

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**João Soliman Junior**

**PROJETO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM:  
POTENCIALIDADES E DIRETRIZES BÁSICAS DE  
MODELAGEM VISANDO AO ATENDIMENTO A  
ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO**

Porto Alegre  
novembro 2015

**JOÃO SOLIMAN JUNIOR**

**PROJETO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM:  
POTENCIALIDADES E DIRETRIZES BÁSICAS DE  
MODELAGEM VISANDO AO ATENDIMENTO A  
ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Carlos Torres Formoso**  
**Coorientadora: Luciani Somensi Lorenzi**

Porto Alegre  
novembro 2015

**JOÃO SOLIMAN JUNIOR**

**PROJETO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM:  
POTENCIALIDADES E DIRETRIZES BÁSICAS DE  
MODELAGEM VISANDO AO ATENDIMENTO A  
ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelos Coordenadores da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2015

Prof. Carlos Torres Formoso  
Ph.D. pela University of Salford, Grã-  
Bretanha  
Orientador

Profa. Luciani Somensi Lorenzi  
Dra. pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Coorientadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Carlos Torres Formoso**  
**(UFRGS)**  
Ph.D. pela University of Salford, Grã-  
Bretanha

**Luciani Somensi Lorenzi**  
**(UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

**Guilherme Von Der Heyde Fernandes**  
**(CAIXA)**  
Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul

**Miguel Esnaola**  
**(STUDIO PRUDENCIO)**  
Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais,  
pelo apoio e amor incondicionais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter permitido o desenvolvimento de meus estudos.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Inês e João, por sempre terem acreditado em mim, e por vivenciarem comigo mais este sonho.

Agradeço a Bruna, minha irmã, pelo carinho nas horas difíceis, pela presença constante em minha vida, e, principalmente, pela companhia ao longo deste caminho, que percorremos juntos.

Agradeço a todos os professores que por mim passaram, desde a educação infantil até os últimos professores da graduação. O que aprendi, até hoje, é um todo, composto por um pouco de cada um de vocês.

Agradeço ao Professor Carlos Torres Formoso, orientador deste trabalho, por ter confiado a mim este tema, por ter oportunizado o desenvolvimento da iniciação científica, desde o início da graduação, despertando em mim o interesse pela pesquisa, e, principalmente, pela dedicação e atenção ao longo desses últimos meses.

Agradeço a Professora Luciani Somensi Lorenzi, coorientadora deste trabalho, pela qualidade dos encontros que tivemos, pelo auxílio constante e sincero, e por ter acreditado, desde o princípio, no potencial deste trabalho e na minha capacidade em desenvolvê-lo.

Agradeço a Professora Carin Maria Schmitt, pela dedicação demonstrada ao longo do desenvolvimento deste trabalho, do início ao fim, e pelo auxílio imediato, indispensável à estruturação e à formatação do texto.

Agradeço a toda família do Norie/UFRGS, em especial a Juliana Parise Baldauf, a Rafaela Bortolini, o Jeferson Shigaki, e a Daniela Viana, pelo apoio constante, auxílio à resolução das dúvidas, e pelos pertinentes questionamentos, sempre enriquecedores.

Agradeço a todos os meus amigos, por sempre estarem presentes, fisicamente ou não, compartilhando momentos de felicidade e de euforia com a mesma intensidade dos momentos de desapontamento.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo excelência de ensino oferecido.

Existem pessoas que visitam o zoológico a partir do começo, chamado entrada, e caminham o mais rápido que podem, passando por cada jaula, até chegar à saída. As pessoas mais sensíveis vão direto ao animal de que mais gostam, e lá permanecem por um bom tempo.

*A. A. Milne, na Introdução a Winnie-The-Pooh*

## RESUMO

Este trabalho discute a elaboração de diretrizes de modelagem de edificações habitacionais, por meio do uso de tecnologia BIM, com ênfase em aspectos relacionados à inserção de informações sobre o desempenho dos sistemas construtivos que as compõem. A partir da revisão sistemática de literatura, foi possível identificar os potenciais desta tecnologia que podem viabilizar o armazenamento e a extração das informações relevantes, de modo a auxiliar a análise de desempenho correspondente, de acordo com a ABNT NBR 15.575 (2013). Primeiramente, foi desenvolvido um modelo BIM de uma edificação habitacional unifamiliar de alto padrão, em *software* definido a partir de análise das aplicações mais utilizadas na construção civil. Então, a partir do modelo BIM, foi possível estabelecer diretrizes de modelagem relacionadas à inserção de informações, com ênfase em parâmetros vinculados ao desempenho, desde a localização geográfica – e a caracterização da zona bioclimática – até a especificação de propriedades físicas dos componentes e elementos constituintes dos sistemas construtivos. Concomitantemente ao desenvolvimento da etapa experimental do trabalho, foi possível a análise de famílias de objetos paramétricos básicas, nativas das aplicações de modelagem, e os meios através dos quais é possível a inserção de informações relacionadas ao desempenho dos sistemas construtivos correspondentes. Conclui-se que a etapa de desenvolvimento do produto é fundamental para fornecer potencial de desempenho às edificações por meio das especificações de projetos, no entanto, não é capaz de garantir o desempenho dos sistemas. Além disso, foi possível analisar o importante papel que as famílias de objetos paramétricos possuem, do ponto de vista de integração da cadeia de suprimentos da construção civil, através da disponibilização de seus produtos e das informações pertinentes a eles. O estudo permitiu, também, identificar divergências na concepção de modelos BIM, de acordo com a sequência de produção das edificações, se comparada às demandas estabelecidas pela ABNT NBR 15.575 (2013). Portanto, percebe-se que a tecnologia BIM disponível atualmente não satisfaz, por completo, as necessidades da modelagem BIM com ênfase em desempenho. No entanto, cabe ressaltar que a falta de integração da indústria da construção civil figura como um dos principais entraves para a difusão de práticas alicerçadas em BIM, e a consequente aproveitamento pleno dos diversos potenciais desta tecnologia – inclusive aqueles voltados à avaliação de desempenho de edificações.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa .....	17
Figura 2 – Modelo BIM da edificação estudada .....	41
Figura 3 – Elevações da edificação estudada .....	41
Figura 4 – Cortes esquemáticos da edificação estudada .....	42
Figura 5 – Unidades de trabalho .....	43
Figura 6 – Configurações de níveis e de pavimentos .....	44
Figura 7 – Catálogo Uniclass 2 no <i>software</i> Archicad .....	45
Figura 8 – Gerenciamento de propriedades IFC e inserção de informações de desempenho aos objetos paramétricos .....	46
Figura 9 – Zonas definidas para os espaços da edificação estudada .....	47
Figura 10 – Propriedades das zonas .....	47
Figura 11 – Dados de localização ambiental do projeto .....	48
Figura 12 – Proteção contra o vento e sombreamento do projeto .....	49
Figura 13 – Composição do elemento parede .....	51
Figura 14 – Espessura de paredes básicas .....	52
Figura 15 – Espessura de paredes compostas .....	53
Figura 16 – Características físicas dos materiais/componentes .....	54
Figura 17 – Catálogo de materiais e propriedades físicas correspondentes .....	55
Figura 18 – Categorização do elemento construtivo: parede de vedação vertical .....	56
Figura 19 – Composição dos elementos construtivos laje e piso .....	57
Figura 20 – Espessura de lajes básicas .....	58
Figura 21 – Propriedades das esquadrias .....	60
Figura 22 – Características gerais das esquadrias .....	61
Figura 23 – Parâmetros personalizáveis das esquadrias .....	62
Figura 24 – Definição das superfícies das esquadrias .....	63
Figura 25 – Categorização IFC das janelas .....	63
Figura 26 – Propriedades dos telhados .....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Item de desempenho x métodos de avaliação, segundo a ABNT NBR 15.575:2013.....	33
Quadro 2 – Critérios para a escolha do <i>software</i> de modelagem BIM .....	39

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – *Building Information Modeling*

BNH – Banco Nacional da Habitação

CAD – *Computer-aided Design*

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CPIC – *Construction Project Information Committee*

CSTB – *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

ID – Código de identificação de objetos paramétricos

IFC – *Industry Foundation Classes*

ISO – *International Organization for Standardization*

Norie – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PBM – Plano Brasil Maior

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

3D – Três dimensões (geometria tridimensional)

4D – Quatro dimensões (geometria tridimensional + tempo)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	15
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	15
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	15
2.3 PREMISSA .....	16
2.4 DELIMITAÇÕES .....	16
2.5 LIMITAÇÕES .....	16
2.6 DELINEAMENTO .....	17
<b>3 BUILDING INFORMATION MODELING</b> .....	20
3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS .....	20
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DE BIM NO BRASIL .....	23
3.3 OBJETOS PARAMÉTRICOS .....	25
<b>4 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES</b> .....	29
4.1 HISTÓRICO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL .....	30
4.2 A NORMA BRASILEIRA – ABNT NBR 15.575 .....	32
4.3 DESEMPENHO SOB A ÓTICA DE BIM .....	34
<b>5 DIRETRIZES DE MODELAGEM BIM</b> .....	38
5.1 SELEÇÃO DE SOFTWARE DE MODELAGEM BIM .....	38
5.2 ETAPA EXPERIMENTAL: MODELAGEM BIM .....	40
5.3 DIRETRIZES DE MODELAGEM BIM .....	42
<b>5.3.1 Diretrizes Técnicas</b> .....	43
<b>5.3.2 Ambiente Externo</b> .....	48
5.4 DIRETRIZES DE PROJETO ARQUITETÔNICO .....	49
<b>5.4.1 Paredes</b> .....	49
5.4.1.1 Processo de Modelagem .....	50
5.4.1.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes .....	51
5.4.1.2.1 Espessura .....	52
5.4.1.2.2 Propriedades Físicas .....	53
5.4.1.2.3 Categorização .....	55
<b>5.4.2 Lajes e Pisos</b> .....	56
5.4.2.1 Processo de Modelagem .....	56

5.4.2.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes .....	57
5.4.2.2.1 <i>Espessura</i> .....	57
5.4.2.2.2 <i>Propriedades Físicas</i> .....	58
5.4.2.2.3 <i>Categorização</i> .....	58
<b>5.4.3 Esquadrias</b> .....	59
5.4.3.1 Processo de Modelagem .....	59
5.4.3.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes .....	60
5.4.3.2.1 <i>Configurações Personalizadas</i> .....	61
5.4.3.2.2 <i>Propriedades Físicas</i> .....	62
5.4.3.2.3 <i>Categorização</i> .....	63
<b>5.4.4 Telhados</b> .....	64
5.4.4.1 Processo de Modelagem .....	64
5.4.4.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes .....	65
<b>6 ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE MODELAGEM BIM</b> .....	66
6.1 SITUAÇÃO ATUAL .....	66
<b>6.1.1 Representação de sistemas construtivos</b> .....	67
<b>6.1.2 Utilização do modelo BIM</b> .....	68
6.2 SITUAÇÃO FUTURA .....	69
<b>6.2.1 Famílias de objetos paramétricos</b> .....	69
<b>6.2.2 Desempenho integrado de edificações</b> .....	70
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	72
REFERÊNCIAS .....	75

## 1 INTRODUÇÃO

A atual configuração da construção civil brasileira indica que investimentos em ferramentas de gestão e de tecnologia da informação tendem a aumentar nos próximos anos. À medida que condicionantes externas exijam maior racionalização e eficiência nos processos de planejamento e de produção na indústria da construção, tais fatores tornam-se capazes de fornecer suporte às empresas pertencentes a esse mercado.

O uso de BIM – Modelagem da Informação da Construção (em inglês, *Building Information Modeling*), é um dos fatores de inovação relacionados aos novos investimentos por parte das empresas, e, de acordo com Eastman et al. (c2008, p. 1, tradução nossa), “[...] é um dos desenvolvimentos mais promissores na indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC)”. Pentillä (2006, p. 403, tradução nossa) define a sigla como “[...] uma metodologia para gerenciar o projeto e os dados essenciais da construção no formato digital durante todo o ciclo de vida da edificação”. Succar (2009, tradução nossa) ainda acrescenta que esta metodologia é resultante de um conjunto de políticas, processos e tecnologias que são inter-relacionados. A abordagem adotada neste trabalho explicita que o termo que melhor define os processos BIM, ao invés de metodologia, é a própria tecnologia, dada a importância do conjunto de práticas vinculadas ao desenvolvimento científico, a ela relacionadas.

Estudo recente, publicado pela McGraw Hill Construction indica que “a utilização de BIM está acelerando de forma poderosa, guiada por grandes empresas públicas e privadas que desejam institucionalizar os seus benefícios de entrega de projeto de forma mais rápida e segura, com qualidade e custos mais confiáveis.” (BERNSTEIN, c2014, p. 4, tradução nossa). Ainda, segundo o mesmo estudo, das quarenta empresas do setor de projeto e de construção que responderam à pesquisa no Brasil, aproximadamente 75% encontram-se em fase inicial ou média de implementação de BIM em seus processos, e esperam aumentar os níveis desta atividade no futuro.

Ao mesmo tempo em que o uso de BIM tem seu potencial reconhecido pela indústria brasileira, a racionalização de processos construtivos e de custos se tornam fator imprescindível para a manutenção de empresas de construção no mercado. A recente homologação da ABNT NBR 15.575 – Edificações Habitacionais: Desempenho

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), conforme explica Lorenzi, (2013, p. 1), “[...] está promovendo mudanças significativas na concepção de edificações e na quebra de paradigmas em relação à avaliação de desempenho de sistemas construtivos.”. Ainda, Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) enfatizam que “a norma contempla critérios objetivos, técnicos de desempenho, como desempenho estrutural, desempenho térmico, desempenho acústico, segurança ao fogo, durabilidade e estanqueidade [...]”. Este fato reproduz o atual cenário desafiador em que a indústria da construção brasileira se encontra, no qual é necessária a adequação de projeto e de técnicas construtivas às diversas exigências estabelecidas na NBR 15.575 para edificações habitacionais, de modo a garantir que o desempenho dessas corresponda ao projetado.

Além disso, de acordo com Hensen e Lamberts (2011, tradução nossa), o mercado já reconhece de forma significativa que a possibilidade de prever e de analisar o desempenho, isto é, o comportamento que uma edificação apresentará após a sua conclusão está relacionada diretamente com avanços de ordem econômica e de eficiência. Dessa forma, é possível a antecipação de problemas e, conseqüentemente, a busca por soluções adequadas que satisfaçam as necessidades demandadas.

O mesmo conceito é um dos pilares que sustentam a razoabilidade da adoção e implementação de práticas BIM por empresas da construção civil, em substituição aos seus procedimentos anteriores. Com o uso de BIM é possível detectar, em fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto, os conflitos entre partes do produto ou etapas do processo, e que podem provocar, durante a produção da edificação, aumento do trabalho em progresso e do *making-do*, fontes de perdas importantes na construção civil. Fireman (2012) e Bonesi (2014) enfatizam que as perdas por *making-do* são potenciais causas para demais perdas, incluindo perda de materiais, retrabalho, redução da qualidade e aumento da variabilidade, o que pode causar grandes prejuízos físicos e financeiros ao cronograma e ao planejamento dessas empresas.

Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) ainda destacam que “a necessidade de comprovação do desempenho das edificações, conforme normas técnicas, e a popularização dos conceitos e *softwares* BIM são duas realidades que podem se complementar, caso sejam incorporadas como premissas para o desenvolvimento do projeto.”. Em razão disso, este trabalho busca analisar os potenciais usos de BIM em empresas de projeto e de construção que visam atender

os requisitos de desempenho da ABNT NBR 15.575 (2013) para edificações habitacionais, de forma a adequar seus projetos e técnicas construtivas, por meio do uso de modelagem BIM, às necessidades que o mercado e as instituições regulamentadoras impõem atualmente. Além disso, este trabalho fornece suporte ao desenvolvimento de famílias de objetos BIM, no que tange à análise qualitativa de informações e de propriedades, por meio de objetos paramétricos.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho estão subdivididas em questão de pesquisa, objetivos da pesquisa, premissa, delimitações, limitações e delineamento, sendo descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: conhecidas as potencialidades da tecnologia BIM, como modelar o produto edificação, com o uso de BIM, de modo a fornecer informações necessárias para a avaliação de desempenho de edificações habitacionais?

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal propor diretrizes básicas para a modelagem BIM, por meio de práticas de projeto, que forneçam informações para facilitar a avaliação de desempenho de modelos gerados através desta tecnologia, com usos específicos para a gestão de requisitos, simulações e *code checking*.

#### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) identificar as potencialidades do uso de BIM voltado à avaliação de desempenho de edificações habitacionais;
- b) identificar limitações e dificuldades atuais para a realização da avaliação de desempenho de edificações através do uso de modelos BIM;

- c) apresentação de objetos paramétricos BIM, com relação à inserção de informações e de propriedades, e proposição de melhorias para a parametrização com ênfase em desempenho de edificações.

## 2.3 PREMISSA

Levando-se em consideração que a utilização de BIM cresce de forma acelerada no país, e, que ao mesmo tempo, a avaliação de desempenho de edificações habitacionais torna-se necessária para garantir o comportamento adequado dos diversos sistemas que delas fazem parte, este trabalho tem por premissa que é relevante o levantamento das potencialidades que essa tecnologia tem a oferecer, de forma a estabelecer diretrizes de modelagem que sirvam como suporte para o projeto de edificações, facilitando o acesso futuro a informações vinculadas às questões mencionadas.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

Uma vez que a avaliação de desempenho de edificações habitacionais no país está sob influência direta da NBR 15.575, dividida em seis partes, o desenvolvimento deste trabalho foi delimitado à avaliação da Parte 1, denominada requisitos gerais.

## 2.5 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são descritas a seguir:

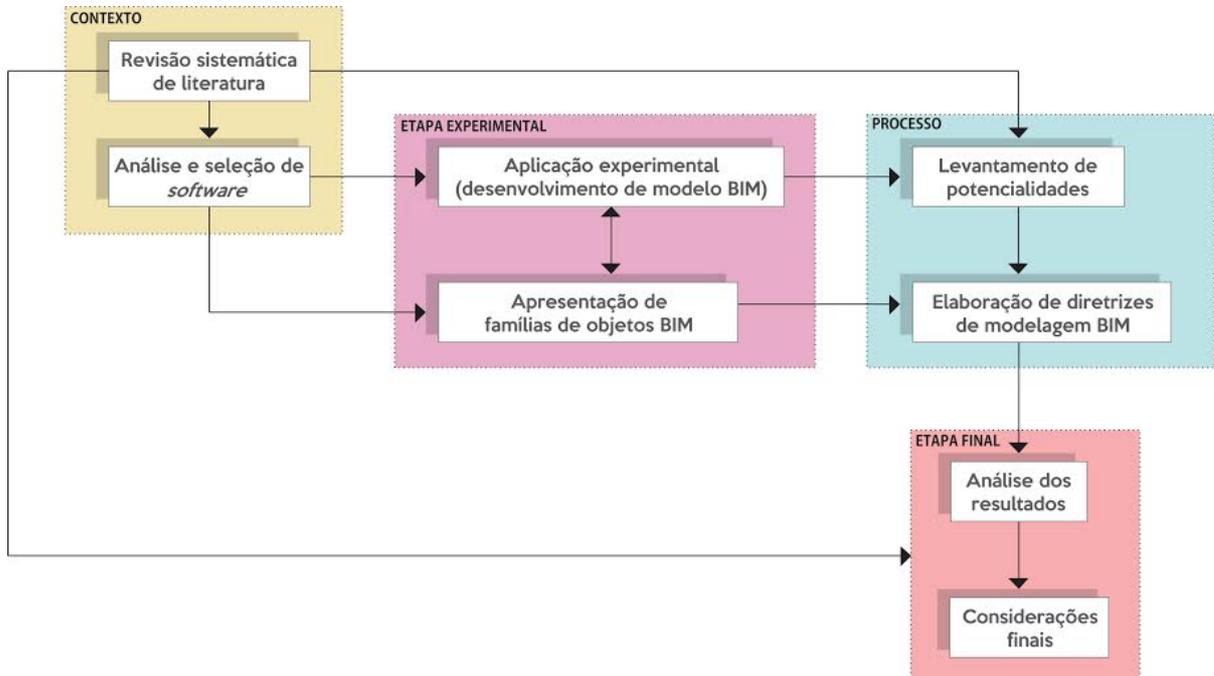
- a) serão estudados somente os itens contidos na NBR 15.575-1 (requisitos gerais) passíveis de modelagem BIM, como requisitos de funcionalidade, espaços mínimos, pé direito e zonas;
- b) para o desenvolvimento da etapa experimental da pesquisa, será utilizado somente um *software* de modelagem, cuja licença educacional foi disponibilizada;
- c) a modelagem utilizada, na etapa experimental, corresponde ao projeto arquitetônico de uma residência individual;
- d) são explicitados os sistemas construtivos de vedação vertical, vedação horizontal (piso), esquadrias e cobertura.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado nas etapas apresentadas a seguir, também representadas na figura 1:

- a) revisão sistemática de literatura;
- b) identificação de potencialidades de BIM relacionadas ao desempenho de edificações habitacionais;
- c) análise e seleção de programas computacionais atualmente disponíveis no mercado, voltados à modelagem BIM do projeto arquitetônico;
- d) elaboração de um modelo BIM de um caso de uma residência, com fins exploratórios, para avaliação de dificuldades e limitações da atual tecnologia;
- e) proposição de diretrizes de modelagem BIM;
- f) apresentação de famílias básicas de objetos BIM, com relação à inserção de informações;
- g) análise dos resultados;
- h) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira etapa compreendeu a **revisão sistemática de literatura**, desenvolvida na etapa preliminar do trabalho, que consistiu em uma pesquisa bibliográfica e que seguiu uma sequência lógica de fatos e ideias, estruturada por meio de um protocolo, com o propósito de obter uma compreensão do tema proposto, procurando sempre abranger uma ampla variedade de documentos e dados publicados. Após, foi realizada a revisão de literatura, ao longo de todo o trabalho, adequando-se às necessidades deste, fornecendo, assim, embasamento necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

Paralelamente, foi realizado o **levantamento de potencialidades que o BIM tem a oferecer** para o projeto de edificações habitacionais, visando a fornecer ferramentas capazes de apoiar a avaliação do desempenho em acordo com a NBR 15.575. A revisão sistemática de literatura auxiliou nesse levantamento, bem como as observações ao longo das etapas posteriores do trabalho: a aplicação experimental e a modelagem paramétrica de objetos BIM. O levantamento teve como objetivo apontar os benefícios da utilização de BIM, mesmo que ainda não integrados às funções de *softwares* disponíveis no mercado, viabilizando meios para atingir o objetivo principal do trabalho.

Logo após, foi realizada uma **análise e seleção criteriosa da tecnologia atual disponível no mercado**, no que tange a programas computacionais para modelagem BIM. Esta avaliação foi realizada por meio de levantamento das pesquisas já realizadas pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie) da UFRGS, as quais permitiram realizar um levantamento prévio das limitações e dificuldades. Como resultado desta etapa, foi selecionado um conjunto de programas computacionais capazes de auxiliar o desenvolvimento de modelos BIM, fundamentais para as etapas posteriores deste trabalho.

A etapa seguinte foi destinada à **execução de um modelo BIM**, de forma exploratória, a fim de analisar as principais limitações e dificuldades que envolvem a inserção de informações vinculadas ao desempenho de edificações, com a tecnologia atualmente disponível. O modelo foi executado em um *software* definido a partir da etapa anterior, de acordo com as opções disponíveis no mercado que melhor se adaptassem às necessidades demandadas por este trabalho. A partir deste modelo, pôde-se verificar de que forma as especificações de desempenho são possíveis de serem inseridas para posterior verificação ou análise.

Na quinta etapa, foram **estabelecidas diretrizes para a modelagem BIM** de projeto de edificações habitacionais, que auxiliassem a inserção de informações vinculadas à avaliação

de desempenho dessas edificações, de forma a fornecer suporte e adequar, dentro das limitações observadas, as técnicas de projeto das empresas de arquitetura, engenharia e construção (AEC). A partir das diretrizes, propôs-se uma forma sistêmica de realizar a modelagem de edificações, através da inserção de propriedades e representações lógicas, que possibilitem o armazenamento e a interoperabilidade, ou seja, a correta troca de informações entre os diferentes programas computacionais utilizados. Com isso, foi possível atingir o objetivo principal deste trabalho.

Juntamente à elaboração de diretrizes, foi abordada a **apresentação das famílias básicas de objetos BIM** por meio da modelagem paramétrica. Portanto, foram analisadas formas de inserção de propriedades e de parâmetros quantitativos e qualitativos relacionados à avaliação de desempenho, em bibliotecas de famílias já existentes ou a serem desenvolvidas, de forma a atenuar ou eliminar algumas das limitações já identificadas na segunda etapa desta pesquisa. Esta etapa do trabalho ocorreu simultaneamente ao desenvolvimento do modelo BIM.

Por fim, foi realizada uma **análise crítica dos resultados**, com base no conjunto de diretrizes de modelagem, discutindo as limitações das tecnologias atualmente disponíveis e oportunidades futuras de avanço e de melhoria. Dessa forma, discute-se a viabilidade atual e futura da avaliação de especificações e de requisitos de desempenho de edificações habitacionais por meio do uso de modelos gerados através do uso de BIM. Além disso, foi promovida uma reflexão sobre o processo de modelagem indicado, apontando as dificuldades observadas. O fechamento do trabalho consistiu na elaboração de uma síntese dos resultados, apresentada nas **considerações finais** desta pesquisa.

### **3 BUILDING INFORMATION MODELING**

A seguir serão descritos os principais pontos relacionados ao BIM: definição e características, sua implementação no Brasil, e conceitos relacionados a objetos paramétricos.

#### **3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS**

As ferramentas e técnicas alicerçadas em BIM tem seu potencial de mudanças e de avanço físico e econômico reconhecido pelo cenário mundial, à medida que os benefícios oriundos da sua utilização são difundidos pelas empresas que a utilizam e pelos núcleos geradores de conhecimento. A definição para esta tecnologia, apresentada por Eastman et al. (c2008, p. 13, tradução nossa), a seguir, complementa a primeira definição apresentada anteriormente:

[...] definimos BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de edificações. Os modelos de edificações são caracterizados por:

- a) componentes de construção que são representados através de representações digitais inteligentes (objetos) que “sabem” o que eles são, e podem ser associados a atributos gráficos e de dados computáveis e regras paramétricas;
- b) componentes que incluem dados que descrevem como se comportam, conforme a necessidade de análises e processos de trabalho, por exemplo, extração de quantitativos, especificação e análise energética;
- c) dados consistentes e não redundantes de forma que as modificações nos dados dos componentes sejam representadas em todas as visualizações deste componente;
- d) dados coordenados de forma que todas as visualizações do modelo sejam representadas de forma coordenada.

Os mesmos autores destacam também que as capacidades dessa tecnologia irão crescer, ao mesmo tempo em que ela se tornará mais abrangente, sendo capaz de melhor representar as diferentes práticas construtivas que são característica própria desse tipo de indústria. Desta forma, percebe-se que a própria definição de BIM não se trata de algo permanente e invariável. Ao longo do desenvolvimento tecnológico, adequações serão realizadas, à medida que novas capacidades tecnológicas serão inseridas nos processos internos dos programas computacionais disponibilizados para o mercado. Wetter (c2011, p. 494, tradução nossa) explora a visão de BIM num futuro próximo, aproximando a utilização desta tecnologia à

simulação de diferentes sistemas de edificações, de modo a fornecer suporte aos processos de tomada de decisão por parte das equipes de projetos:

[...] futuros [modelos] BIM irão conter especificações para controle de edificações que serão utilizados durante o projeto para a simulação das edificações bem como durante a operação para modelos baseados em algoritmos de controle, detecção de falhas e diagnósticos.

Na definição de BIM, apresentada por Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 59), os autores apontam que esta tecnologia se trata de um processo centralizador de informações, estabelecendo relações entre estas em um modelo representativo da edificação. Portanto, percebe-se que para que o processo BIM ocorra de forma satisfatória, em sua totalidade, é o desenvolvimento de modelos adequados, contendo as informações relevantes para as etapas que compreendem todo o ciclo de vida da edificação, desde a fase de projetos, até as etapas de uso e de manutenibilidade desses edifícios. Eastman et al. (c2008, p. 12, tradução nossa) ainda enfatizam que “A adoção generalizada de BIM e o uso de um modelo digital compreensível ao longo do ciclo de vida de uma edificação são um passo na direção certa para eliminar [...] custos oriundos da inadequada interoperabilidade de dados.”.

O desenvolvimento de modelos adequados, portanto, é uma etapa fundamental para a aplicação de processos que envolvam BIM na indústria da construção civil. Eastman et al. (c2008, tradução nossa) destacam que a capacidade de extração de informações de modelos BIM, tanto geométricas quanto propriedades semânticas, tem causado um grande impacto na indústria da construção, ao passo que os objetos podem ser modelados de tal forma que as especificações de desempenho são inseridas de modo a representar o comportamento final que esses devem possuir.

Uma das características particulares da tecnologia BIM é a possível vinculação do modelo virtual a informações e requisitos, oriundos de diferentes usuários e disciplinas, e que podem fornecer auxílio aos diversos processos e simulações que envolvem ferramentas BIM. Essa peculiaridade é apontada por Baldauf et al. (2013, p. 179):

[...] o uso de ferramenta BIM pode facilitar o acesso a informações sobre requisitos, por auxiliar na organização ou estruturação da grande quantidade de informações, além de possibilitar a conexão entre requisitos e o modelo do produto, facilitando a visualização, disponibilização e controle dessas informações.

Além disso, o desenvolvimento de um modelo BIM pode ser realizado através de duas linhas distintas de pensamento, que são definidas por Eastman et al. (c2008, tradução nossa) como:

- a) modelo BIM descrito pelo seu conteúdo;
- b) modelo BIM definido pelas suas capacidades.

É importante ressaltar que os autores apontam a segunda abordagem como sendo preferível, devido ao fato de tornar possível definir as utilidades desse modelo, ao invés de somente determinar como deve ser feita a construção de sua base de dados, que varia de acordo com cada implementação, conforme as características e necessidades distintas que as empresas da construção civil podem apresentar. A essência do BIM está no correto desenvolvimento de modelos representativos de edificações, compatível ao nível de detalhamento que deve ser atingido, de acordo com cada etapa da construção e operação das edificações que pretende ser analisada. Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 60) definem como os benefícios dessa tecnologia podem ser usufruídos pela indústria da construção, e enfatizam que:

O pleno aproveitamento das ferramentas disponíveis depende de uma série de fatores como desprendimento e revisão dos processos de projeto mais utilizados atualmente, formação quanto a questões técnicas, como desempenho de sistemas construtivos e treinamento na utilização de software, além de desenvolvimento de bibliotecas virtuais com objetos paramétricos repletos de informações e com formato que permita a interoperabilidade.

