



## **INTEROPERABILIDADE ENTRE PLATAFORMA BIM E FERRAMENTA DE ANÁLISE ESTRUTURAL UTILIZANDO INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)**

**Gustavo H. A. Freire**

**Luiz F. Martha**

**Elisa D. Sotelino**

gustavofreire@me.com

lfm@tecgraf.puc-rio.br

sotelino@puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Rua Marquês de São Vicente, 225 - 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Resumo.** *A crescente difusão e aplicação dos processos BIM na indústria AEC vem agrupando diferentes atores das mais variadas disciplinas e lugares em um mesmo projeto. A velocidade com que as informações são passadas atualmente, torna necessária a busca pela maior eficiência na prática do BIM. O fluxo de trabalho necessita ser melhorado para atender à demanda do mercado nos prazos cada vez mais curtos. Um dos grandes obstáculos que surge nos processos BIM é a falta de flexibilidade na utilização dos softwares, ocorrendo muitos problemas de incompatibilidade de informações dentro de um projeto. A interoperabilidade passa a ser um assunto mundialmente discutido e buscado. Foi criado um formato neutro para intercâmbio de informações nas indústrias AEC, o Industry Foundation Classes (IFC). A dificuldade ocorre na criação, adoção e implementação de um formato que consiga representar de maneira correta os mais variados elementos relacionados às diferentes disciplinas envolvidas no projeto. Este artigo tem como objetivo a avaliação da interoperabilidade nos processos BIM com base em um modelo paramétrico de estrutura de concreto armado utilizando o IFC como formato neutro de troca. Analisa de forma relativa a eficiência com que as informações são trocadas entre Plataforma BIM e Ferramentas de Análise Estrutural.*

**Palavras-chave:** *BIM, Interoperabilidade, IFC*

# 1 INTRODUÇÃO

“A utilização de tecnologias de informação na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem sido apontada como um dos caminhos para reduzir os desperdícios e ineficiências característicos desta indústria.”(PATACAS, 2012). No que tange à área de projetos, com os avanços tecnológicos e a existência de ferramentas computacionais cada vez mais potentes, há uma busca contante por uma maior eficiência no processo produtivo.

Aquele projeto que antes era criado na prancheta e que entrou na era digital com a criação de documentos eletrônicos, principalmente com a utilização da tecnologia CAD (*Computer Aided Design*) 2D e, posteriormente 3D, finalmente alcançou a era BIM (*Building Information Modeling*). Apesar de que o uso da tecnologia CAD ainda seja predominante no mercado, sem que esteja envolvida em um processo BIM, a nova tecnologia é, de acordo com Eastman et al. (2008), um dos mais promissores desenvolvimentos nas indústria AEC.

A crescente competitividade de mercado trouxe consigo a necessidade de redução de custos desnecessários e não previstos, a diminuição de prazos e assim, a otimização dos processos existentes na indústria AEC, que compreendem desde a concepção inicial dos projetos até a fase de construção e entrega do produto. “Atualmente, o processo de entrega se mantém fragmentado e depende de comunicação baseada em papéis.”(EASTMAN et al., 2008). Isto é, o modelo atual fundamentado nos sistemas CAD e em entregáveis de papel é bastante suscetível a erros, já que o que se tem são diversas pessoas e equipes trabalhando no mesmo projeto, com os mais variados arquivos e versões do mesmo nas diferentes disciplinas envolvidas, exigindo um controle rigoroso e enorme esforço pelas equipes de gestão e compatibilização de projetos.

Criou-se então a necessidade de abandonar o modelo de projeto hierárquico, o qual, segundo Florio (2007), é aquele que um líder decide, comanda e centraliza todo o processo, assumindo toda a responsabilidade para si do processo de projeto, e adotar um modelo de projeto colaborativo, no qual todos os envolvidos no desenvolvimento do projeto trabalham de forma integrada e coordenada de forma a colaborar (como a própria nomenclatura sugere) uns com os outros na criação e inserção de dados no projeto. Sendo assim, a prática do processo BIM e adoção de softwares baseados nesta tecnologia, se tornam necessários para a evolução como um todo na construção civil.

No entanto, não é possível implantar um ambiente de trabalho colaborativo sem que haja uma iniciativa para lidar com comunicação entre os envolvidos. É cada vez mais comum a necessidade do desenvolvimento de projetos em que diferentes equipes, de diferentes países, devem trabalhar juntos de maneira colaborativa e simultânea. A falta de padronização na indústria AEC, aliada à necessidade de abranger diferentes disciplinas de diferentes áreas, dificulta o desenvolvimento de softwares que possam atender todas as necessidades da indústria a nível global. Estes fatores ocasionam o surgimento de muitas ferramentas computacionais específicas para a execução de determinadas tarefas e estas ferramentas devem ser capazes de se comunicar entre elas.

Com isso, surge um conceito que vem cada vez mais sendo abordado no mundo todo: a interoperabilidade. Buscando cada vez mais possibilitar a adoção de um melhor fluxo de trabalho nos processos BIM, em ambiente cada vez mais colaborativo, criou-se um formato neutro que visa armazenar informações que envolvem todo o ciclo de vida de qualquer empreendimento no contexto da indústria AEC. Este formato de arquivo é denominado *Industry Foundation Classes* (IFC).

## 1.1 Motivação e Objetivo

Com a crescente busca por adoção da metodologia BIM em projetos da indústria AEC, tendo em vista todas as vantagens que esse processo pode trazer ao projeto quando devidamente implantado, surge também a necessidade de comunicação e compatibilidade entre as ferramentas computacionais utilizadas no processo.

Tendo em vista que a proposta principal da metodologia BIM é de justamente promover a desfragmentação do processo de desenvolvimento de projeto com a utilização de um modelo único, paramétrico, onde todas as informações de todo o ciclo de vida do empreendimento devem estar contidas, surge a necessidade da utilização do formato neutro IFC como base para um processo centralizado e interoperável.

De maneira mais específica, dentro de um processo BIM, em um contexto relacionado à troca de informação entre softwares responsáveis pela modelagem paramétrica físico-estrutural e ferramentas computacionais de análise estrutural, as quais operam com base em modelos representados por uma abstração do modelo físico, surgem diversas dúvidas a respeito de como essa informação é passada e o quão consistente o modelo analítico gerado pode ser.

Neste trabalho propõe-se a avaliação de interoperabilidade para modelo de estrutura de concreto armado entre Plataforma BIM de modelagem e Ferramentas BIM de Análise Estrutural utilizando o IFC como formato neutro de arquivo para intercâmbio de informações entre os envolvidos.

