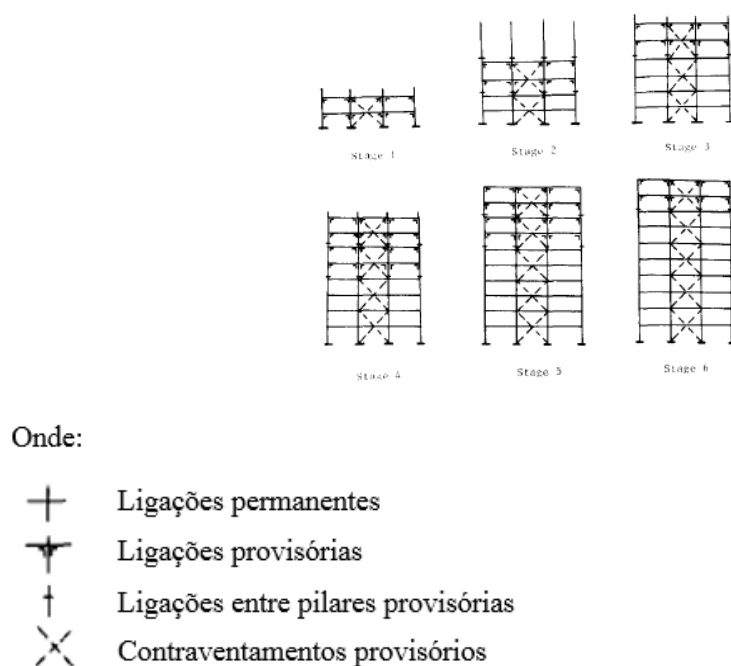
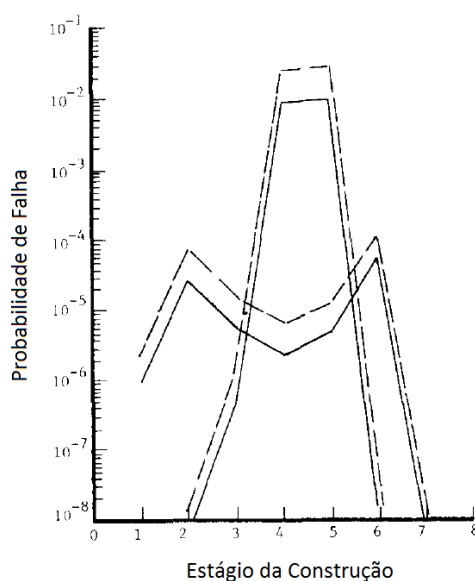


Gráfico 1 – Probabilidade de falha versus estágio da construção



Estruturas mistas de aço e concreto podem ter confiabilidade menor, visto que o suporte permanente lateral é alcançado somente após a concretagem das lajes.

Nas direções mais rígidas da edificação, a flambagem lateral das vigas é frequentemente o critério preponderante a partir dos níveis intermediários da construção. Consiste em boa prática a montagem dos painéis de laje o mais cedo possível para evitar a ocorrência desta instabilidade.

A estrutura, nos estágios iniciais (primeiros pavimentos), tem efeito dinâmico maior que em etapas posteriores (níveis médios e finais).

4.2 Carregamento de lajes associado aos escoramentos

Calderón, Alvarado e Adam (2011) apresentam um processo de cálculo a partir do qual é possível estimar os carregamentos nos sistemas de lajes escoradas em edifícios de multipavimentos. Os escoramentos são necessários como suporte de lajes que ainda não atingiram resistência suficiente. Em alguns casos, a laje que suporta um pavimento superior também não possui resistência satisfatória, o que torna necessário o emprego de escoramentos em vários pavimentos sucessivos, garantindo a estabilidade da estrutura.

Segundo Freitas (2004), existe um número de pavimentos interligados a partir do qual essa influência se estabiliza. O autor também propõe algumas conclusões a respeito dos efeitos dos escoramentos.

- A força máxima na escora atua durante o lançamento do concreto;
- A ação dinâmica do impacto do concreto é absorvida em maior parte pelas escoras. O efeito dinâmico sobre a estrutura inferior é desprezível;
- A combinação das ações das formas, barras de aço e sistemas de escoramento compreendem aproximadamente 10% do peso próprio da laje.