A ideia discutida acima é ainda corroborada por Eastman et al. (c2008, p. 7, tradução nossa) que indicam que os benefícios oriundos do uso de BIM dependem, inclusive, de alguns outros fatores:

Considerando o uso de BIM, as questões gerais que melhoram ou pioram as mudanças positivas que essa tecnologia oferece dependem de quão bem e em qual estágio a equipe de projeto trabalha de forma colaborativa no modelo digital. Quanto mais cedo o modelo puder ser desenvolvido e compartilhado, mais útil ele será.

### 3.2 IMPLEMENTAÇÃO DE BIM NO BRASIL

O Brasil, acompanhando a tendência dos demais países que passam por processos de implementação de BIM, existe um número crescente de usuários que utilizam ferramentas vinculadas a essa tecnologia em diversas áreas da indústria da construção (BERNSTEIN, c2014, tradução nossa). Além disso, diante dos vários benefícios que podem ser atingidos, existem inúmeras empresas dispostas a iniciar a substituição ou renovação de seus procedimentos antigos por técnicas alicerçadas em BIM. Dessa forma, é importante assegurar que a adoção de práticas BIM pela indústria da construção é uma tendência que não deve ser revertida.

De acordo com o relatório publicado pela Editora McGraw Hill Construction, no último ano, (BERNSTEIN, c2014, tradução nossa), os usuários de BIM no Brasil percebem grandes avanços em atividades de pré-construção, durante as etapas de projetos. A integração do modelo BIM com o planejamento (4D) e com o orçamento (5D) são, atualmente, as maiores utilizações dessa tecnologia por empresas AEC no país. Portanto, percebe-se que há, ainda, muitas ferramentas BIM que não possuem seu potencial reconhecido pela indústria da construção civil brasileira, permitindo, assim, que o aumento da utilização dessa tecnologia seja ainda mais significativo nos próximos anos.

A situação que permitiu a entrada de BIM no mercado da construção civil brasileira seguiu o fluxo dos acontecimentos no mercado internacional. O início, e a crescente implementação de BIM no Brasil, é justificada por Nardelli e Tonso (2014, p. 408) devido a dois fatores principais:

De um lado, é claro, o interesse da própria indústria dos desenvolvedores de aplicativos CAD em fazer a migração para os produtos da nova geração tecnológica.

De outro lado, o crescimento do mercado imobiliário brasileiro que, depois de cerca de dez anos de estabilidade econômica experimentou um processo inédito de expansão, não apenas em termos quantitativos, como também, em abrangência territorial pelo país.

Além do interesse por tecnologia, e pela prosperidade que a construção civil brasileira apresentou na última década, os autores acima citados destacam, ainda, outras razões que fortaleceram o início da implementação de BIM no país:

[...] a partir de meados da primeira década dos anos 2000, uma verdadeira onda BIM desencadeou-se pelo país, com a realização de vários eventos de disseminação desse conhecimento, estruturação de grupos de pesquisa nas universidades e grupos de trabalho nas entidades representativas do setor, articulados entre si e com as agências governamentais de fomento à pesquisa e instâncias de definição de políticas setoriais [...].

Portanto, percebe-se que grande parte das empresas AEC que iniciaram a implementar BIM em seus processos, o fizeram devido ao período de prosperidade econômica vivenciado no país. Entretanto, em comparativo com os demais países que participaram da pesquisa promovida pela editora McGraw Hill Construction (BERNSTEIN, c2014, tradução nossa), o Brasil ainda figura, em média, em fases iniciais e médias de implementação de BIM nos processos das empresas AEC. Entretanto, se na última década, as empresas vinculadas à construção civil, de uma forma geral, apresentaram alta rentabilidade e suporte para atualização tecnológica, por que, no Brasil, ainda não predominam altos índices de práticas avançadas em BIM? Uma das hipóteses é discutida por Nardelli e Tonso (2014, p. 410):

[...] a implantação do BIM no Brasil jamais foi assumida como uma questão de Estado, com ações coordenadas pelo governo federal, com metas de curto, médio e longo prazos estabelecidas em conjunto com a cadeia produtiva.

[...] nunca foram equacionados os diversos gargalos que se constituem em poderosas barreiras para a conversão do segmento como, por exemplo, a questão tributária que incide sobre os aplicativos e equipamentos, o estabelecimento de uma política de crédito subsidiado para a implantação dos sistemas capazes de operar o processo BIM [...].

A partir disso, percebe-se que o sucesso da implementação de BIM no Brasil depende diretamente de maior atenção dos órgãos públicos responsáveis pelo setor da construção civil. Ainda, de acordo com os autores acima citados, a transição parte de um princípio de mudança de paradigmas e de princípios, pois as políticas que o Estado impõe, atualmente, através da contratação de obras por menor preço, reflete uma visão imediatista para a solução de problemas. Percebe-se que o poder de compra do Estado possui um impacto significativo no setor, e que, no Brasil, existem poucas iniciativas desta natureza. Os referidos autores ainda sugerem que, ao invés deste método, os projetos deveriam ser contratados de forma que as edificações construídas apresentem alto desempenho, durante a vida útil prevista em projeto. Dessa forma, enfatizam que o BIM tende a se tornar uma necessidade, vista como política de Estado, afetando, assim, toda a cadeia produtiva da construção civil brasileira.

### 3.3 OBJETOS PARAMÉTRICOS

A modelagem de objetos paramétricos é essencial para que seja possível a adequação de ferramentas computacionais às práticas e técnicas construtivas modernas alicerçadas em BIM, aumentando a confiabilidade de um modelo gerado através dessa tecnologia, além de facilitar a execução dos próprios protótipos virtuais. Para Eastman et al. (c2008, p. 25, tradução nossa), entende-se que:

A modelagem paramétrica baseada em objetos foi originalmente desenvolvida nos anos 1980. Ela não representa objetos com geometria e propriedades fixos. Ao invés disso, ela representa objetos por parâmetros e regras que determinam a geometria, assim como algumas propriedades e características não-geométricas. Os parâmetros e regras permitem que os objetos se atualizem automaticamente, de acordo com o controle do usuário ou mudanças de contexto.

Os mesmos autores acima citados destacam que as atuais ferramentas BIM foram desenvolvidas a partir das próprias capacidades de modelagem paramétrica, inicialmente criadas para o projeto de sistemas mecânicos. Portanto, percebe-se que a modelagem paramétrica de objetos é antecessora à própria tecnologia BIM, sendo imprescindível para a realização deste tipo de modelagem. Nesse sentido, Lee et al. (2006, p. 758, tradução nossa) enfatizam que “A modelagem paramétrica foi proposta como uma forma efetiva de embutir *expertise* em modelos de edificações.”, possibilitando assim, que as empresas sejam capazes de incluir suas próprias técnicas aos dados inseridos nos objetos paramétricos.

As regras que fundamentam a existência de objetos paramétricos são definidas a partir de parâmetros. Esse conjunto de informações e vinculações permite a adaptação dos objetos às diferentes configurações que eles podem apresentar, e são descritos por Eastman et al. (c2008, p. 29, tradução nossa):

Em um projeto paramétrico, ao invés de projetar uma instância de um elemento da edificação como uma parede ou uma porta, um projetista define uma família de modelos ou uma classe de elementos, que é um conjunto de relações e regras para controlar os parâmetros pelos quais as instâncias dos elementos podem ser geradas, mas cada uma irá variar de acordo com seu contexto. Objetos são definidos usando parâmetros que envolvem distâncias, ângulos e regras como **vinculado a**, **paralelo a** e **distante de**. [...] Alternativamente, as regras podem ser definidas como requisitos que o projeto deve satisfazer, permitindo que o projetista faça mudanças enquanto as regras verificam e atualizam detalhes para manter o elemento de projeto legal e avisar ao usuário caso essas definições não sejam alcançadas.

A correta concepção de um modelo BIM somente é possível de ser realizada através do uso de bibliotecas de famílias de objetos paramétricos. Nesse sentido, Lee et al. (2006, p. 758, tradução nossa) afirmam que:

A modelagem paramétrica fornece mecanismos para traduzir e embutir conhecimento como expressões geométricas explícitas que podem automatizar a geração da informação de edificações – especificamente informações geométricas, e que podem facilitar a geração de um modelo detalhado da edificação.

Então, esse conjunto de objetos passa a fazer parte da concepção das edificações, e está diretamente relacionado com processos de tomada de decisão. Dessa forma, Eastman et al. (c2008, p. 190, tradução nossa) determinam que “BIM envolve a definição de uma edificação como uma composição de um conjunto de objetos. As ferramentas de projeto BIM fornecem diferentes bibliotecas pré-definidas de geometria fixa e de objetos paramétricos.”.

Além disso, um fator extremamente importante relacionado à modelagem paramétrica é que a etapa de desenvolvimento das famílias de objetos, com correta inserção de regras, parâmetros, e propriedades que determinam o comportamento real, dos objetos virtualmente modelados, é feita pelas empresas que manufacturam os produtos. Desta forma, é possível a disponibilização de catálogos virtuais, onde os projetistas de edificações possuem acesso aos objetos com suas dimensões, propriedades e adaptações corretas. Essas bibliotecas, disponibilizadas pelas empresas que manufacturam os produtos, minimizam os esforços de modelagem, por parte das equipes de projetos, e reduzem a incidência de erros decorrentes de desvios geométricos. Tendo em vista a disponibilização dessas famílias, Eastman et al. (c2008, tradução nossa) afirmam que o uso de modelagem paramétrica facilita o desenvolvimento e a edição de geometrias, e que, através dessa ferramenta, as etapas de projetos dos modelos tornam-se mais ágeis e com menor propagação de erros.

Esses objetos, caso modelados de acordo com especificações de desempenho e com informações relacionadas ao comportamento previsto, podem prover grande auxílio à avaliação do desempenho dos modelos BIM, que são executados com famílias de objetos paramétricos. Dessa forma, Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 60) afirmam que:

[...] considera-se que, com a organização de informações e características de desempenho de sistemas construtivos, e elaboração e disponibilização de famílias de objetos paramétricos correspondentes, o processo de projeto considerando a norma de desempenho torna-se mais acessível.

As empresas desenvolvedoras de produtos para a indústria da construção são fator imprescindível para o sucesso da disponibilização de famílias de objetos paramétricos e consequente aumento da utilização de ferramentas BIM. Eastman et al. (c2008, p. 33, tradução nossa) definem como estas empresas podem fazer uso desse recurso, e como ele pode ser disponibilizado:

Utilizando modelagem paramétrica, as empresas geralmente definem como suas famílias de objetos devem ser projetadas e estruturadas, como elas podem ser variadas parametricamente e relacionadas em montagens baseadas na função, e outros critérios de produção.

[...]

Além das famílias de objetos fornecidas pelos representantes de empresas de *software*, uma grande quantidade de sites disponibiliza famílias de objetos adicionais disponíveis para baixar e usar. [...] A maioria são objetos genéricos, mas há uma crescente capacidade de fornecimento de modelos de produtos específicos.

Além disso, os autores acima citados destacam que as empresas que desenvolvem esses objetos tem, através desse processo, a oportunidade de melhorar o próprio procedimento de manufatura de seus produtos e a logística da indústria como um todo. Ainda, os autores enfatizam que as empresas que se consideram habilitadas em BIM devem possuir recursos e conhecimento para o desenvolvimento de suas bibliotecas de famílias de objetos paramétricos, com as regras e propriedades corretamente definidas, refletindo as práticas de produção da própria empresa. No entanto, Lee et al. (2006, p. 761, tradução nossa) atentam para um cuidado a ser tomado:

A modelagem paramétrica é um método poderoso de modelar objetos inteligentes e seus comportamentos previstos de projeto. Entretanto, capturar e introduzir conhecimento tácito em um modelo paramétrico requer um planejamento de modelagem cuidadoso e bem pensado, por causa da ambiguidade e complexidade da modelagem paramétrica.

Contudo, é importante ressaltar a importância desse processo, que envolve a indústria de desenvolvedores de produtos e a construção civil, de modo a aumentar o número geral de usuários de BIM. Sabendo disso, Eastman et al. (c2008, p. 63, tradução nossa) afirmam que:

A modelagem paramétrica baseada em objeto é uma enorme mudança na indústria da construção e está tornando muito mais fácil a transição de uma tecnologia artesanal baseada em desenhos para uma baseada em modelos digitalmente legíveis, que podem ser utilizados por várias aplicações.

Entretanto, devido à elevada personalização que se faz necessária na concepção de modelos BIM, e levando-se em consideração as diferenças entre os objetos e as particularidades e funcionalidades que são necessárias para manipulá-los (LEE et al., 2006, tradução nossa), Eastman et al. (c2008, tradução nossa) apontam que apesar do esforço dos fabricantes de objetos em definir corretamente regras e parâmetros das famílias disponibilizadas, se faz necessária, por parte do usuário projetista, a personalização futura dos objetos, com detalhamento aliado às práticas de engenharia da empresa que desenvolve o modelo BIM. Desta forma, Eastman et al. (c2008, p. 47, tradução nossa) afirmam que:

Usuários ou aplicações devem adicionar propriedades para cada objeto relevante, de forma a produzir certo tipo de simulação, estimativa de custos ou análise, e também devem gerenciar sua adequação para várias tarefas. O gerenciamento de conjuntos de propriedades se torna problemático porque diferentes aplicações para a mesma função necessitam de diferentes propriedades e unidades, como para energia e iluminação.

## 4 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

A necessidade de se conhecer o desempenho de edificações habitacionais é um fator capaz de revolucionar a indústria da construção civil. A partir do instante em que a concepção tradicional do projeto e produção de edificações é colocada à prova, pela necessidade em se atingir especificações de qualidade e de desempenho, toda a cadeia produtiva do setor é demandada de forma a mobilizar-se em torno do conhecer produtos por desempenho. Dessa forma, é possível prever o comportamento adequado durante toda a vida útil de uma edificação.

Waelkens e Mitidieri Filho (2012) enfatizam que validar o comportamento de uma edificação em termos de desempenho é um desafio para os profissionais da indústria da construção que precisa ser superado. Hensen e Lamberts (c2011, p. 1, tradução nossa) compartilham do mesmo conceito, afirmando que “projetar edificações sustentáveis que também preencham todos os requisitos operacionais dos usuários é um desafio sem precedentes para os nossos tempos.”.

Entretanto, devido à subjetividade inerente à questão de avaliar o comportamento de edificações, Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) propõem duas classificações para os critérios de desempenho – os que são esperados pelos usuários e os que devem ser atingidos para assegurar o desempenho técnico:

O atendimento a critérios de desempenho ligados a gostos pessoais e hábitos como conforto visual e adequação espacial depende de sensibilidade e capacidade artística do arquiteto na concepção do projeto. Já a conformidade do projeto a critérios técnicos, que podem ser quantificados e analisados com base em conhecimento específico, ensaios e dados estatísticos, depende do repertório e do acesso a informações do profissional projetista e especificador.

Atualmente, a questão de desempenho está diretamente relacionada a três principais fatores: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Nesse sentido, Lorenzi (2013, p. 18) afirma que “o desempenho de uma edificação está no equilíbrio entre o meio no qual [a edificação] está inserida, a função a qual se destina e a composição dos sistemas construtivos, durante sua vida útil”. Ainda, a mesma autora afirma que o termo equilíbrio justifica a busca por soluções

sustentáveis e tecnológicas para os desafios que a concepção de edificações apresenta atualmente.