## 2 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

BIM é um processo baseado em um modelo inteligente para planejamento, projeto, construção e gerenciamento de obras que cria mais do que apenas modelos 2D ou 3D, utilizando-se de uma modelagem paramétrica, onde os objetos possuem inteligência, geometria e dados inerentes a eles. “Um modelo paramétrico é uma representação computacional de um projeto constituído de entidades geométricas que possuem atributos (propriedades) que são fixas e outras que podem variar.” (HERNANDEZ, 2006).

Os modelos BIM possuem dados que são consistentes, não-redundantes e coordenados de maneira que, quando ocorre alguma mudança em um componente, esta é observada em todas as vistas do modelo, as quais são representadas de maneira também coordenada.

O poder do BIM está nas informações contidas no modelo e o que se pode fazer com elas, sendo que em qualquer ponto do ciclo de vida do empreendimento as informações vão estar presentes no arquivo, para reduzir a ocorrência de erros e retrabalhos.

Segundo Holness e Gordon (2006), os benefícios da aplicação do BIM podem ser substanciais, com economia em potencial nos custos de construção variando de 15% a 40% com reduções paralelas nos cronogramas de obra e melhorias na qualidade, possibilitando, inclusive, a incorporação de conceitos de construtibilidade e sustentabilidade ao projeto.

O processo BIM ajuda todos os envolvidos em um projeto a coordenar os dados e ter comunicação direta com todos os integrantes da equipe, trabalhando no mesmo modelo e tendo o conhecimento das diferentes disciplinas envolvidas transferido com fluidez entre todos, o que contribui para aumentar a precisão das informações e reduzir o retrabalho. BIM tem o potencial

de promover maior eficiência e harmonia inclusive entre os envolvidos que, anteriormente, se consideravam adversários, afirma Azhar et al. (2008 apud AZHAR, 2011).

## 2.1 Plataformas e Ferramentas BIM

Eastman et al. (2008) fez uso explícito de alguns termos muito utilizados informalmente para designar a hierarquia existente nos aplicativos baseados em BIM e dividiu em três categorias: Ferramenta BIM, Plataforma BIM e Ambiente BIM.

Entende-se como Ferramenta BIM aquele aplicativo que foi designado para a realização específica de uma tarefa e que produz como documento de saída um resultado também específico, como por exemplo, ferramentas de análise estrutural. Os documentos produzidos pelas Ferramentas BIM geralmente são padronizados, como relatórios e desenhos, todavia em alguns casos é possível exportar os resultados para outras ferramentas para, por exemplo, levantamento de quantitativos para estimativa de custos.

As chamadas Plataformas BIM são softwares normalmente para projeto, que geram dados para múltiplos usuários. Geram um modelo de dados primário que armazena estas informações na plataforma. A grande maioria das plataformas BIM também internamente incorporam funcionalidades de ferramentas como, por exemplo, a produção de desenhos e *detecção de Clash*, sendo esta última, segundo VicoSoftware (2015), o processo de integrar vários modelos entre si e verificar possíveis inconsistências a serem resolvidas. Além de tudo isso, as plataformas comumente incorporam interfaces para múltiplas outras ferramentas com variados níveis de integração.

O surgimento de ambientes BIM ocorre quando se começa a gerenciar um ou mais canais de informação que integram as aplicações (ferramentas e plataformas) dentro de uma empresa. O ambiente, então criado, suporta políticas e práticas de informação dentro de uma organização. Geralmente estes ambientes não são conceituados, crescem dentro da firma pelas necessidades que vão surgindo, e acabam sendo convencionados com a referida nomenclatura.

## 3 MODELO FÍSICO-ESTRUTURAL E MODELO ANALÍTICO

O modelo analítico que, segundo Martha (2010), pode também ser chamado de modelo estrutural ou matemático, incorpora todas as teorias e hipóteses elaboradas para descrever o comportamento da estrutura em função das diversas solicitações, sendo considerado como o segundo nível de abstração da análise estrutural sendo o primeiro, o mundo físico, isto é, o nível que representa a estrutura real tal como é construída.

No decorrer deste trabalho, quando utilizada a classificação “físico-estrutural”, trata-se de um modelo físico que representa a estrutura a ser posteriormente analisada, possibilitando previamente a introdução de considerações do projetista ao modelo, visando a geração de um modelo analítico mais consistente nas etapas subsequentes.

## 4 INTEROPERABILIDADE

Na seção anterior, conceituou-se BIM e foi abordado sobre o uso de novas metodologias de desenvolvimento de projeto baseado em um trabalho colaborativo, como por exemplo o IPD

(*Integrated Project Delivery*). No entanto, não é possível abordar temas como IPD e trabalho colaborativo sem citar a interoperabilidade que deve existir para que o processo funcione.

Um estudo do NIST (sigla para *National Institute of Standards and Technology*) em 2004 aponta a falta de interoperabilidade entre os softwares AEC como um custo para a indústria de \$15,8 bilhões anualmente (AIA, 2007, p. 3). Estatísticas como essa, demonstram a importância de se buscar a interoperabilidade e o seu aperfeiçoamento.

Múltiplas aplicações, com sobreposição de seus respectivos requisitos de dados, suportam várias atividades relacionadas ao projeto e construção. Interoperabilidade é a capacidade de trocar informação entre as aplicações, suavizando fluxos de trabalho e algumas vezes facilitando a automação (EASTMAN et al., 2008, p. 99). De uma maneira mais geral, é a habilidade de dois ou mais sistemas ou componentes trocarem informação e usarem essa informação que foi trocada (COMMITTEE, 1990, p. 114). A interoperabilidade se tornou então sinônimo da capacidade de sistemas de múltiplas informações coexistirem, interagirem e compreenderem um ao outro durante funcionalidades de troca (CHEN; DAHLIN et al., 2006).

Iniciando no final da década de 80, modelos de dados foram desenvolvidos para dar suporte à troca de informação de produto e modelo de objeto dentro das diferentes indústrias, liderados pelo esforço aplicado na criação da padronização internacional *ISO-STEP*. Modelos de dados distinguem o *schema*<sup>1</sup> utilizado para organizar os dados e a linguagem do *schema* para transportar os dados. Eastman et al. (2008) afirma ainda, que alguns tradutores são capazes de traduzir de uma linguagem de *schema* para outra, como por exemplo de *IFC* para *XML*.