De acordo com Calderón, Alvarado e Adam (2011), existem na prática modelos de cálculo que simulam esse efeito, além das modelagens numéricas computacionais. As divergências entre os modelos consistem principalmente na caracterização das escoras: ora são consideradas com rigidez infinita, ora finita. O processo definido pelos autores leva em conta a rigidez das escoras.

A etapa de retirada das escoras, por exemplo, é interpretada no processo como a redução da rigidez do conjunto das escoras, proporcional à quantidade de escoras retiradas. A sucessão dessas etapas correlacionadas à obra real é apresentada na Figura 4 dos trabalhos dos autores, a partir de um modelo computacional que serviu para validar a formulação proposta pelos autores.

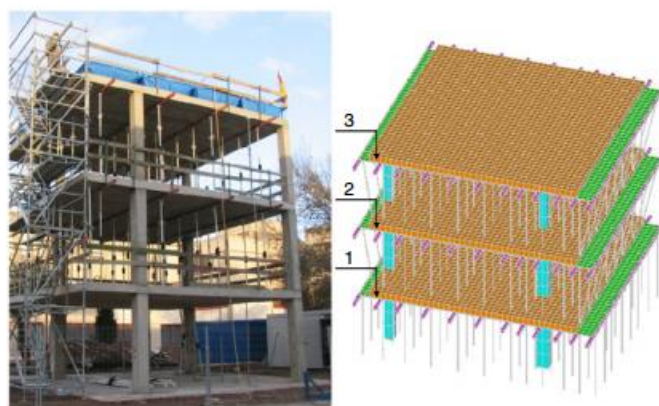


Figura 4 – Modelo computacional dos efeitos do escoramento

O modelo dos autores também considera outros efeitos, alguns deles variantes no tempo:

- A variação do módulo de elasticidade do concreto;
- A variação dos carregamentos e deformações com o tempo;
- A distribuição uniforme da carga de escoramentos sobre a laje subjacente;

- A deformação e a flambagem das escoras são desconsideradas.

Na Figura 5 são ilustradas as etapas de b) concretagem de nova laje e c) retirada de escoramento do primeiro nível, a partir do momento em que o segundo nível de pavimento atingiu resistência suficiente para suportar carregamentos das lajes superiores.

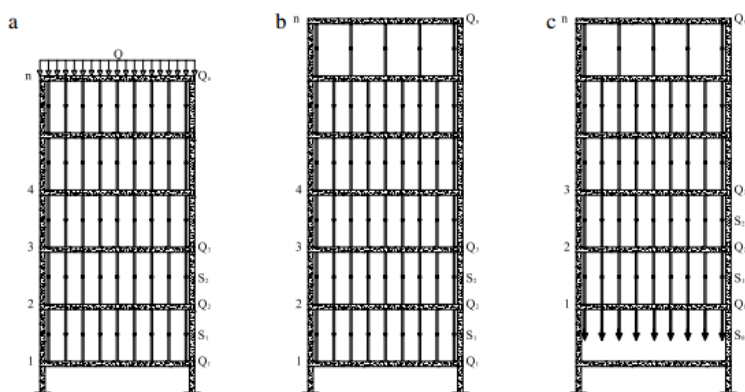


Figura 5 – Etapas de concretagem e escoramento

Os estudos dos autores cumprem papel neste trabalho ao indicar que o sistema de escoramento é uma ação construtiva que corresponde a um critério de segurança para a estrutura. A falta da sucessão de escoramentos adequada pode comprometer as lajes que não atingiram níveis de resistência aceitáveis.

5 ANÁLISE ESTRUTURAL NA ETAPA DE OBRA ASSOCIADA AO MODELO 4D

Hu et al. (2008) propõem a análise estrutural associada ao cronograma da edificação – modelo 4D – propiciado pela metodologia BIM. O método consiste na elaboração de uma estrutura geométrica na qual são agregados parâmetros de resistência e condições de carga. As condições de carga, por sua vez, advêm automaticamente do enlace entre cronograma, modelo arquitetônico e propriedades dos materiais. O experimento realizado pelos autores permitiu avaliar os principais atributos estruturais (esforços e deformações) ao longo do tempo. Esse processo também permite verificar a condição mais crítica da estrutura, seja ela após a conclusão da obra ou durante a fase executiva. Os ensaios computacionais dos autores também associaram as condições da estrutura ao planejamento da obra em plataforma BIM 4D, garantindo ser possível e proveitosa essa associação ora abordada.