#### 4.1 HISTÓRICO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

A relação entre a construção de edificações, e o desempenho apresentado por elas, está presente na história das civilizações desde as épocas mais remotas. Existem vários conjuntos primitivos de regras e documentos que apontam alguma relação entre os itens mencionados. Lorenzi (2013, p. 12) destaca que:

Um dos fatos relevante é o código de Hammurabi, datado de aproximadamente 1900 a.C., que estabelece várias regras. Entre elas, cita-se a mais impactante: se um construtor erguer uma casa, e a casa desabar e matar o morador, o construtor será imolado – sacrificado –, morto como vingança. A ideia segue a lógica de que se a construção não desempenhar a sua função adequada ao longo do tempo, o construtor deve sofrer as mesmas consequências.

Tal fato, moralmente intolerável na atualidade, representa a lógica de que cabe ao construtor a responsabilidade de uma edificação, mesmo que esta não apresente desempenho adequado. Então, entende-se que a necessidade de conhecer o comportamento dos diferentes componentes que fazem parte de uma edificação é extremamente importante para que se garanta a sua durabilidade e comportamento adequado ao longo do uso. Nesse sentido, Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) afirmam que:

A utilização dos novos materiais sem conhecimento suficiente sobre seu desempenho levou à aparição de patologias em diversos edifícios. Problemas de ordem tecnológica ou social levaram à demolição de 105 mil unidades entre 1980 e 1986, apenas na Inglaterra, além de gerar custos significativos com reparos e reformas.

A avaliação do comportamento das edificações, com foco em desempenho, teve sua origem, como é conhecida atualmente, na Europa, e especificamente na França, com a criação do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), em 1947, e aos poucos foi disseminada pelo mundo. Com base nisso, Lorenzi (2013, p. 2) explica que:

A cultura europeia quanto ao desempenho de edificações surgiu no período após a Segunda Guerra Mundial, razão da reconstrução de edificações com muitos percalços em função da incorporação de novas tecnologias, sem o devido conhecimento do comportamento em uso ao longo do tempo. A solução adotada foi criar entidades especializadas em avaliar o desempenho de sistemas construtivos, antes de serem introduzidos no mercado imobiliário.

Ainda, segundo a mesma autora, esta situação é bastante distinta da realidade brasileira, pois o país passou a preocupar-se com o desempenho das edificações de forma tardia, fazendo com que a infraestrutura necessária para a avaliação das edificações seja deficitária atualmente. Este problema também é apontado por Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) os quais afirmam que, “visando a evitar ou minimizar os problemas de ordem tecnológica, iniciaram-se pesquisas pela implementação de normas de desempenho no Brasil desde o final da década de 1970, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo [...]”. Lorenzi (2013) afirma que os primeiros estudos realizados pelo IPT, com foco em avaliação de desempenho de edificações, foram encomendados pelo Banco Nacional de Habitação (BNH), num período conhecido historicamente como “milagre brasileiro”, no qual houve acelerado crescimento da indústria da construção civil no Brasil, fazendo com que fosse necessário modernizar técnicas já difundidas.

Após as épocas de prosperidade na construção, o país enfrentou anos de crise econômica, com elevadas taxas de inflação, causando estagnação da economia nacional. Esse período provocou grandes mudanças na construção civil, e, assim, foram realizados vários estudos relacionados ao desempenho de edificações, que, de alguma forma, foram capazes de auxiliar e nortear o desenvolvimento de estudos posteriores. Percebeu-se, então, a necessidade de atualização de algumas das pesquisas realizadas previamente, e, assim, todo esse processo culminou com o desenvolvimento da norma técnica, que, de acordo com Lorenzi (2013, p. 16), “[...] contou com a participação de especialistas de diversas áreas para elaboração de textos, coordenação e apoio a comissão de estudos [...]”.

A partir disso, em 2013 foi homologada a NBR 15.575, que de acordo com Waelkens e Mitidieri Filho (2012, p. 58) “[...] é norteadada pela ISO 6.241 (1984), um modelo de elaboração de normas de desempenho, e é resultado de um extenso trabalho de busca de definição de parâmetros para a avaliação de sistemas construtivos, com origem nos anos de 1970, no Brasil.”. Ainda, levando-se em consideração a importância desse processo, de acordo com Lorenzi (2013, p. 25) “[...] a NBR 15.575/2013 já é um marco importante e fundamental na história da construção civil brasileira, considerada por muitos autores como um divisor, ou seja, a construção civil brasileira vai ser conhecida como antes da norma (aN) e depois da norma (dN).”.

## 4.2 A NORMA BRASILEIRA – ABNT NBR 15.575

A partir da necessidade de se avaliar o desempenho das edificações, em 2013 foi homologada a ABNT NBR 15.575, cujos objetivos são descritos por Lorenzi (2013, p. 1):

A NBR 15.575 tem o objetivo de regular e avaliar o desempenho de edificações habitacionais quanto ao atendimento às exigências do usuário ao longo da vida útil, tendo como premissa provocar um “pensar” na concepção de edificações focado no comportamento em uso, na função a que se destina e nas condições de exposição, isto é, aplicando o conceito de desempenho.

Além disso, a mesma autora acima citada assegura que a abrangência do conceito de desempenho por toda a cadeia produtiva no setor da construção civil será capaz de promover uma abordagem mais tecnológica sobre as edificações, garantindo aumento significativo da qualidade das edificações habitacionais. Um dos grandes impactos provocados a partir da homologação da NBR 15.575 é o conceito de durabilidade.

Devido à abrangência dos conteúdos, a norma brasileira é dividida em seis partes individuais, atendendo aos diferentes sistemas que compõem uma edificação, propondo avaliações diferentes para cada um deles, devido às peculiaridades que são observadas nos seus comportamentos individuais. Lorenzi (2013, p. 23) explica a estrutura da divisão da NBR 15.575 a seguir:

A NBR 15.575 (2013) está estruturada em três grandes áreas, segundo as exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada área é subdividida em responsabilidades, onde se atribui desempenho mínimo que deve ser atendido pelo edifício quando em uso, durante a vida útil, e desempenhando sua função no meio onde está inserido. Quanto a totalidade das responsabilidades tem desempenho comprovado à função que foi projetado, diz-se que a edificação tem desempenho adequado.

Ainda, de acordo com a autora acima citada, a abordagem da NBR 15.575 explora conceitos que as normas prescritivas geralmente não consideram. Devido a isso, é importante diferenciar as abordagens previstas na NBR 15.575. A CBIC aponta essa diferenciação, propondo diferentes abordagens para cada uma delas (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 29):

Ao contrário das normas tradicionais, que prescrevem características dos produtos com base na consagração do uso, normas de desempenho definem as propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independentemente do material constituinte. No primeiro caso, deve-se utilizar o produto em atendimento às suas características. No segundo, deve-se desenvolver e aplicar o produto para que atenda às necessidades da construção.

O foco deste trabalho restringe-se à parte 1 da NBR 15.575, denominada Requisitos Gerais. De acordo com a instituição acima citada, a parte requisitos gerais aborda a relação entre as interfaces dos diferentes elementos e sistemas que compõem uma edificação, de modo a avaliar o desempenho de forma mais abrangente. Nesse sentido, a correta especificação das zonas em um modelo BIM torna-se fundamental. Além disso, a norma prevê como deve ser realizada a avaliação de desempenho dos diferentes sistemas que compõem uma edificação. O quadro 1 explora os diversos requisitos de desempenho de acordo com o método como cada um deve ser avaliado, procurando estabelecendo um tipo de avaliação de desempenho para esses elementos.

A NBR 15.575 prevê quatro métodos distintos para avaliação de desempenho das edificações, sendo que três deles são anteriores à sua concepção física. Nesse sentido, o uso de BIM pode facilitar a avaliação de desempenho das edificações para três tipos de método, contribuindo para antecipar o conhecimento do desempenho potencial da edificação.

Quadro 1 – Item de desempenho x métodos de avaliação, segundo a ABNT NBR 15.575:2013

Item de Desempenho	Análise de Projeto	Ensaio de Desempenho	Inspeção de Protótipo	Simulação
ESTRUTURAL	X	X		
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	X	X	X	
USO E OPERAÇÃO	X		X	
ESTANQUEIDADE	X	X		
CONFORTO TÉRMICO	X	X		X
CONFORTO ACÚSTICO	X	X		
LUMÍNICO	X	X	X	X
DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE	X	X	X	
SAÚDE, HIGIENE E QUALIDADE DO AR		X		
FUNCIONALIDADE E ACESSIBILIDADE	X			
CONFORTO TÁTIL E ANTRÓPODINÂMICO	X	X		
ADEQUAÇÃO AMBIENTAL	X	X		

(fonte: adaptado de LORENZI, 2013, p. 184)

### 4.3 DESEMPENHO SOB A ÓTICA DE BIM

A partir das análises individuais da tecnologia BIM e das especificações de desempenho previstas na NBR 15.575, é evidente que a primeira é capaz de fornecer suporte ao desenvolvimento de ferramentas auxiliares para a avaliação de desempenho, indicados na norma brasileira.

Wetter (c2011, tradução nossa) afirma que, para que o correto desenvolvimento de modelos matemáticos, capazes de fornecer suporte a análises posteriores, a partir de um modelo BIM, é necessário que sejam respeitados os conceitos de modularização de componentes e de conectividade entre as regras dos objetos paramétricos, refletindo as conexões nas quais eles são unidos na realidade, de forma a facilitar a utilização de BIM para simulação em diferentes fases do ciclo de vida da edificação. Assim, é importante dedicar esforços específicos às informações que são vinculadas ao modelo, sejam elas regras explícitas, conexões paramétricas, ou dados quantitativos de elementos construtivos.

Eastman et al. (c2008, p. 190, tradução nossa) afirmam que “Conforme um projeto é desenvolvido, as definições de objetos se tornam mais específicas, elaboradas com desempenho esperados ou específicos, tal como para energia, som, custos, etc.”. Nesse sentido, Waelkens e Mitidieri Filho (2012) apontam que as informações que são inseridas no próprio modelo BIM, e nas famílias de objetos paramétricos, que deles fazem parte, devem ser corretamente armazenadas, em locais adequados, onde possam ser devidamente organizadas, para posterior verificação de requisitos. Dessa forma, espera-se que essas informações não sejam perdidas, ou inadvertidamente alteradas, ao longo do desenvolvimento e da operação dos modelos BIM representativos das edificações.

A avaliação de determinadas especificações de desempenho, sendo realizada por meio do uso de modelos BIM, torna-se uma alternativa viável do ponto de vista técnico, a partir do instante em que há correta disponibilização de informações por parte de todos os agentes da cadeia produtiva da indústria da construção civil. Tendo como base essa premissa, Eastman et al. (c2008, p. 190, tradução nossa) afirmam que “Especificações técnicas e de desempenho podem ser delineadas de tal forma que as definições dos objetos especificam o que o produto final construído ou comprado deve atingir.”. Nesse sentido, Waelkens e Mitidieri Filho (2012) destacam que tal fato é capaz de promover a otimização do processo de projeto, pois promove

maior organização e melhor acesso às informações, reduzindo incertezas e a propagação de erros.

As ferramentas tradicionais BIM são limitadas, atualmente, quanto a extensões pertencentes ao próprio *software* para a avaliação de desempenho. Assim, é extremamente importante ressaltar que existem programas computacionais baseados em tecnologia BIM, disponíveis no mercado, que integram, dentro de seus processos internos, a avaliação de algumas especificações de desempenho de edificações. O tipo de análise mais difundida é a avaliação energética dos modelos. É possível avaliar a eficiência energética das edificações, de acordo com a zona bioclimática a qual elas pertencem, além de incluir as características dos materiais que constituem os elementos construtivos, e as especificações dos equipamentos instalados nos ambientes dessas construções. Nesse contexto, Eastman et al. (c2008, p. 18, tradução nossa) afirmam que:

Vincular o modelo da edificação a ferramentas de análise energética permite a avaliação do uso da energia nas fases preliminares do projeto. [...] A capacidade de vincular o modelo da edificação a vários tipos de ferramentas de análise proporciona diversas oportunidades para melhorar a qualidade da edificação.

Para se fazer uso de todos os benefícios que a tecnologia BIM pode fornecer, com suas diversas ferramentas e aplicações, não se pode limitar a análise de desempenho de edificações, por meio dos modelos BIM, somente às avaliações já confinadas aos *softwares* de modelagem atuais. A partir da interoperabilidade, característica dessa tecnologia, programas computacionais de diferentes empresas e desenvolvedores, e de distintos formatos, são compatíveis entre si, promovendo a troca de informações de forma unificada, sem perda de dados e de elementos construtivos dos modelos.

Nesse sentido, Eastman et al. (c2008, tradução nossa) destacam que a interoperabilidade pode ser garantida a partir da utilização de padronização IFC (*Industry Foundation Classes*). De acordo com os autores, a adoção desse padrão é capaz de fornecer um mecanismo que assegura a interoperabilidade entre programas computacionais com diferentes formatos internos, permitindo a importação e a exportação de modelos BIM entre diferentes aplicações. Addor et al. (2010, p. 111) destacam que “O IFC é um formato não proprietário, de arquitetura aberta, uma linguagem comum, utilizada para a troca entre modelos de diversos fabricantes.”

Assim, pode-se fazer uso de *softwares* que permitem a criação de regras de verificação, abrangendo diferentes disciplinas, e que, através das regras, podem realizar a manipulação das especificações previstas em norma, de modo a verificar determinados requisitos no modelo gerado em *software* de modelagem.

Devido à possibilidade de uso de diversos programas computacionais, capazes de utilizar um modelo BIM unificado, a avaliação de desempenho das edificações não se torna presa às limitações de somente um *software*. Esse processo é extremamente dinâmico, onde as informações fluem, otimizando a concepção de edificações e propondo mudanças nas práticas de projetos, que envolvem toda a cadeia produtiva da indústria da construção civil.

Nesse mesmo sentido, atualmente inexistem um único *software* capaz de realizar, na totalidade, as simulações previstas na NBR 15.575 por meio do uso de modelos BIM, que forneçam subsídios para a correta especificação de materiais, componentes, elementos e sistemas construtivos. Essa pluralidade de programas computacionais aumenta significativamente os investimentos necessários para que a opção BIM se torne viável, tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico. Entretanto, a pluralização de *softwares*, capazes de prever o comportamento de sistemas de uma edificação, é vantajosa se observada a possibilidade de alta especialização de cada uma das aplicações. Existem *softwares* distintos, mas cada um deles pode fornecer informações relevantes e confiáveis.

A Parte 1 da NBR 15.575 é estruturada de tal forma que existem 13 requisitos ao desempenho para sistemas que compõem uma edificação. É natural que, devido à singularidade dos diversos materiais e das técnicas construtivas que fazem parte de uma edificação, cada um desses sistemas apresente características de comportamento distintas.

Existem *softwares* específicos para a avaliação de desempenho para sistemas construtivos, já presentes na versão atual da norma, como o *Energy Plus*, por exemplo. Entretanto, percebe-se que alguns requisitos são extremamente customizados e de difícil padronização. Atualmente, não existem programas computacionais capazes de realizar essa avaliação de forma automatizada.