Os dois principais modelos de dados de produtos da construção são as *Industry Foundation Classes* (IFC), para planejamento da construção, projeto, execução e gerenciamento, e o *CIMsteel Integration Standard Version 2* (CIS/2), para armazenar informações de projetos de aço estrutural. Um outro exemplo de padrão STEP é o ISO-15926, para automação de sistemas industriais e integração.

De acordo com Eastman et al. (2008), foram distinguidos três tipos de aplicativos BIM: ferramentas, plataformas e ambientes, sendo relevantes para este trabalho apenas a conceituação dos dois primeiros tipos citados (ver item 2.1). Interoperabilidade suporta diferentes capacidades e apresenta diferentes problemas no intercâmbio de informações entre estes três tipos. A mais comum e fundamental ocorrência de troca de dados se dá entre plataforma e ferramenta BIM, como por exemplo, uma ferramenta de análise estrutural, podendo ocorrer de forma direta de um aplicativo para o outro, fazendo uso de uma API (normalmente ocorre entre softwares de um mesmo fabricante), ou utilizando os formatos neutros de arquivo, como o IFC, a fim de promover a interoperabilidade entre os softwares.

Nesta interação entre plataforma e ferramenta, porções específicas do modelo de dados nativo da plataforma (a estrutura de dados que a plataforma utiliza internamente) são traduzidas, sendo que esta tradução é realizada definindo, na plataforma, os dados necessários (chamado de um *model view*) e colocando esses dados no formato exigido pela ferramenta, completando com informações que não estão contidas no modelo original.

A troca de dados entre plataforma e ferramenta pode ser complexa. Extrair o modelo analítico para análise estrutural e determinar cargas relevantes ainda não é uma tradução au-

---

<sup>1</sup>Referente à estrutura geral das tabelas do banco de dados que armazenam as informações como perfil do usuário, metadados ou informação estruturada (LIMITED; SARGUNAR, 2011).

tomatizada comum, já que esta requer expertise e julgamento humano (EMKIN, 1988 apud EASTMAN et al., 2008).

## 4.1 Industry Foundation Classes - IFC

O *Industry Foundation Classes* (IFC) é um *schema* desenvolvido para definir um extenso conjunto consistente de representações de dados de informação da construção para intercâmbio entre aplicações de software da indústria AEC. O formato IFC tem como base a linguagem e conceitos ISO-STEP<sup>2</sup> EXPRESS para a sua definição, com algumas pequenas restrições na linguagem EXPRESS.

Enquanto a maioria das outras tentativas baseadas no padrão ISO-STEP focaram na troca detalhada de informações entre os softwares dentro dos domínios específicos da engenharia, pensava-se que na indústria da construção isso levaria a resultados fragmentados e um conjunto de padrões incompatíveis. Ao invés disso, o IFC foi projetado como um modelo de *framework* extensível. Isto é, os desenvolvedores do *schema* projetaram para que o IFC oferecesse definições amplas e gerais dos objetos e dados a partir dos quais modelos mais detalhados e específicos para a realização de uma tarefa poderiam ser definidos.

Sendo assim, o IFC foi projetado para atender todas as informações da construção, ao longo de todo o ciclo de vida, desde a viabilidade e planejamento, passando pelo projeto, incluindo a análise e simulação, construção, ocupação e, até mesmo operação do empreendimento (KHEMLANI, 2004).

## 4.2 Information Delivery Manual - IDM

As implementações IFC permitem aos usuários que acessem um modelo de dados BIM altamente estruturado e com objetos atribuídos a ele. Para que haja acesso ao modelo, uma interface de programação de aplicativos (API) é utilizada de acordo com seus direitos predefinidos. No entanto, o *schema IFC*, segundo Eastman e Sacks (2010, p. 02), não define os requisitos de intercâmbio de informação específicos para os diferentes estágios do projeto e, ainda, entre os diferentes atores envolvidos e aplicativos de software, o que dificulta o desenvolvimento de interfaces de software IFC úteis.

Ainda de acordo com Eastman e Sacks (2010), os desenvolvedores de software e usuários demandam guias de implementação de IFC que permitam focar em usar casos de interesse e garantir compatibilidade com outras implementações de software, garantindo assim uma melhor interoperabilidade.

O padrão ISO 29481-1:2010 “Building information modeling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format” foi desenvolvido pela *buildingSMART* com o intuito de criar uma metodologia para capturar e especificar processos e fluxo de informação durante o ciclo de vida do empreendimento (BUILDINGSMART, 2015a).

---

<sup>2</sup>STEP (STandard for the EXchange of Product model data) é o nome oficial da norma ISO 10303, cuja tradução possível seria "Padrão para o Intercâmbio de Dados de Produtos". Trata-se de um padrão internacional para a integração, apresentação e o intercâmbio de dados de produtos industriais, via computador, desenvolvido e mantém-se pelo comitê técnico ISO TC 184, sistemas de automação e integração industriais, subcomitê SC4 dados industriais.

A metodologia pode ser usada para documentar processos já existentes ou novos, e descrever a informação associada que deve ser compartilhada entre as equipes de trabalho (BUILDINGSMART, 2015a).

Assim, o desenvolvimento de IDMs e MVDs (ver seção 4.3) tem sido uma iniciativa significativa para resolver o problema da interoperabilidade entre os diferentes softwares das mais variadas disciplinas inseridas em um projeto, identificando o subconjunto do modelo de dados IFC necessário para suportar os processos de negócio definidos pelo usuário.

É importante frisar que para tornar uma IDM operacional esta deve ser devidamente suportada pelo software. O propósito principal do IDM é assegurar que os dados relevantes estão sendo passados de forma precisa e suficiente para as atividades a serem realizadas.

De um modo geral, o que se espera do IDM é a descrição dos processos do empreendimento com a especificação das informações dentro do ciclo de vida do projeto AEC para tornar possível se beneficiar completamente de uma significativa melhora no processo e do compartilhamento de informações.

### 4.3 Model View Definition - MVD

Segundo buildingSMART (2015b), um *Model View Definition* (MVD), ou *IFC View Definition*, define um subconjunto do schema IFC, o qual é necessário para satisfazer um ou mais requerimentos de troca de informação na indústria AEC. O método usado e propagado pela buildingSMART para definir tais requerimentos é o *Information Delivery Manual*, IDM, que será tratado mais adiante neste trabalho.

Enquanto que o requerimento de troca de informações independe da versão do IFC, o MVD é dependente de cada versão de IFC lançada.