Conforme Kim et al. (2013), a modelagem 4D é categorizada em 4 etapas principais, sendo elas a) cronograma; b) visualização, comunicação e colaboração; c) planejamento de construção e d) gerenciamento de recursos.

Segundo Hu e Zhang (2011), o modelo estrutural 4D tem quatro funcionalidades principais, sendo elas análise de segurança, análise de conflitos de cronograma, análise de custos e recursos e análise de layout.

Hu et al. (2008) indicam que o modelo arquitetônico permite um exato posicionamento geométrico das peças estruturais e definição dos carregamentos. As estimativas de carga são mais bem precisadas quando obtidas de forma automática. Na definição dos carregamentos de paredes, por exemplo, as cargas podem ser geradas e inseridas na estrutura automaticamente.

Os elementos paramétricos do modelo BIM contêm propriedades, como peso próprio, que permitem a definição desses carregamentos. A Figura 6 representa a propriedade paramétrica dos elementos estruturais discretizado em um modelo BIM.

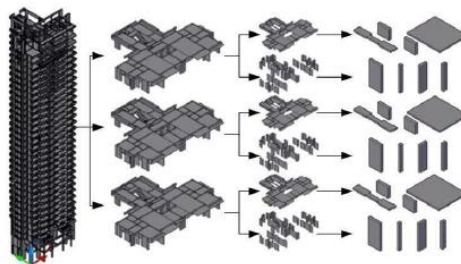


Figura 6 – Modelo Estrutural discretizado ao nível dos elementos

O modelo estrutural possui duas principais representações: O modelo de análise estrutural simplificado e o modelo de análise estrutural sofisticado, segundo tradução livre da nomenclatura proposta pelos autores. O modelo sofisticado consiste na modelagem das geometrias dos elementos estruturais tridimensionalmente. A partir de uma malha 3D e da definição dos carregamentos é possível calcular, com auxílio de um método numérico como MEF, as tensões nas peças e extrair os diagramas de esforços para dimensionamento. O modelo simplificado consiste na representação 2D dos elementos estruturais, prioritariamente na definição de pórticos espaciais, que pode fornecer resultados altamente satisfatórios.

O modelo estrutural advindo da modelagem 3D deve sofrer alterações para se adequar à análise estrutural em MEF. A geometria deve ser readequada, levando em consideração a relação entre os elementos. Alguns softwares de análise estrutural, como o ANSYS e o MARC são capazes de gerar um modelo estrutural computável automaticamente a partir da geometria que importam. Apesar disso, é comum haver problemas na geração de malha de componentes irregulares. A Figura 7 ilustra algumas etapas de ajuste e reordenação dos nós, compatibilização necessária para a formulação de um modelo analítico.

Hu e Zhang (2011) implementaram esta proposta em projetos teste. A partir dessa experiência, foi possível relatar as vantagens e desvantagens encontradas nesse processo. O método foi bem aceito pelos gerenciadores, que apreciaram a integração das informações propiciadas pelo BIM. Em contrapartida, entre os maiores problemas destaca-se o grande número de informações requeridas para a definição do modelo. Este problema tem sido reduzido junto ao desenvolvimento da tecnologia, visto que cada vez mais os dados são compartilhados pelos modelos neutros de IFC. Sendo assim, a modelagem 3D tem sido facilitada. A necessidade de capacitação profissional para modelagem 3D, por sua vez, persiste como uma das principais desvantagens da efetivação desse processo.

Hu et al. (2008) comprovam, na Tabela 2, a eficiência do método proposto, através da comparação dos recursos utilizados (homem.dia) para a análise estrutural da etapa construtiva pelo modelo 4D e pelos padrões tradicionais de cálculo estrutural.