Devido à sua versatilidade, a tecnologia BIM tem como grande potencial a capacidade de adaptação das informações e das análises, às necessidades que são demandadas pelo usuário. Assim, há softwares onde as regras são personalizáveis e parametrizáveis, adaptando-se, aos

requisitos que são menos genéricos. Percebe-se que, mesmo que de forma não unificada, a possibilidade de prever o comportamento e o desempenho de uma edificação, através do uso de tecnologia da informação e de BIM, apresenta alto potencial de integração através da versatilidade de uso e de manipulação de informações entre diferentes aplicações.

## 5 DIRETRIZES DE MODELAGEM BIM

Para que a inserção de informações, na modelagem de edificações em BIM, atenda a necessidade de avaliar o desempenho de edificações, é fundamental que sejam determinadas diretrizes para as etapas de projetos. Com diretrizes de projetos definidas, é possível analisar como a tecnologia BIM pode fornecer auxílio à inserção de informações vinculadas ao desempenho de edificações.

Neste capítulo são descritas as etapas de modelagem do estudo de caso, com informações relacionadas ao processo de inserção de informações e parâmetros, com ênfase em características de desempenho para sistemas construtivos, tendo como base a tecnologia atualmente disponível. O conteúdo é estruturado de acordo com a abrangência e competência do projeto arquitetônico analisado, de forma a seguir a ordem de execução do modelo. Concomitantemente à elaboração de diretrizes de modelagem, serão apresentadas as famílias básicas de objetos paramétricos BIM.

### 5.1 SELEÇÃO DE SOFTWARE DE MODELAGEM BIM

Para o desenvolvimento de modelos representativos das edificações, é necessário que sejam adotados *softwares* BIM adequados. A fim de possibilitar seu uso ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação, fornecendo suporte desde a etapa de projeto, foco deste trabalho, até as etapas de pós-ocupação. Atualmente, o mercado de *softwares* possui inúmeras alternativas disponíveis, e, por esta razão, a escolha de um desses se torna mais criteriosa. Para a seleção dos *softwares* utilizados neste trabalho, foi levada em consideração a experiência de pesquisas anteriores desenvolvidas pelo Norie/UFRGS, na utilização de *softwares* BIM. A seguir, serão discutidos os fatores que condicionaram a escolha do programa computacional para o desenvolvimento do modelo BIM.

Atualmente, existem dois *softwares* voltados à modelagem, que dominam o mercado BIM: *Revit* (Autodesk) e *ArchiCAD* (Graphisoft). Os dois *softwares* oferecem várias funcionalidades, que tornam possível a correta representação de edificações por meio desta tecnologia. Ambos possuem licenças educacionais disponíveis, o que viabiliza o acesso aos recursos presentes em suas versões de forma integral, para o desenvolvimento deste trabalho.

O *software Archicad* foi lançado em 1987, sendo o primeiro programa computacional contendo ferramentas BIM (ADDOR et al., 2010). De acordo com Bortolini (2015), em 2013, foi realizado um *workshop* com especialistas, que discutiram as principais diferenças entre os dois programas computacionais para modelagem BIM. Essas diferenças são apresentadas no quadro 2, evidenciando os critérios de avaliação aos quais os dois *softwares* foram submetidos.

Quadro 2 – Critérios para a escolha do *software* de modelagem BIM.

<b>Crêterios</b>	<b>Revit</b>	<b>ArchiCAD</b>
NECESSIDADE DE FORMATAÇÃO INICIAL DO PROGRAMA PARA COMEÇAR O MODELO	Pouca formatação	Pouca formatação
IMPORTAÇÃO/EXPORTAÇÃO EM IFC	Dificuldade de exportar em IFC	Facilidade de exportar em IFC
FACILIDADE DE USO	M�dia	Fácil
INSERÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES NO IFC	Dificuldade de inserir informa�es no IFC	Facilidade de gestão de informa�es no IFC
TAMANHO DO ARQUIVO	Maior conforme detalhamento do modelo	Arquivo não fica tão grande

(fonte: adaptado de BORTOLINI, 2015, p. 68)

Em pesquisas recentes desenvolvidas pelo Norie/UFRGS, a interoperabilidade entre os diversos aplicativos BIM, item importante em se tratando de compatibiliza o de informa es para conhecer o desempenho de edifica es, foi assegurada a partir da exporta o em formato IFC. Nessas pesquisas, verificou-se que características como qualidade e confiabilidade de arquivos IFC, gerados a partir de modelos desenvolvidos em *ArchiCAD*, são superiores às observadas em modelos que foram executados exclusivamente no *software* da *Autodesk*.

Um modelo BIM   composto por um conjunto de famílias de objetos parametrizados. A forma como essas famílias são armazenadas nos modelos está diretamente relacionada   dimensão final dos arquivos gerados. Percebe-se que a forma de vincula o de famílias de objetos aos modelos, identificada no *ArchiCAD*, possibilita que o tamanho dos arquivos finais seja menor e compatível ao nível de desenvolvimento adotado. Esse fato não acontece em modelos gerados no *Revit*, cuja dimensão e extensão dos arquivos, dependendo do *template* utilizado,   muito superior, exigindo altos investimentos em *hardware* para a execu o de modelos com moderado nível de complexidade.

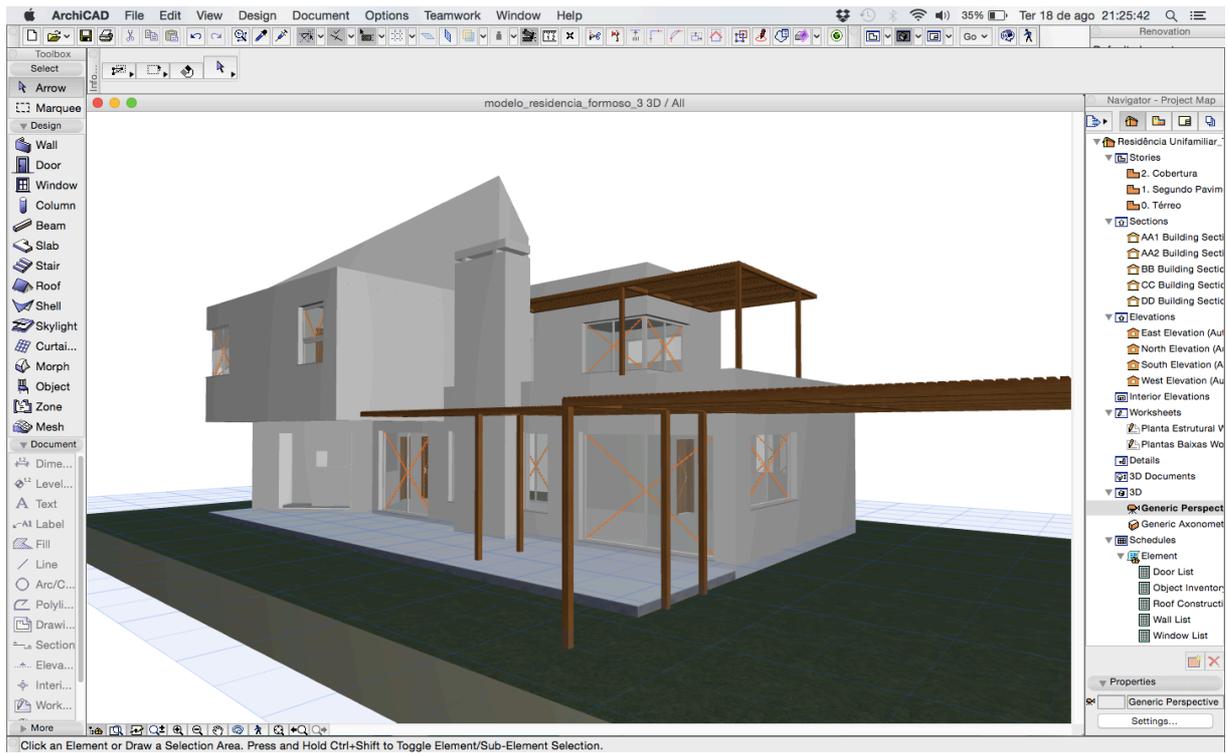
A escolha do *software* de modelagem é resultado de um conjunto de fatores que são fundamentais para a adequada execução de modelos BIM, que devem ser avaliados de acordo com o perfil de modelagem necessário para cada caso. O *software* adotado para o desenvolvimento deste trabalho foi o *ArchiCAD*. O *software* vai de encontro às necessidades que são demandadas pela pesquisa, fornecendo meios para a adequada realização da modelagem de uma edificação residencial.

## 5.2 ETAPA EXPERIMENTAL: MODELAGEM BIM

A edificação tem tipologia residencial unifamiliar de padrão alto, conforme a NBR 12.721. Para o desenvolvimento do modelo BIM, o autor teve acesso aos seguintes projetos: arquitetônico, estrutural, de instalações hidrossanitárias e de instalações elétricas. Esses projetos foram desenvolvidos tradicionalmente, ou seja, através de plantas desenhadas em duas dimensões não parametrizadas, por meio do *software AutoCAD (Autodesk)*. Também, foi disponibilizado o memorial descritivo da edificação, contendo as informações correspondentes à especificação dos sistemas construtivos adotados. O projeto arquitetônico foi desenvolvido pelo escritório Neves e Baldauf, localizado em Porto Alegre - RS.

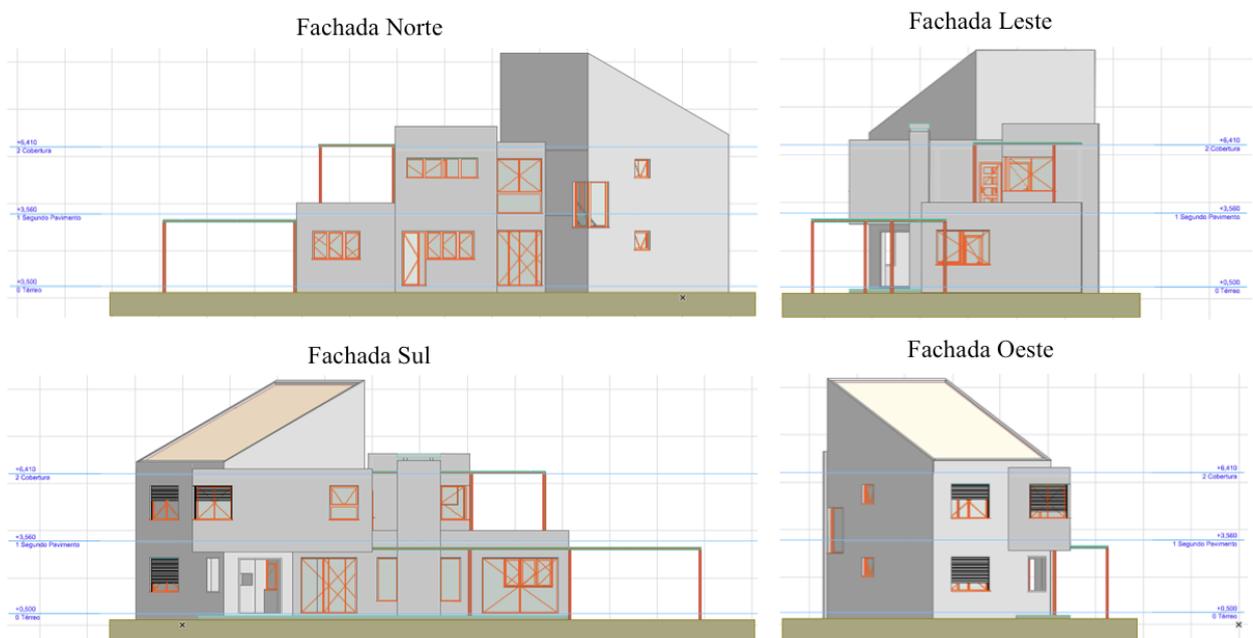
A edificação está localizada no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul, apresenta 212 m<sup>2</sup> de área construída, e é composta por dois pavimentos, sendo o térreo e o segundo pavimento constituídos por áreas sociais, 3 dormitórios, sala de estar, cozinha e banheiros. No segundo pavimento, encontra-se um terraço aberto, e o último pavimento está reservado aos equipamentos técnicos, como reservatórios e máquinas de ar condicionado. A figura 2 representa uma imagem extraída do modelo BIM que foi desenvolvido, e a figura 3 é constituída pelas elevações da edificação estudada, e na figura 4 encontram-se cortes esquemáticos da edificação. Ambas as três figuras foram obtidas no *Archicad*.

Figura 2 – Modelo BIM da edificação estudada



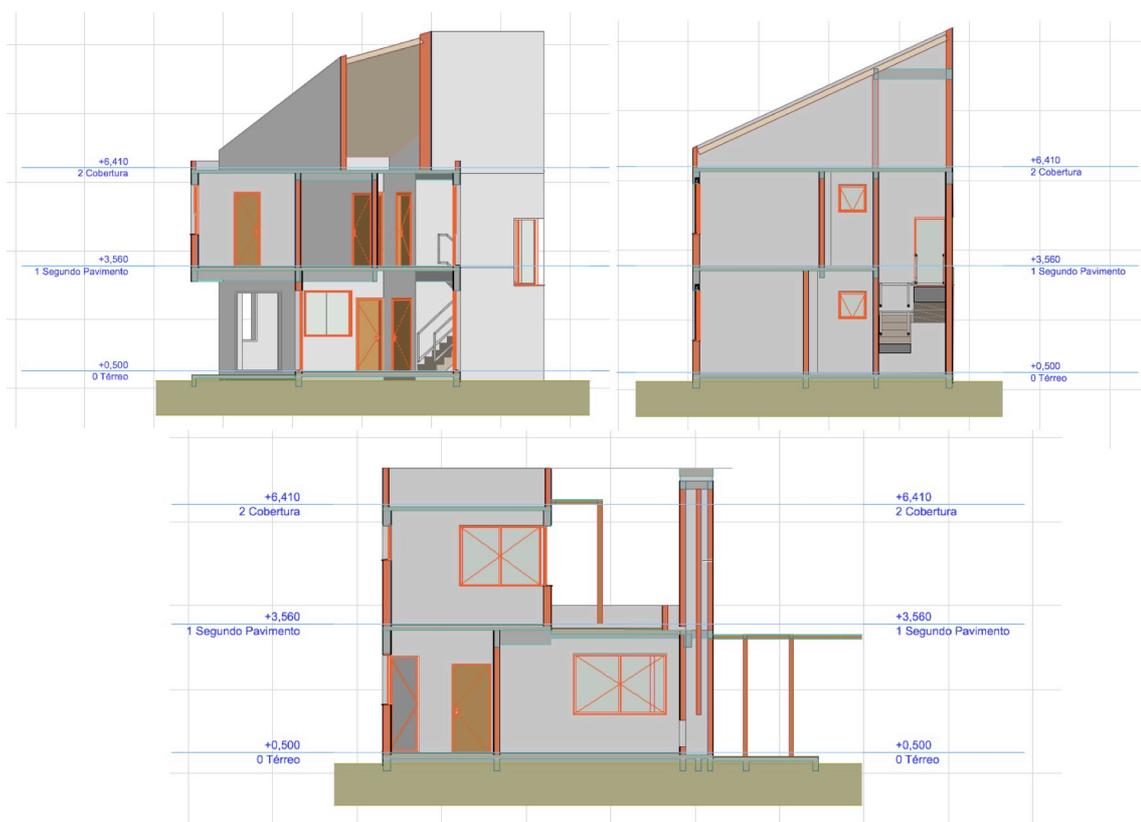
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 3 – Elevações da edificação estudada



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 4 – Cortes esquemáticos da edificação estudada



(fonte: elaborado pelo autor)

A residência foi modelada durante a fase de projetos da edificação. Ou seja, o modelo foi desenvolvido ao mesmo tempo em que os projetos foram elaborados pelos diferentes profissionais contratados pelos proprietários, que demonstraram interesse na utilização de tecnologia BIM para a edificação. Este fato demonstra a importância em reunir e dedicar maiores esforços às etapas pré-constructivas de uma obra, de modo a prever incompatibilidades e consequentes problemas oriundos da execução de atividades de fluxo ao longo dos processos.