Atualmente, a versão mais usual e suportada pelas ferramentas computacionais envolvidas é a *IFC2x3 Coordination View Version 2.0* e, como indicado na nomenclatura, foi desenvolvido para a versão IFC2x3 exclusivamente.

O *Coordination View* foi a primeira *Model View Definition* (MVD) desenvolvida pela *buildingSMART International* e seu propósito principal é permitir o compartilhamento de modelos de informação na construção entre as disciplinas de arquitetura, engenharia estrutural e serviços da construção (mecânica). Esta MVD contém definições da estrutura espacial, edificação e elementos relacionados aos serviços da construção, as quais são necessárias para coordenar informações de projeto entre as disciplinas (GRAPHISOFT, 2015).

De acordo com Eastman et al. (2008), o MVD identifica o que deve ser esperado de uma troca de informações para ser efetiva, ajudando os usuários de ambos os lados da troca. O exportador sabe o que é requerido e também o que não é requerido, assim como o receptor tem o conhecimento do que vai ser recebido e com o que vai trabalhar.

Além de beneficiar os usuários, é importante citar que, do ponto de vista dos implementadores do IFC, o MVD é algo de extrema importância, já que define o que deve ser de fato implementado para que tanto a exportação quanto a importação estejam sincronizadas. A adoção de MVDs, então, reduz significativamente, se não completamente, o possível conflito de informações ocasionado pela redundância do conteúdo de um modelo IFC.

#### 4.4 International Framework for Dictionaries - IFD

Com o objetivo de melhorar cada vez mais o fluxo de trabalho, buscando aprimorar a capacidade das ferramentas computacionais interoperarem, três fatores básicos devem ser levados em consideração (Figura 1): o formato para a troca de informação (IFC), uma especificação de que informação deve ser trocada e quando deve ser realizada essa troca (IDM), e um entendimento padronizado do que a informação que está sendo passada realmente representa (IFD).

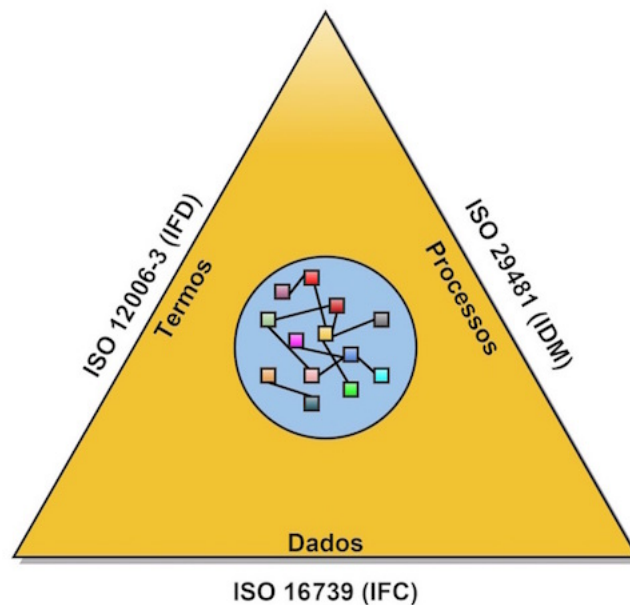


Figura 1: Pirâmide com os três conceitos básicos do OPEN BIM, adaptado de Buildingsmart (2015a).

Constatando que o IFC e o IDM já foram devidamente abordados neste trabalho, nesta sub-seção será tratado um pouco sobre o IFD.

O *International Framework for Dictionaries* (IFD), segundo Bell e Bjørkhaug (2006), é uma biblioteca aberta, onde conceitos e termos são semanticamente descritos e lhes é fornecido um número único de identificação. Isto permite que toda a informação contida no formato IFC seja rotulada com um *Globally Unique ID* (GUID).

Um exemplo que pode ser fornecido para o melhor entendimento do leitor é imaginar uma situação em que um arquiteto, quando fornece informações sobre o tipo dos materiais das vigas e colunas, utiliza uma *string* de texto simples. No entanto, mesmo que este profissional escreva de maneira correta, não há garantia de que o aplicativo que receberá a informação em sequência no fluxo de trabalho entenderá o que exatamente este *string* de texto significa (BELL; BJØRKHAUG, 2006). E se, por ventura, for utilizada uma outra linguagem, dialeto ou o plural de alguma palavra? É neste momento que se faz necessário o uso do IFD.

Enquanto o padrão IFC descreve objetos, como eles estão relacionados e como a informação deve ser trocada e armazenada, o padrão IFD se preocupa unicamente em descrever o que os objetos são e que partes, propriedades, unidades e valores eles podem ter. O padrão IFD (ISO 12006-3) fornece dicionários, as definições dos conceitos e, assim, o entendimento comum necessário para a comunicação fluir da melhor forma possível (BJØRKHAUG, 2003 apud BELL; BJØRKHAUG, 2006).



O IFD, além de atribuir a cada conceito um GUID, também atribui a estes um conjunto de nomes e definições em diferentes idiomas. Entretanto, um nome pode também estar referido a múltiplos conceitos dentro da biblioteca. Enquanto o identificador é utilizado para coletar informações, os nomes e definições são usados meramente para comunicar a idéia para o usuário final. O IFD também permite classificar e estruturar informações de múltiplas maneiras. Na teoria todos os sistemas de classificação existentes podem ser recriados e interconectados dentro de uma biblioteca comum com o uso do IFD.

A adoção do IFD como biblioteca de referência para a informação contida no IFC, baseado no IDM, permite, assim, uma perfeita padronização da informação a ser trocada, já que todos os *strings* passam a ser etiquetados com um ID referenciando um conceito em uma “framework” de ontologias. Isso facilita substancialmente a implementação do IFC em softwares e melhora consideravelmente a comunicação e interoperabilidade entre os diferentes aplicativos.

## 5 AVALIAÇÃO DE INTEROPERABILIDADE UTILIZANDO O IFC

### 5.1 Aplicativos utilizados

Para a realização da avaliação de interoperabilidade utilizando o formato IFC, foram utilizados diversos tipos de software relacionados principalmente à Modelagem arquitetônica/estrutural e Análise Estrutural.

A Tabela 1 lista os softwares utilizados neste trabalho e sua devida classificação adotada dentro da metodologia BIM.