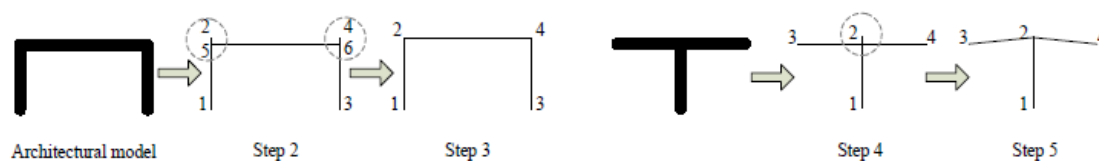


Figura 7 – Ajuste para a formulação de um modelo analítico

Tabela 2 – Comparação dos recursos dos métodos tradicional e 4D

Etapas	Método Tradicional	Método 4D
Modelagem arquitetônica 3D	8	10
Modelagem 3D	8	0
Modelagem 4D/Cronograma	3	4
Preparação dos dados	3	1
Modelagem Estrutural	9	0,5
Recálculos	3	0,5

6 CONSIDERAÇÕES NO CÁLCULO DOS EFEITOS ESTRUTURAIS DA EXECUÇÃO

A partir da fundamentação teórica levantada acerca dos efeitos estruturais da etapa executiva, associados à modelagem matemática da estrutura, é possível relacionar como devem ser considerados tais efeitos na programação interna dos softwares. O Quadro 2 sintetiza esta relação, direcionada à avaliação por Método dos Elementos Finitos. Em outras palavras, a última coluna do quadro se refere ao principal atendimento que deverá verificar o programador na avaliação do efeito de construção correspondente.

Cabe ressaltar que os efeitos de construção ora considerados consistem apenas em parte das possibilidades de efeitos existente. Os efeitos de construção abordados no quadro restringem-se aos mencionados nas pesquisas dos autores apresentados nessa pesquisa.

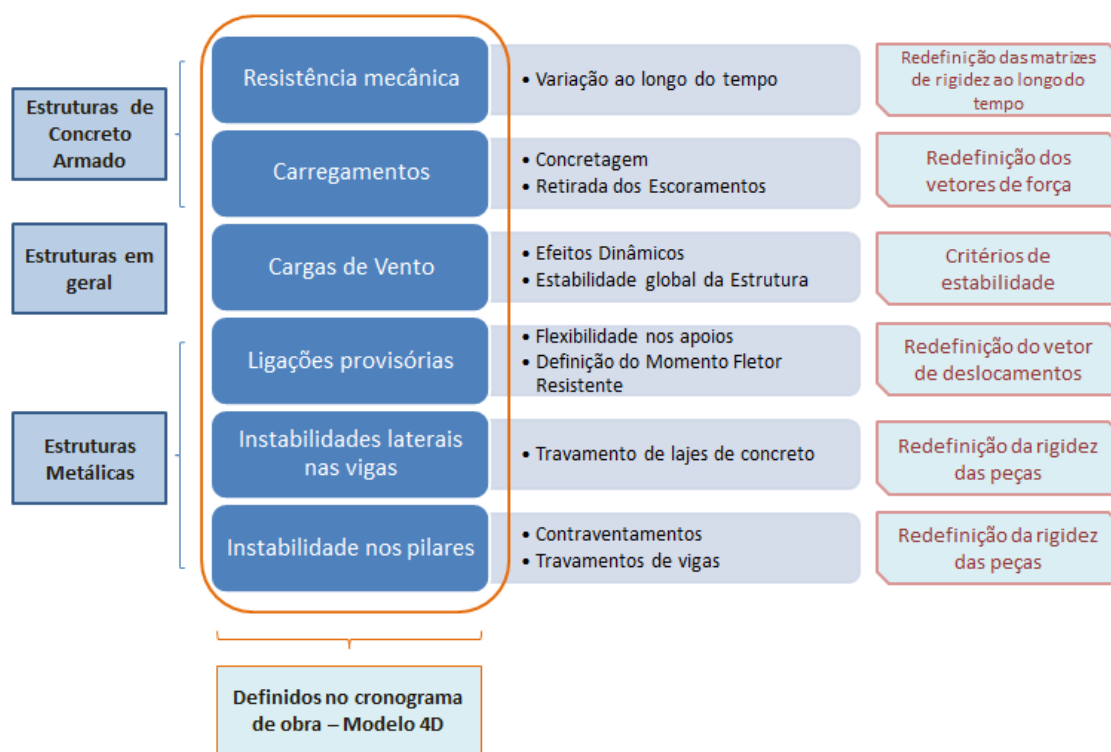
7 CONCLUSÕES

Considerando as ideias apresentadas, a partir da correlação entre os efeitos estruturais de construção ao cronograma de obras – modelo 4D, a avaliação pode ser realizada de forma automática e mais precisa, garantindo o efetivo auxílio ofertado pelo modelo BIM também ao processo de projeto estrutural.