### 5.3 DIRETRIZES GERAIS DE MODELAGEM

As diretrizes de modelagem propostas neste trabalho tem validade tanto para situações de transição e de implementações BIM iniciais (projetos desenvolvidos em CAD e posteriormente construídos em BIM), quanto para situações de projetos integralmente desenvolvidos em BIM. Esses oferecem condições ideais para a completa implementação e

utilização das potencialidades da tecnologia BIM. As diretrizes gerais tratam de questões iniciais de modelagem, necessárias para posterior detalhamento do modelo.

### 5.3.1 Diretrizes Técnicas

É fundamental que o modelo BIM seja realizado de forma a dividir os sistemas que fazem parte da edificação em diferentes camadas (*layers*). Pois, assim, é possível inserir os elementos construtivos e objetos de forma mais organizada, possibilitando prover melhor visualização para a elaboração do modelo. A separação de camadas previstas para a edificação em estudo corresponde aos diferentes sistemas construtivos utilizados.

Também, é fundamental definir as unidades de trabalho e o número de dígitos significativos, visto que tal informação está diretamente relacionada à precisão das dimensões inseridas e aos ajustes de escala de impressão de eventuais pranchas. Tal informação pode ser acessada através das preferências de projeto, onde é possível determinar as unidades nas quais o modelo é desenvolvido, o *layout* é representado, e os ângulos são medidos. A figura 5 representa a aba unidades de trabalho, com as respectivas seleções para a edificação em estudo.

Figura 5 – Unidades de trabalho

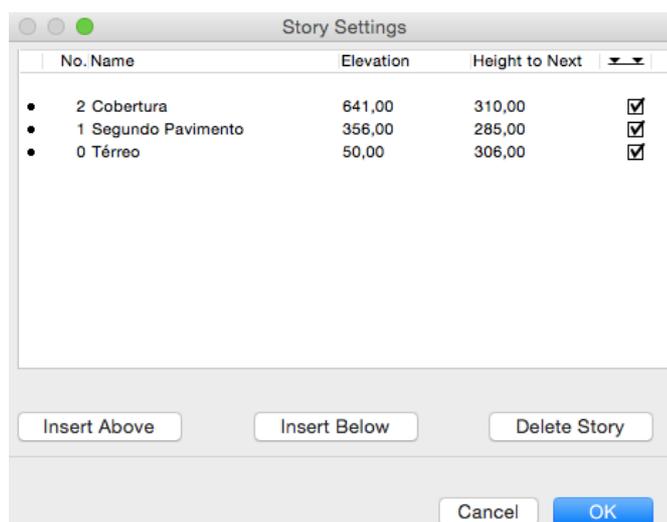
Category	Unit	Decimals
Model Unit	centimeter	2
Layout Unit	millimeter	1
Angle Unit	decimal degrees	2
Angle & Font Size Decimals in Dialog Boxes		2

Note: Working Units set here are effective throughout the project, except for Dimensions and Calculation Units, which are defined separately on their own Preferences pages.

(fonte: elaborado pelo autor)

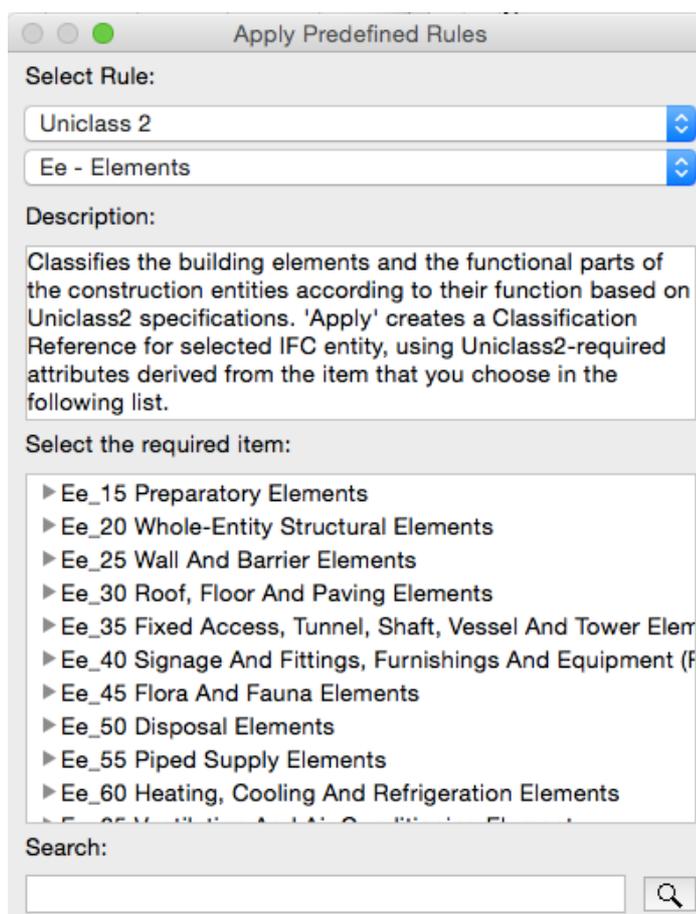
Em se tratando de níveis de referência, é imprescindível que seja adotado um padrão, seguido pela correta especificação das elevações. Para o projeto em questão, os níveis de referência foram determinados na cota dos pisos principais executados em sua totalidade. Tal informação é passível de modificação nas configurações de pavimentos, onde, ainda, é possível inserir novos níveis de referência. A figura 6 representa a aba das configurações de pavimentos.

Figura 6 – Configurações de níveis e de pavimentos



(fonte: elaborado pelo autor)

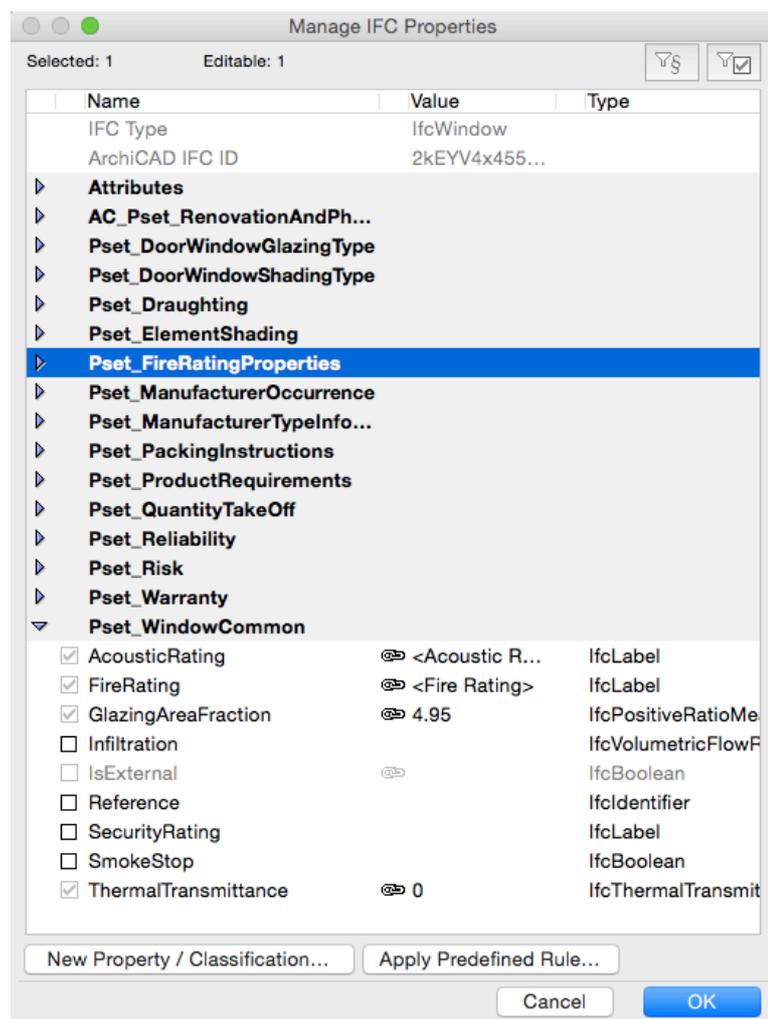
Como já citado nos capítulos 3 e 4, é fundamental garantir a interoperabilidade do modelo entre diversas aplicações, que pode ser assegurada, dentre outros formatos, através da exportação em formato IFC. Para isso, deve-se dedicar atenção ao gerenciamento de propriedades IFC de todos os elementos que constituem o modelo BIM. Uma forma razoável de garantir que o modelo, em se tratando de IFC, seja coeso e unificado, armazenando informações de modo adequado, é aplicar aos elementos, regras IFC pré-determinadas. Para o projeto em questão, optou-se pela utilização da classificação IFC Uniclass 2, padrão sugerido pelo *Construction Project Information Committee* – CPIC, no Reino Unido, que classifica os elementos construtivos, e suas informações, de acordo com as respectivas funções na edificação. A figura 7 representa o conjunto de classificações IFC Uniclass 2, presente no software *Archicad*. Além do IFC, sugerido nesse trabalho, existem demais formatos, como o gbXML, que são possíveis alternativas para se assegurar a interoperabilidade do modelo BIM.

Figura 7 – Catálogo Uniclass 2 no *software Archicad*

(fonte: elaborado pelo autor)

O gerenciamento das demais propriedades IFC dos objetos permite que sejam adicionados parâmetros pré-determinados aos elementos que são inseridos no modelo BIM. Esses parâmetros tornam-se importantes, pois incluem informações semânticas e numéricas, vinculadas às características de desempenho desses objetos, como resistência ao fogo e isolamento acústica. Caso esses sejam dados conhecidos, eles possam ser devidamente armazenados no modelo, introduzindo-os nas propriedades IFC dos próprios objetos paramétricos. Cabe ressaltar que os grupos de informações pré-determinados variam conforme o tipo de elemento IFC que está sendo inserido. Ou seja, existem conjuntos de propriedades diferentes para cada sistema construtivo, passíveis de personalização. A figura 8 representa a aba de gerenciamento das propriedades IFC dos objetos, contendo os tópicos de informações passíveis de inserção para uma janela.

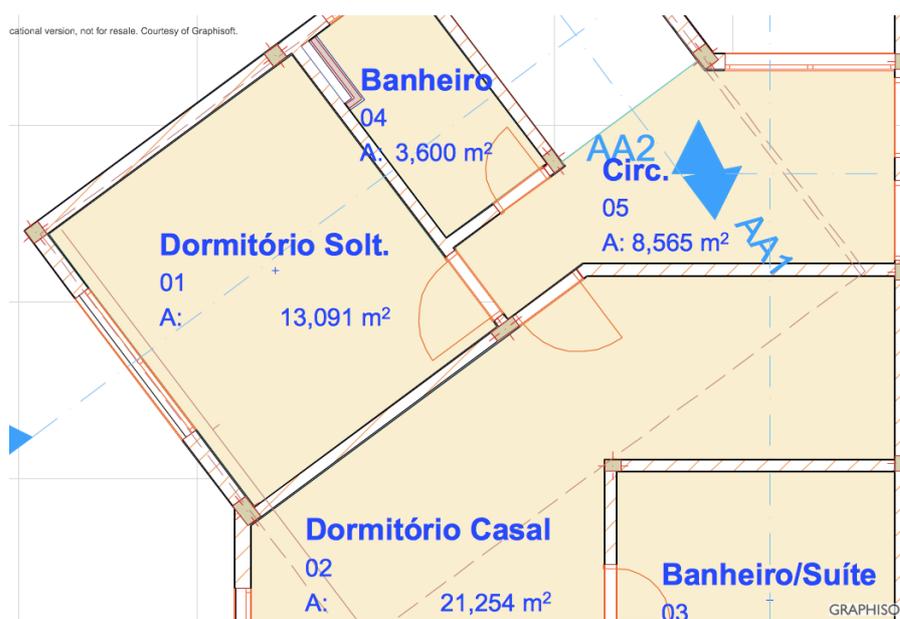
Figura 8 – Gerenciamento de propriedades IFC e inserção de informações de desempenho aos objetos paramétricos



(fonte: elaborado pelo autor)

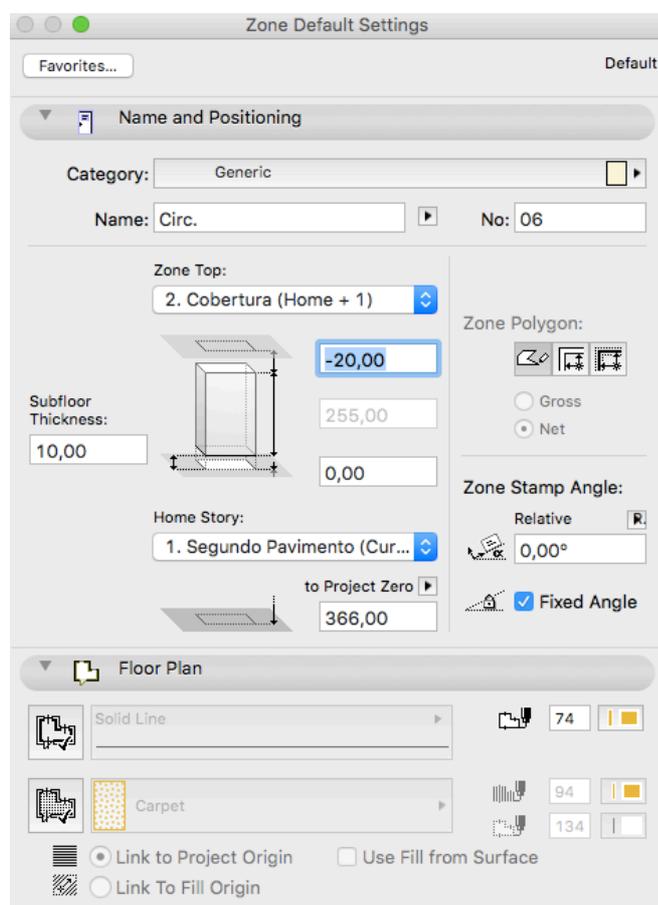
Em se tratando de um modelo que pode vir a ser posteriormente submetido à análise de requisitos vinculados ao desempenho de seus sistemas construtivos, a definição das zonas e, conseqüentemente, dos espaços, é uma etapa de significativa importância. A partir da correta inserção das zonas, delimitam-se os diferentes espaços que compõem uma edificação. Dessa forma, é possível restringir futuras análises do modelo a determinados espaços, ou, até mesmo, permitir que seja realizada a avaliação na interface entre os espaços. Por meio das zonas, podem ser verificados requisitos como pé-direito e espaços mínimos de uma edificação, por exemplo. A seguir são apresentadas as figuras 9 e 10, onde é possível observar as zonas definidas para a edificação estudada, bem como a aba de inserção de propriedades para as zonas no *Archicad*, com as respectivas cotas de base e topo, conforme os níveis do pavimento.