**Tabela 1: Softwares utilizados na avaliação de interoperabilidade.**

<b>Plataforma BIM de Modelagem</b>
Autodesk Revit 2015
<b>Ferramentas de Análise Estrutural</b>
Autodesk Robot Structural Analysis 2015
SAP2000 v15
SAP2000 v17
ETABS 2013
CYPECAD 2012
<b>Gerenciamento e visualização de arquivos</b>
xBIM Xplorer v2.4.1.28
Solibri Model Viewer v9.1

Dentre os aplicativos citados na Tabela 1, além dos softwares diretamente envolvidos em processos BIM, como as plataformas de modelagem e as ferramentas de análise estrutural,

tem-se aqueles classificados como programas para gerenciamento de arquivos IFC, como por exemplo o *xBIM Xplorer* e o *Solibri Model Viewer*. Estes permitem também a visualização de arquivos IFC e são utilizados neste trabalho para validar o modelo IFC.

## 5.2 Metodologia Aplicada

Com o objetivo de avaliar a interoperabilidade entre Plataforma BIM de Modelagem e Ferramentas BIM de Análise Estrutural, utilizando o IFC como formato de troca de informação, num contexto que demonstre explicitamente como o formato neutro e sua implementação lidam com as diferentes representações envolvidas, foi criado um modelo físico-estrutural simples de concreto armado no *Autodesk Revit 15* (denominado modelo padrão, Figura 2) e posteriormente exportado para o modelo IFC2x3 com base na *MVD Coordination View 2.0*.

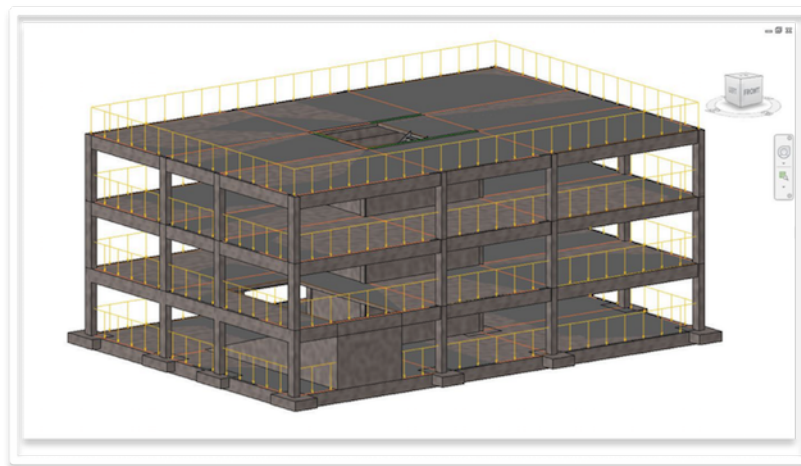


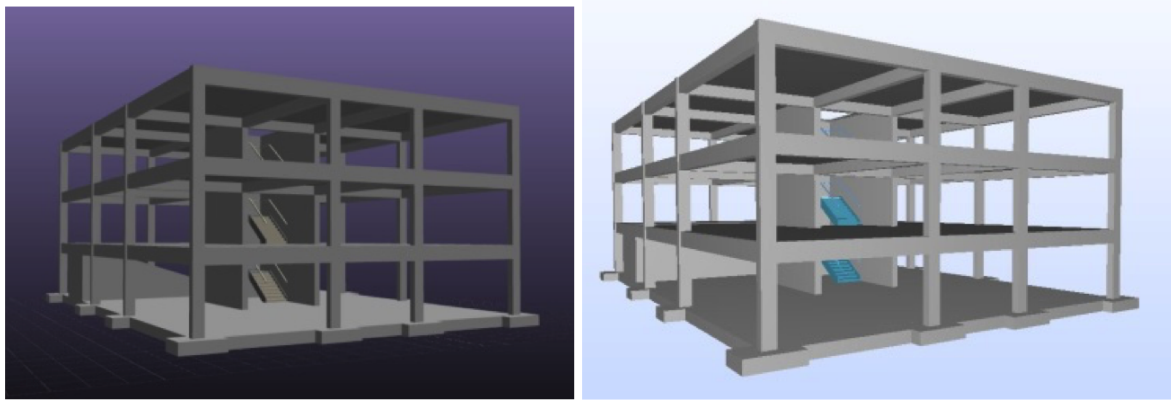
Figura 2: Modelo Padrão.

De posse do modelo IFC, foram utilizados o *Solibri Model Viewer* e o *xBIM Xplorer* para visualizar e prover validade ao mesmo através da comparação com o modelo padrão criado no *Autodesk Revit 15*.

Validado, o modelo IFC gerado foi então importado pelas Ferramentas BIM de Análise Estrutural citadas na sub-seção anterior para a realização da fase de testes de interoperabilidade e documentação de possíveis inconsistências que surgirem no processo de intercâmbio de informações com a utilização do formato neutro.

## 5.3 Validação do Modelo IFC

Primeiramente foi feita uma análise da geometria global do modelo IFC e da existência de todos os elementos originalmente modelados utilizando o *Solibri Model Viewer* e o *xBIM Xplorer* (Figura 3). Com o modelo verificado nesta primeira etapa, o próximo passo foi a análise das propriedades inerentes aos elementos contidos no modelo, a qual foi realizada manualmente, na ausência de método que automatizasse essa verificação. O processo de validação é caracterizado como iterativo, já que, caso o modelo não seja validado, o mesmo deve ser revisado de modo a buscar uma melhor solução para geração de um modelo IFC consistente, muitas vezes sendo necessário reavaliar as considerações de modelagem no software exportador do IFC (para este trabalho foi o *Revit 15*).

(a) Modelo visualizado no *xBIM Explorer*.(b) Modelo visualizado no *Solibri Model Viewer*.**Figura 3: Modelo visualizado nos validadores IFC.**

Quanto às cargas aplicadas no modelo original no *Revit*, verificou-se, segundo Liebich et al. (2013), que as mesmas não são tratadas dentro da MVD utilizada (*Coordination View 2.0*) e portanto, desconsideradas para as avaliações subsequentes neste trabalho.

O modelo foi assim validado, após uma série de testes de consistência e, pôde seguir para a avaliação de interoperabilidade utilizando o formato IFC entre softwares que podem participar de um processo BIM.

## 5.4 Inconsistências Encontradas

Após validado, o modelo IFC gerado a partir de um modelo físico-estrutural criado no *Autodesk Revit 15* foi importado por cada uma das ferramentas BIM citadas na sub-seção 5.1 para avaliação da interoperabilidade.