Os principais entraves à implementação dessa associação dizem respeito ao trâmite do formato IFC entre os softwares, além da incipiência da adequação do planejamento à estrutura.

Tendo isso em vista, convém considerar que a contemplação dessa análise pelos softwares estruturais de mercado garantirá que a avaliação dos efeitos das ações construtivas seja mais frequente nos processos de cálculo estrutural, o que contribuirá para maior segurança nas averiguações dos projetos de estruturas.

Quadro 2 – Principais efeitos estruturais da etapa construtiva a serem considerados em análise em MEF



REFERÊNCIAS

ANG, A. H., KARSHENAS, S. **A Structural Safety Analysis of Steel Buildings During Construction**. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, 1983.

AZUMA, F.; MACHADO C. B. Z.; FREITAS M. C. D.; SCHEER S.; SCHMID A. L. **Inovações Tecnológicas Aplicadas ao Projeto de Edificações**. Revista Produção OnLine. v. 7, n. 3, 2007. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/viewFile/70/70>>. Acesso em: 26/06/2014.

BSI, BuildingSMART. **International home of openBIM**. 2011. Disponível em: <<http://buildingsmart-tech.org/>>. Acesso em: 20/06/2014.

CALDERÓN, P. A.; ALVARADO, Y. A.; ADAM, J. M.. A new simplified procedure to estimate loads on slabs and shoring during the construction of multistorey buildings. **Engineering Structures**. [s. l.], p. 1565-1575. 09 mar. 2011.

CARVALHO, M. A. **Eficácia de Interoperabilidade no Formato IFC entre Modelos de Informação Arquitetônico e Estrutural**. 221 f. **Dissertação de Mestrado**. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. **Bim Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Segunda Edição. New Jersey, 2011.

HU, Z. LU, X. ZHANG, J. **Preliminary Study for Performance Analysis of BIM-based Building Construction Simulation System**. Proceedings of the international Conference on Computing in Civil and Building Engineering. [S.L.]. 2008.

HU, Z., ZHANG, J., DENG, Z. **Construction Process Simulation and Safety Analysis Based on Building Information Model and 4D Technology**. Science and Technology, Volume 13, Number S1, 2008.

HU, Z., ZHANG, J. P. **BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies**. Automation in Construction. China, 2011.

HU, Z., ZHANG, J. P. **BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials**. 2010. Automation in Construction. China, 2011.

KANER, I.; SACKS, R.; KASSIAN, W.; QUITT, T. **Case Studies of BIM Adoption for Precast Concrete Design by Mid-sized Structural Engineering Firms**. ITcon. v. 13, p. 303-323, 2008. Disponível em: <http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2008_21>. Acesso em 26/06/2014.

KIM, N. SONG, S. YANG, J. **Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction**. Coreia, 2012.

KIM, S., JUN, K., SON, C., YUN, S. **Preliminary Study for Performance Analysis of BIM-based Building Construction Simulation System**. Journal of Civil Engineering. Coreia, 2013.

NBIMS. (2014). National BIM Standard. < <http://www.nationalbimstandard.org/about.php>>. Acessado em 20/06/2014.

PAZLAR, T.; TURK, Z. **Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard**, ITcon, v. 13, special issue, p. 362-380, 2008. Disponível em: <http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2008_24>. Acessado em 20/06/2014.

TARRAFA, D. G. P. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas**. 60 f. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

TEKLA, **Tekla Structures**. 2014. Disponível em: < <http://www.tekla.com/international%20products/tekla-structures/full/Pages/Default.aspx>>. Acesso em: 20/06/2014.