Figura 9 – Zonas definidas para os espaços da edificação estudada



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 10 – Propriedades das zonas



(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.3.2 Ambiente Externo

Com relação ao ambiente externo e às informações geográficas, é imprescindível que a correta localização da edificação possa ser especificada. Isso é possível a partir da inserção das coordenadas geográficas do local, bem como da altitude, do fuso horário, e da posição do norte da edificação. Outra informação inserida no modelo é o material que compõe o solo do terreno, bem como qual é o tipo de superfície nos seus arredores, com os correspondentes valores de condutividade térmica, densidade e capacidade de calor. É importante observar que, para alguns materiais, o próprio *software* já prevê valores, com base nas bibliotecas carregadas, que podem ser livremente modificados, caso sejam realizados ensaios *in loco*. Esses itens podem ser observados na figura 11, com os valores correspondentes à edificação em estudo.

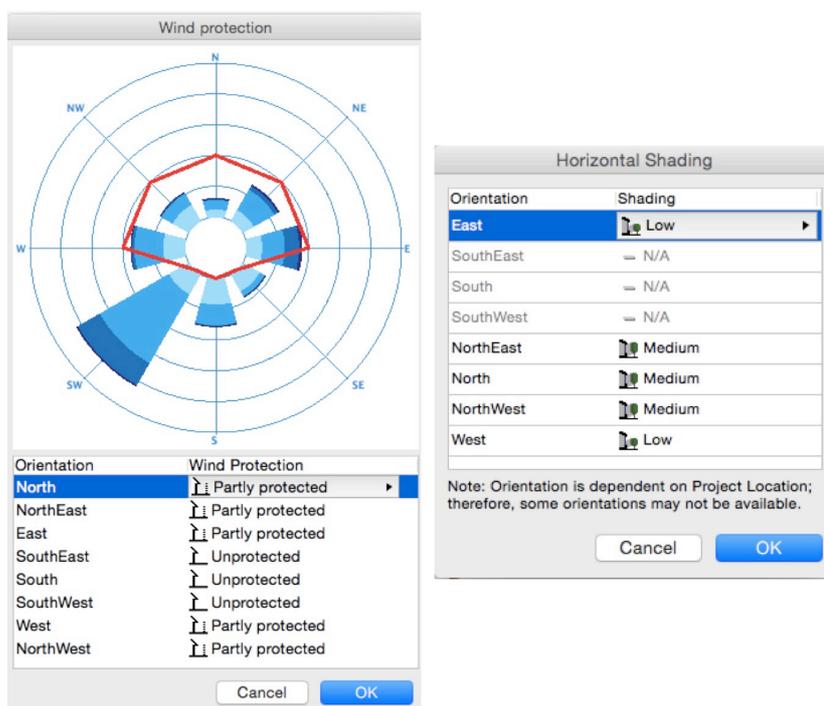
Figura 11 – Dados de localização ambiental do projeto

The image shows two side-by-side dialog boxes from a software application. The left dialog, titled 'Project Location', contains the following fields: Project Name (Residência Unifamiliar\_Teste), Site Full Address, Latitude (29° 59' 8.0000" S), Longitude (50° 11' 48.3000" W), Altitude (8,38 m), Time Zone (UTC-03:00 Horário Padrão de...), and Project North (81,23°). It includes buttons for 'Edit...', 'Cities...', 'Import...', 'Export...', and 'Show in Google Maps...'. The right dialog, titled 'Environment Settings', includes 'Location and Climate' (29° 59' 8" S, 50° 11' 48" W), 'Climate source' (Strusoft server), 'Grade Level' (Offset Distance: 0,00), 'Soil Type' (Gravel), and 'Surroundings' (Garden, Ground reflectance: 20%). It also includes buttons for 'Project Location...', 'Climate Data...', and 'Wind Protection...'. Both dialogs have 'Cancel' and 'OK' buttons at the bottom.

(fonte: elaborado pelo autor)

Ainda, pode ser determinado se há proteção contra o vento nos arredores da edificação, além de ser possível especificar como se comporta o sombreamento nas elevações da residência. As características relacionadas ao ambiente externo da edificação são imprescindíveis, do ponto de vista de desempenho. De posse dessas informações, é possível detalhar, de forma mais precisa, características da zona bioclimática e do meio nos quais a edificação está situada. Na figura 12 pode ser observado, como exemplo, a incidência de vento mais forte na fachada sudoeste, e os diferentes níveis de sombreamento de uma edificação.

Figura 12 – Proteção contra o vento e sombreamento do projeto



(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.4 DIRETRIZES DE PROJETO ARQUITETÔNICO

A realização do modelo teve início com as informações contidas nos projetos e no memorial descritivo da edificação. Os projetos, em sua maioria, ainda não foram desenvolvidos em BIM. Devido a isso, para a elaboração das diretrizes arquitetônicas deste trabalho, emerge a necessidade em se construir o modelo BIM a partir de plantas desenvolvidas através de métodos tradicionais (CAD-2D não parametrizado). Isso caracteriza o trabalho como uma situação de transição e de início aos estímulos para a completa implementação BIM. As diretrizes de projeto arquitetônico buscam esclarecer como deve ser desenvolvida a modelagem desses elementos, com ênfase em desempenho de edificações.

### 5.4.1 Paredes

Os componentes que compõem o elemento construtivo parede possuem grande importância na elaboração de modelos BIM, com ênfase em informações relacionadas a desempenho. As paredes, na edificação estudada, possuem somente função de vedação vertical. Toda e

qualquer carga oriunda do peso próprio dos elementos construtivos e das cargas acidentais, previstas em projeto, devem ser integralmente direcionadas e satisfatoriamente absorvidas pelo sistema estrutural, composto por elementos laje, pilar e viga, caracterizando a mesma como estrutura convencional em concreto armado.

Em se tratando da função de vedação vertical em blocos cerâmicos, as paredes estão relacionadas à grande parte dos requisitos de desempenho previstos na NBR 15.575, como desempenho térmico e acústico. Portanto, a qualidade dos elementos que compõem esse sistema, bem como o controle dos componentes materiais que são utilizados na fabricação desses elementos é imprescindível para que o conjunto seja capaz de alcançar o nível de desempenho adequado aos critérios estabelecidos na NBR 15.575.

É evidente que a modelagem BIM pode auxiliar esse processo de tal forma a possibilitar que os projetistas especifiquem elementos, e, por consequência, sistemas construtivos, cujos desempenhos sejam conhecidos<sup>1</sup>. As informações de cada elemento, em situação ideal, podem ser disponibilizadas através das famílias de objetos paramétricos, fornecidas pelos próprios fabricantes, que, diante da necessidade em se comprovar desempenho, precisam realizar ensaios previstos em norma com seus produtos, assegurando que os elementos são adequados para os sistemas a que se destina o uso.

#### 5.4.1.1 Processo de Modelagem

As paredes que fazem parte do sistema construtivo de vedação vertical em blocos cerâmicos, foram modeladas com a ferramenta *Wall*, de acordo com as especificações e dimensões contidas em projeto arquitetônico, além daquelas presentes no memorial descritivo da edificação.

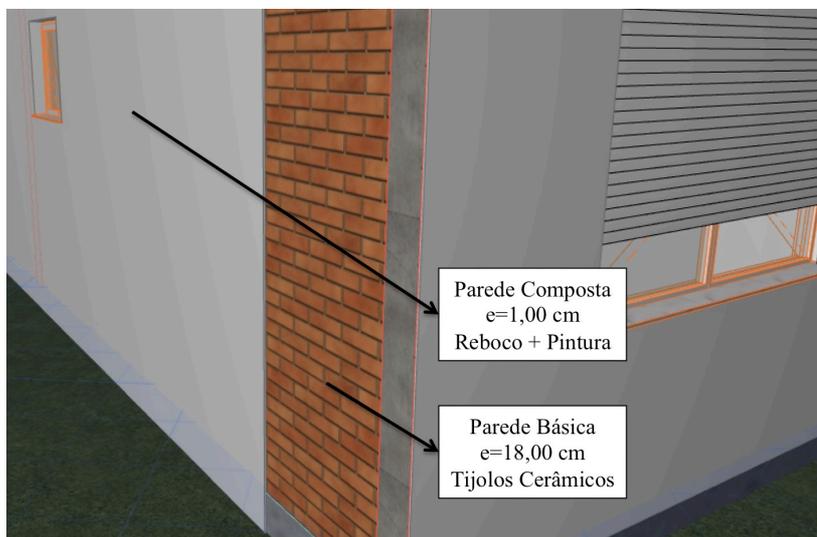
O *software* possibilita a escolha de três sistemas de modelagem de paredes distintos: *basic* (básico), *composite* (composto) e *complex profile* (perfil complexo). Os três sistemas de modelagem de paredes diferem quanto à utilização de diferentes camadas, formando uma parede composta, até o uso de formatos não convencionais, com perfis complexos. A tipologia adotada de modelagem para as paredes foi através da combinação entre as opções básica e composta, em função de que as diferentes camadas que compõem a parede possuem

---

<sup>1</sup> O Ministério das Cidades deve divulgar um Catálogo de Desempenho dos principais sistemas construtivos até o final do ano de 2015.

diferentes alturas, devido aos elementos de revestimento. Esse fato pode ser observado na figura 13.

Figura 13 – Composição do elemento parede



(fonte: elaborado pelo autor)

Destaca-se que fato de modelar as camadas individualmente é vantajoso do ponto de vista de produção. Assim, a confiabilidade do modelo é aumentada, permitindo que análises posteriores, como planejamento e sequenciamento de atividades através de 4D<sup>2</sup> e a avaliação de demais requisitos, possam ser realizadas de forma satisfatória. Tal situação somente é aplicável pois, através dos *softwares* adotados, não é possível a inserção de parâmetros físicos ao sistema construtivo completo. Esta etapa é realizada de forma individual, através da modificação dos materiais que compõem os elementos.

#### 5.4.1.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes

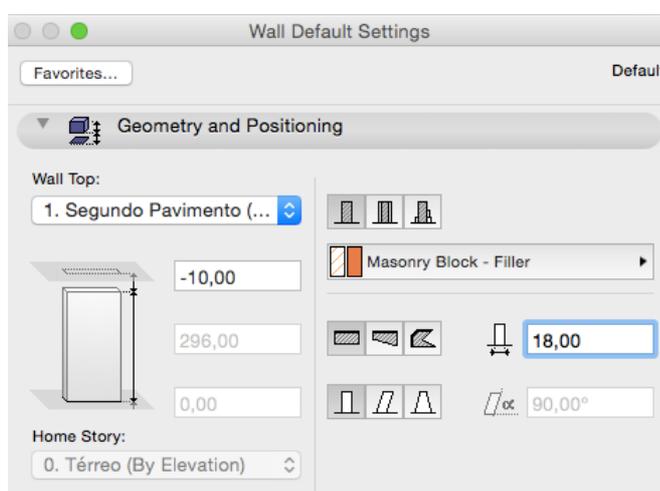
As paredes fazem parte das ferramentas básicas dos programas computacionais baseados em BIM. Elas são objetos paramétricos produzidos pelos próprios desenvolvedores de *softwares*, e, devido à necessidade de adequação a diferentes projetos, são altamente versáteis do ponto de vista de modificação de parâmetros. A seguir, são descritos os parâmetros essenciais para a modelagem BIM com foco em desempenho.

<sup>2</sup> Utilização de quatro dimensões BIM, aliando o modelo 3D a uma nova dimensão vinculada ao tempo. Dessa forma é possível realizar simulações com diferentes sequências de produção e variando-se estratégias de ataque à obra, a fim de se otimizar o sequenciamento da produção das edificações.

#### 5.4.1.2.1 Espessura

Garantir que a espessura das paredes corresponda às diretrizes estabelecidas em projeto são essenciais para que o modelo seja capaz de fornecer informações corretas. A forma de inserção desse parâmetro varia conforme o sistema de modelagem adotado. Para paredes básicas, este é um parâmetro direto, sendo inserido nas propriedades do próprio elemento construtivo, conforme estabelecido na figura 14, cuja espessura final é igual a 18 centímetros para paredes externas, de acordo com o projeto arquitetônico fornecido.

Figura 14 – Espessura de paredes básicas

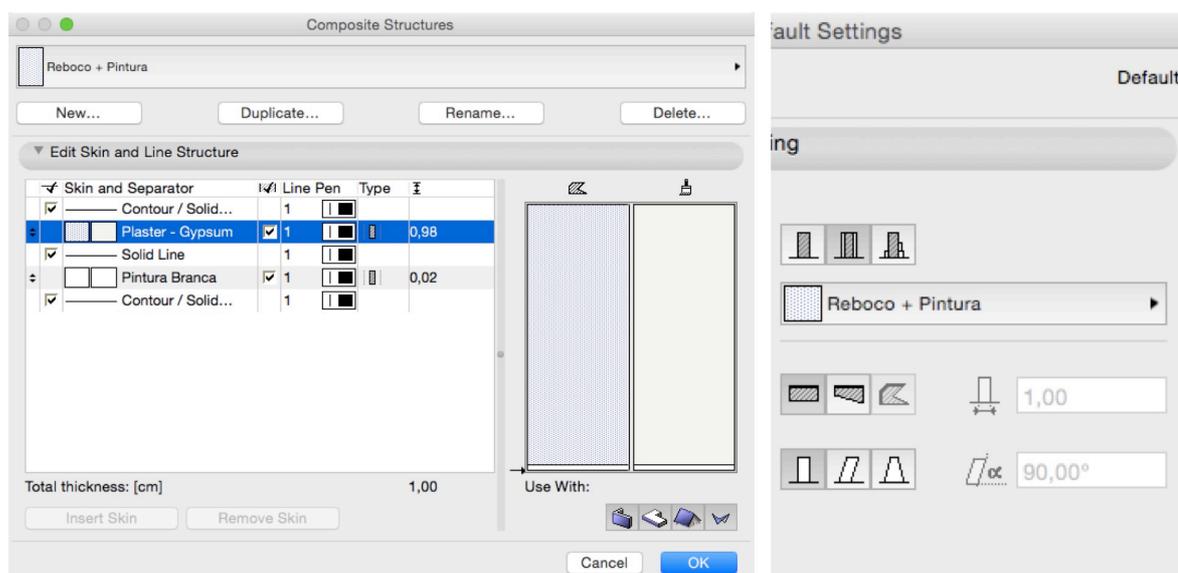


(fonte: elaborado pelo autor)

As paredes de tipologia composta possuem espessura já determinada pelas diferentes camadas que as compõem, sendo que cada uma dessas camadas possui materiais e espessuras distintas. Esse parâmetro deve ser determinado na aba estruturas de composições, conforme demonstrado na figura 15. É importante observar que a opção para inserção da espessura final (1 centímetro), nas propriedades do elemento, para paredes compostas, está desabilitada em função de esse ser um parâmetro pré-determinado em função da própria composição desenvolvida.

Percebe-se que as dimensões adotadas no projeto arquitetônico fornecido não refletem dimensões usuais e comerciais para o componente cerâmico especificado no memorial descritivo da edificação. Dessa forma, o modelo desenvolvido segue as dimensões especificadas no projeto arquitetônico da edificação.