Como esperado, foram constatadas algumas inconsistências na troca de informação para o contexto analisado, onde o modelo IFC foi gerado a partir de uma Plataforma BIM de modelagem. As inconsistências encontradas foram:

### 5.4.1 Perda de Elementos

Ao importar o modelo IFC, foram constatadas perdas de alguns elementos nas ferramentas computacionais analisadas e relacionadas na Tabela 2.

### 5.4.2 Modelo Analítico

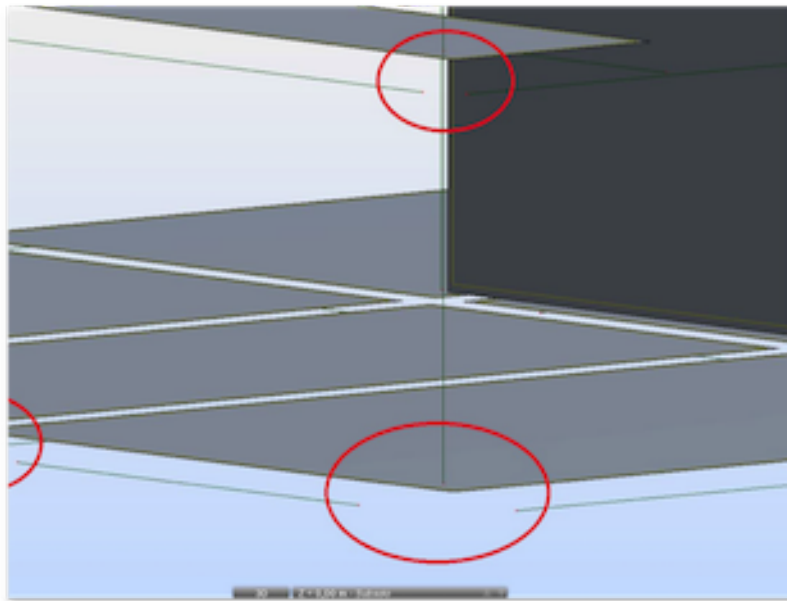
Quanto ao modelo analítico, para todas as Ferramentas de Análise Estrutural avaliadas, apresentou nós desconectados, caracterizando uma descontinuidade e, assim um modelo inconsistente, como pode ser observado na Fig. 4.

### 5.4.3 Rotação de elementos (orientação)

Alguns elementos do modelo gerado a partir da importação do arquivo IFC apresentaram inconsistência quanto à orientação dos mesmos em relação ao eixo longitudinal, estando assim rotacionados incorretamente. Estes elementos estão relacionados na Tabela 3 juntamente com o software onde houve a ocorrência.

**Tabela 2: Softwares que apresentaram perda de elementos.**

ELEMENTOS	OCORRÊNCIA
Aberturas das Lajes	SAP2000 e ETABS 2013
Apoios	Todos os softwares analisados
Escada	Todos os softwares analisados
Rampa	Todos os softwares analisados
Rampa	Todos os softwares analisados

**Figura 4: Nós do modelo analítico desconectados.****Tabela 3: Elementos rotacionados e ferramentas computacionais correspondentes.**

ELEMENTOS	OCORRÊNCIA
Vigas	Autodesk Robot Structural Analysis 2015
Pilares	SAP2000 e ETABS 2013

## 6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Encerrada a etapa de avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC e de posse de uma série de dados resultante das observações realizadas previamente, é chegado o momento de realizar a análise destas informações, e assim, organizar de forma sucinta e facilmente compreensível os resultados.

Para realizar esta análise comparativa de eficiência da interoperabilidade entre os diferentes casos observados, foram adotados conceitos qualitativos, aos quais foram atribuídos pontos como uma forma de quantificar e mensurar os dados observados, mediante critérios adotados.

Os conceitos utilizados foram **E** - Excelente; **S** - Satisfatório; **R** - Razoável; **I** - Informação insuficiente; e **A** - Ausente ou Inconsistente. A pontuação foi distribuída de tal forma que o conceito “**E**” vale 8 pontos, “**S**” 6 pontos, “**R**” 4 pontos, “**I**” 2 pontos e “**A**” 0 pontos.

Para atribuição dos conceitos aos critérios analisados, verificou-se o percentual de elementos em conformidade com o modelo original, de acordo com a Tabela 4, como forma de padronizar e reduzir a subjetividade da análise.

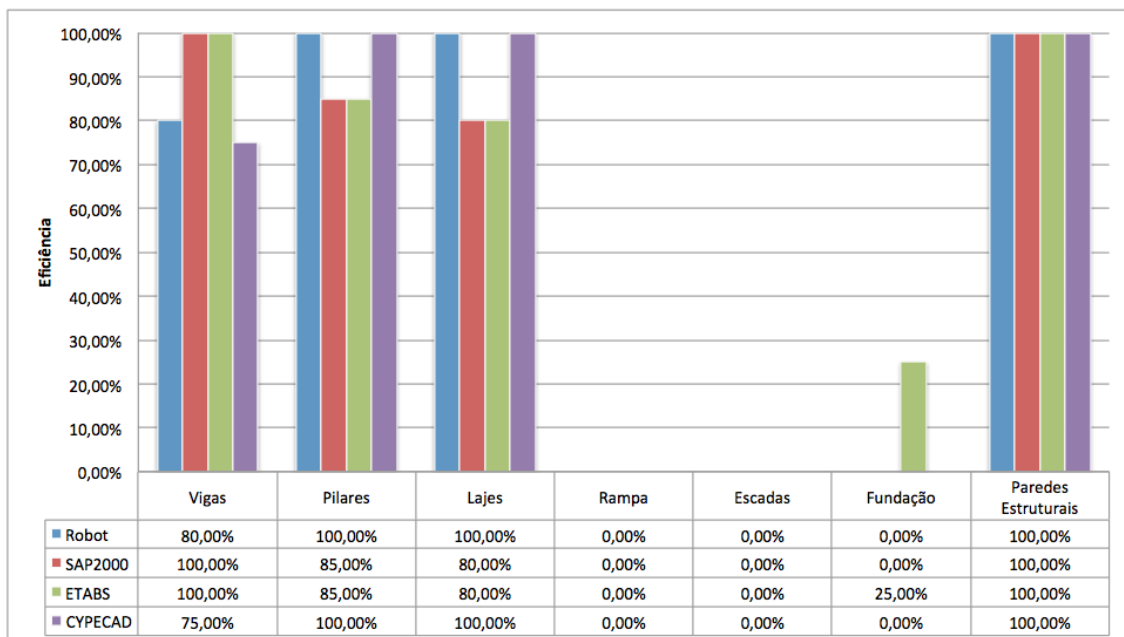
**Tabela 4: Percentual de elementos em conformidade para atribuição de conceitos.**

CONCEITO	ELEMENTOS EM CONFORMIDADE (%)
Excelente	$\geq 90\%$
Satisfatório	$70\% \leq \% < 90\%$
Razoável	$50\% \leq \% < 70\%$
Informação Insuficiente	$0\% < \% < 50\%$
Ausente ou Inconsistente	0%

Foram analisadas vigas, pilares, lajes, rampa, escadas, fundação e paredes estruturais, sendo que cada item foi avaliado sob critérios específicos e subjetivamente considerados relevantes para cada caso.

Os critérios básicos considerados relevantes para a avaliação dos elementos estão discriminados e detalhados na Tabela 5.

De posse dos resultados obtidos a partir da avaliação realizada, foi possível medir a eficiência do intercâmbio da informação relativa a cada elemento analisado para cada ferramenta computacional avaliada (Figura 5) .



**Figura 5: Eficiência do processo de intercâmbio de informações utilizando o IFC.**

**Tabela 5: Critérios adotados para avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC.**

CRITÉRIO	DEFINIÇÃO
Existência	Avalia quantos elementos foram representados do total originalmente modelado.
Geometria	Avalia se foram mantidas as seções transversais de cada elemento e suas propriedades físicas.
Material	Avalia se o material atribuído ao elemento em análise foi devidamente mantido.
Posicionamento	Avalia se o elemento em análise está devidamente posicionado de acordo com o modelo original.
Rotação (orientação)	Avalia a orientação do elemento em relação ao seu eixo longitudinal, verificando se o mesmo está devidamente rotacionado.
Contornos	Avalia os contornos de elementos planos como lajes e paredes estruturais se estão de acordo com o que foi originalmente modelado.
Aberturas	Avalia se as aberturas da laje, existentes no modelo original, foram mantidas.
Espessura	Avalia se a espessura de elementos planos como lajes e paredes estruturais foram devidamente importadas.
Reconhecimento das C.C	Avalia se foram reconhecidas condições de contorno a partir da fundação modelada originalmente para consolidação do modelo analítico.

Com base nos valores relativos a eficiência de troca de informação de cada elemento por ferramenta analisada, mostrados na Fig. 5 foi elaborada a Tabela 6, a partir da qual verificou-se variância e desvio padrão muito expressivos nos elementos de rampa, escadas e fundação com eficiência muito abaixo da média, o que tornou necessária a realização de uma nova abordagem para lidar com esses dados.

Nesta nova abordagem seria então considerada a possibilidade de simplesmente eliminar os elementos de rampa, escadas e fundação da avaliação com a justificativa de que, no contexto da análise estrutural, estes são elementos que muitas vezes estão em um nível acima de abstração, representados por carregamentos aplicados nos elementos ou restrições, no caso da fundação. Portanto, estas considerações cabem ao calculista, que por sua vez, utiliza seu *expertise* para representar da maneira mais adequada o modelo estrutural, segundo recomendações normativas da região.

Assim, desconsiderando a troca das informações referentes aos elementos de rampa, escadas e fundação na análise de eficiência de interoperabilidade, uma nova média de eficiência, 38,88% mais alta que a anterior, foi alcançada (Figura 7), com um desvio padrão bem reduzido, o que torna as informações avaliadas mais coerentes quando comparadas ao intercâmbio

**Tabela 6: Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade, incluindo todos os elementos analisados.**

Elementos	Eficiência	Média	Variância	Desvio Padrão
Vigas	88,75%		12,13%	34,82%
Pilares	92,50%		14,88%	38,57%
Lajes	90,00%		13,01%	36,07%
Rampa	0,00%	<b>53,93%</b>	29,08%	53,93%
Escadas	0,00%		29,08%	53,93%
Fundação	6,25%		22,73%	47,68%
Paredes Estruturais	100,00%		21,23%	46,07%

de informações entre Plataformas BIM, analisados em seção prévia.

**Tabela 7: Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade, excluindo rampa, escadas e fundação.**

Elementos	Eficiência	Média	Variância	Desvio Padrão
Vigas	88,75%		0,17%	4,06%
Pilares	92,50%	<b>92,81%</b>	0,00%	0,31%
Lajes	90,00%		0,08%	2,81%
Paredes Estruturais	100,00%		0,52%	7,19%

Deste modo, conclui-se que a interoperabilidade entre Plataforma BIM e Ferramenta BIM de Análise Estrutural, utilizando o formato neutro IFC, ocorre de maneira satisfatória, com algumas limitações citadas anteriormente, que exigem a intervenção e adequação por parte do calculista, ocasionando assim, um certo retrabalho e consequente perda de tempo.

## 7 CONCLUSÃO

A relevância que a interoperabilidade possui para a evolução da indústria AEC é notável. A busca por uma maior eficiência nos processos BIM, através da utilização do IFC como formato neutro e de código aberto, de modo a proporcionar uma melhora significativa nos fluxos de trabalho no setor, é cada vez mais expressiva. Este trabalho buscou avaliar e documentar, de forma relativa, a eficiência no intercâmbio de informações entre Plataforma BIM de modelagem e Ferramentas de Análise Estrutural em um contexto que envolve diferentes representações de um mesmo, demonstrando, de certa forma, a capacidade do formato IFC e de sua implementação nos softwares de lidar com a variedade de informações da indústria.

Avaliou-se a mais comum das relações de troca ocorridas em processos BIM: entre Plataforma e Ferramentas. O modelo IFC criado a partir do *Revit* (Plataforma BIM) foi importado por diversas ferramentas de análise estrutural com o intuito de conhecer até onde se pode confiar neste intercâmbio de informações. Para este tipo de troca específico, onde há uma diferença no nível de abstração do modelo a ser trocado, tendo de um lado o modelo físico-estrutural e do outro o modelo analítico, diferentes critérios devem ser avaliados.

Essa diferença entre o modelo físico e o analítico (abstrato) torna previsível a ocorrência de descontinuidades no modelo criado para análise estrutural. Surgem, então, nós desconectados que tornam o modelo inconsistente e passível de intervenção do engenheiro estrutural para devidas adequações. Além disso, alguns outros dados relevantes para a análise estrutural também são perdidos no processo, como as condições de contorno, representando as restrições impostas pela fundação, e, ainda, elementos estruturais “secundários”, muitas vezes representados por carregamentos equivalentes aplicados, como rampa e escadas.

Para este trabalho, desconsiderou-se as possíveis, inconsistências apresentadas no parágrafo anterior para o intercâmbio de informações entre Plataformas BIM de modelagem e Ferramentas de Análise Estrutural, tendo em vista que são justificáveis por dependerem das considerações do projetista.

Sob estas condições e seguindo a metodologia utilizada neste trabalho, a troca de informação entre Plataforma e Ferramenta BIM demonstrou-se bastante eficaz, tendo uma média de eficiência de intercâmbio entre os casos relacionados de 92,81% . Entretanto, vale ressaltar que mesmo que a média de eficiência de interoperabilidade encontrada tenha sido bastante significativa, o esforço por parte do projetista para tornar o modelo consistente e pronto para análise ainda é muito expressivo, necessitando em potencial de uma grande quantidade de dados a serem informados pelo usuário.

A prática do Open BIM<sup>3</sup>, isto é, a utilização do formato neutro IFC como padrão de troca de informações, confere à indústria AEC inúmeras vantagens como, por exemplo, uma significativa melhora nos fluxos de trabalho, a criação de projetos mais consistentes, incorporando conceitos de sustentabilidade e construtibilidade, além de uma maior confiabilidade nos resultados obtidos. A tendência é promover cada vez mais a integração e automação no processo de elaboração de projetos, entrega e até mesmo execução.

Ao final deste trabalho, pode-se concluir que a interoperabilidade entre softwares em processos BIM, utilizando o IFC como formato neutro de troca de informação, já é realidade. Cada vez mais se busca a adoção e utilização da metodologia BIM na indústria AEC e, ainda, é crescente a necessidade de se ter um melhor fluxo de trabalho, com colaboratividade entre os envolvidos e resultados mais precisos.

O futuro da interoperabilidade utilizando o IFC pode estar relacionado à capacidade do formato cada vez mais armazenar e transportar com eficiência e segurança a grande variedade de dados envolvidos em todo o ciclo de vida do empreendimento. Para isto, deve haver o desenvolvimento de MVDs cada vez mais robustas e bem conceituadas (a partir das IDMs correspondentes), e devida implementação do IFD como uma forma de padronizar, através da atribuição de identificadores globais únicos (GUIDs), a informação a ser trocada entre os

---

<sup>3</sup>Prática interoperável dentro de processo BIM baseada em padrões abertos de troca de informação, como por exemplo o IFC.



softwares inseridos no contexto BIM.

## REFERÊNCIAS

AIA, T. A. I. o. A. *Integrated Project Delivery: A Guide*. The American Institute of Architects, 2007. 57 p. Acesso em: 2 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/document/aiab085539.pdf>>.

AZHAR, S. Building information modeling (bim): Trends, benefits, risks, and challenges for the aec industry. *Leadership and Management in Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011.

AZHAR, S. et al. Building information modeling (bim): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. *Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries*, p. 435–446, 2008.

BELL, H.; BJØRKHAUG, L. A buildingsmart ontology. In: *Proceedings of the 2006 ECPPM Conference*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 185–190.

BJORKHAUG, L. Conference Paper, *Use of building product models and reference data libraries for project and quality management*. in-house publishing, 2003. approx. 9 p. p. Disponível em: <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1507.pdf>>.

BUILDINGSMART. *Information Delivery Manuals*. 2015. [Online; acessado em 02 de março de 2015]. Disponível em: <<http://iug.buildingsmart.org/idms>>.

BUILDINGSMART. *Model View Definition Summary*. 2015. [Online; acessado em 26 de fevereiro de 2015]. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-view-definition/summary>>.

CARVALHO, M. A. *Eficácia de interoperabilidade no formato IFC entre modelos de informação arquitetônico e estrutural*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Junho 2013.

CHEN, D.; DACLIN, N. et al. Framework for enterprise interoperability. In: *Proc. of IFAC Workshop EI2N*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 77–88.

COMMITTEE, I. C. S. S. C. *IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, 610*. [S.l.]: IEEE, 1990. (ANSI / IEEE Std). ISBN 9781559370790.

EASTMAN, C.; SACKS, R. Introducing a new methodology to develop the information delivery manual for aec projects. *CIB W78*, p. 16–18, 2010.

EASTMAN, C. et al. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. [S.l.]: Wiley Publishing, 2008. ISBN 0470185287, 9780470185285.

EMKIN, L. Z. Computers in structural engineering practice: The issue of quality. *Computers & Structures*, v. 30, n. 3, p. 439 – 446, 1988. ISSN 0045-7949. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0045794988902751>>.

FLORIO, W. Contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura. *ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA*

CONSTRUÇÃO CIVIL, v. 3, 2007.

GRAPHISOFT. *Model View Definitions*. 2015. [Online; acessado em 27 de fevereiro de 2015]. Disponível em: <<http://helpcenter.graphisoft.com/guides/archicad-18-int-reference-guide/interoperability/file-handling-and-exchange/working-with-ifc/model-view-definitions/>>.

HERNANDEZ, C. R. B. Thinking parametric design: introducing parametric gaudi. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 309 – 324, 2006. ISSN 0142-694X. Digital Design Digital Design. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X05000876>>.

HOLNESS, G.; GORDON, V. R. H. Building information modeling. *ASHRAE journal*, v. 48, n. 8, p. 38, 2006. ISSN 0001-2491.

JEONG, Y.-S. et al. Benchmark tests for bim data exchanges of precast concrete. *Automation in construction*, Elsevier, v. 18, n. 4, p. 469–484, 2009.

KHEMLANI, L. The ifc building model: A look under the hood. *AECbytes Feature*, p. 1–10, 2004.

LIEBICH, T. et al. Coordination view version 2.0 for ifc 2x3. *buildingSMART International*, 2013.

LIMITED, I. E. S.; SARGUNAR, J. *Introduction to Computer Science*. [S.l.]: Pearson Education India, 2011.

MARTHA, L. F. Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos. *Editores Campos*, 2010.

PATACAS, J. L. M. d. L. Metodologia para suporte de processos colaborativos na indústria da construção baseada em interoperabilidade e bim. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

VICOSOFTWARE. *Coordination and Clash Detection*. 2015. [Online; acessado em 17 de março de 2015]. Disponível em: <<http://www.vicosoftware.com/coordination-and-clash-detection/tabid/88208/>>.