Figura 15 – Espessura de paredes compostas



(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.1.2.2 Propriedades Físicas

Em função de as paredes serem elementos genéricos, é imprescindível que os componentes e materiais que constituem os elementos presentes neste sistema construtivo sejam corretamente especificados. É extremamente necessário que as propriedades físicas desses materiais estejam de acordo com as especificações de projeto. O *software Archicad* permite que as propriedades físicas sejam atribuídas a elementos ou componentes nas propriedades IFC, ou por meio de especificação aos materiais que os compõem. Tal fato dificulta a avaliação de desempenho conforme a NBR 15.575. Percebe-se que, além disso, há divergências em nomenclaturas e definições de termos. Em função disso, optou-se por nomear materiais/componentes, o que o *software* chama de materiais.

As informações vinculadas aos materiais/componentes encontram-se na opção atributos dos elementos, nas respectivas seções de Superfícies e Materiais de Construção.

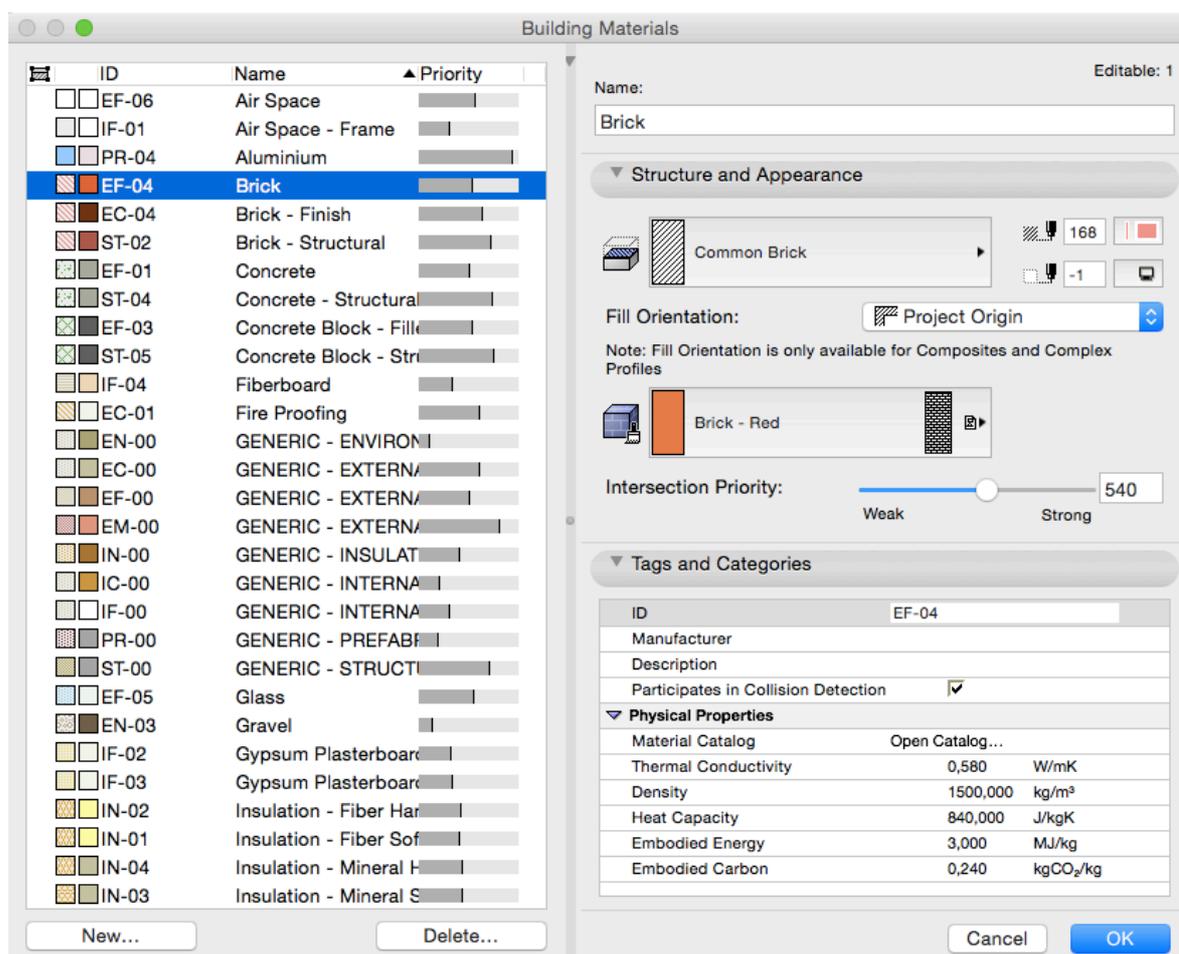
Atualmente, o meio de inserção das propriedades físicas em um modelo BIM diverge da necessidade que se faz presente, devido às especificações da NBR 15.575. A forma de avaliação de desempenho prevista em norma, está relacionada ao sistema construtivo como um todo. O desempenho do conjunto de diferentes elementos, que por sua vez são compostos por diferentes componentes e materiais, deve ser observado sob a ótica do sistema construtivo como um todo, e não por meio do comportamento individual, dos diferentes componentes e

materiais que caracterizam seus elementos, conforme as possibilidades atuais de modelagem. O local ideal para a inserção desses parâmetros físicos, sob a ótica sistêmica, seria na própria "janela" de formação da composição, indicada na figura 15.

O *software Archicad* possui um vasto catálogo de materiais, com suas respectivas propriedades físicas. Entretanto, caso estes sejam valores conhecidos e específicos para o projeto em questão, eles podem ser devidamente modificados. Ainda que não caracterizando uma situação ideal, percebe-se que a tecnologia BIM possui o potencial necessário, para que as propriedades físicas de um sistema construtivo possam ser devidamente inseridas no modelo, conforme prevê a NBR 15.575.

A figura 16 representa os materiais que fazem parte da composição dos objetos paramétricos BIM, e suas respectivas propriedades físicas, enquanto a figura 17 corresponde ao catálogo de materiais e de propriedades, que faz parte das bibliotecas que são inseridas no *software*.

Figura 16 – Características físicas dos materiais/componentes



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17 – Catálogo de materiais e propriedades físicas correspondentes

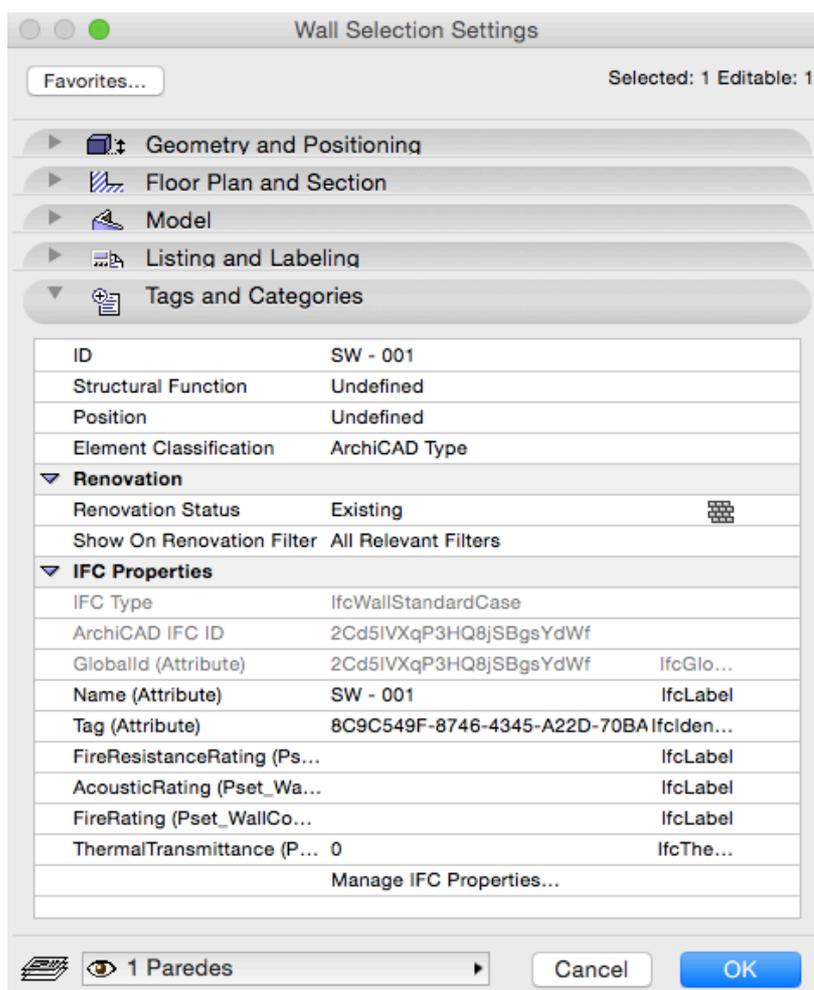
	Thermal conductivit...	Density...	Heat capacity...	Embodied Energ...	Embodied Carbo...
▶ AIR GAPS					
▶ ASPHALT					
▶ BITUMEN					
▼ BURNT CLAY					
SOLID BRICK 1	0,5800	1500,0000	840,0000	3,0000	0,2400
SOLID BRICK 2	0,6000	1500,0000	840,0000	3,0000	0,2400
BURNT CLAY...STRENGTH 1	0,1090	600,0000	920,0000	6,0000	0,4800
BURNT CLAY...STRENGTH 2	0,1210	648,0000	920,0000	6,0000	0,4800
BURNT CLAY...STRENGTH 1	0,1250	742,0000	920,0000	6,0000	0,4800
BURNT CLAY...STRENGTH 2	0,1480	694,0000	920,0000	6,0000	0,4800
BURNT CLAY...STRENGTH 1	0,2160	960,0000	920,0000	4,5000	0,3600
BURNT CLAY...STRENGTH 2	0,2720	840,0000	920,0000	4,5000	0,3600
BURNT CLAY...ED STRONG	0,3240	940,0000	920,0000	4,5000	0,3600
▶ CONCRETE					
▶ ENVIRONMENT					
▶ EXPANDED CLAY					
▶ FLOOR COVERINGS					
▶ GLASS					
▶ GYPSUM					
▶ METALS					

(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.1.2.3 Categorização

A informação vinculada aos elementos e objetos paramétricos, presentes em um modelo BIM, são essenciais para que este seja capaz de cumprir sua função. Em se tratando de paredes, pode-se atribuir livremente um código do elemento (ID), sendo que esta é uma característica individual de cada elemento que constitui o modelo. Ainda, podem ser inseridas informações vinculadas à capacidade estrutural, posição e classificação do elemento. Além disso, deve ser realizada a inserção de propriedades IFC, onde podem ser utilizadas as classificações padrão. No caso do modelo em questão, optou-se por utilizar o padrão de classificação IFC Uniclass 2, conforme já mencionado anteriormente. A figura 18 representa a aba de categorização de paredes, evidenciando as informações inseridas para uma parede externa básica.

Figura 18 – Categorização do elemento construtivo: parede de vedação vertical



(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.4.2 Lajes e pisos

As lajes foram modeladas de acordo com os projetos da edificação em estudo. No entanto, o processo de modelagem restringiu-se à representação arquitetônica das mesmas, por meio de um bloco maciço de concreto, sem o detalhamento de armaduras. Dessa forma, não é possível, a avaliação de desempenho quanto à segurança estrutural, que não fazem parte do escopo deste trabalho.

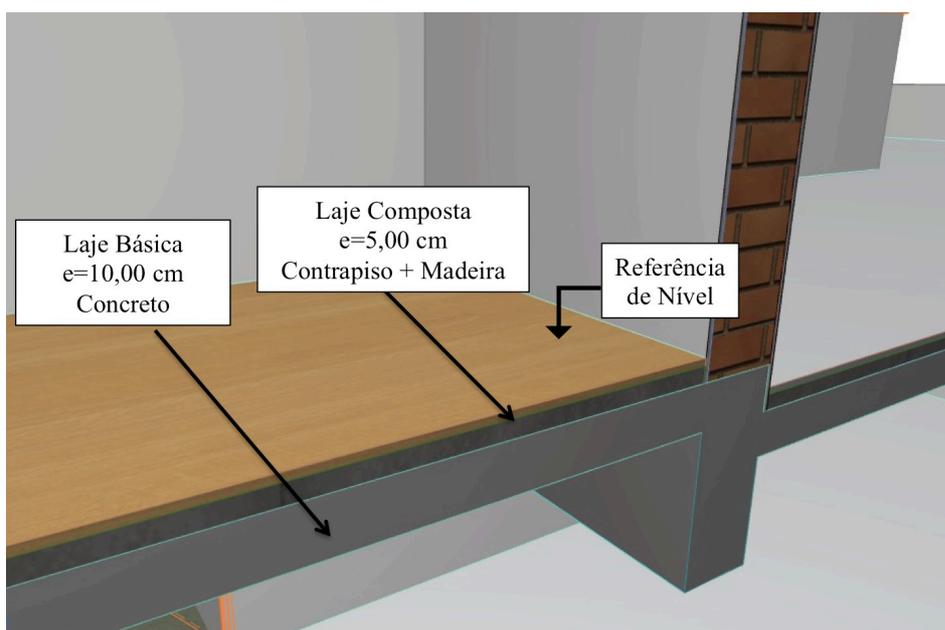
### 5.4.2.1 Processo de Modelagem

De forma análoga às paredes, a camada correspondente aos pisos da edificação foi modelada separadamente da laje principal, utilizando a ferramenta *slab*, permitindo a análise individualizada de cada uma das camadas. Ainda, é possível a escolha entre duas tipologias de construção do elemento, básica e composta. Os elementos que constituem o corpo principal

das lajes foram modelados com a tipologia básica, enquanto os pisos foram modelados com a tipologia composta.

É importante ressaltar que, como escolha inicial de modelagem, os níveis de referência dos pavimentos foram adotados em função das cotas de piso acabados, conforme indica a figura 19, onde, ainda, é possível observar a separação entre os elementos laje e piso.

Figura 19 – Composição dos elementos construtivos laje e piso



(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.2.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes

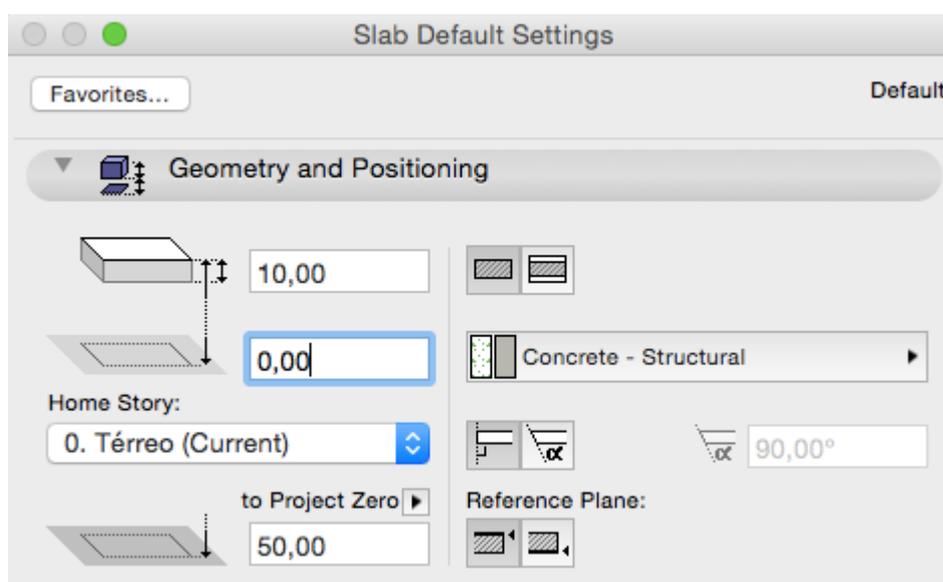
As lajes, assim como as paredes, fazem parte das ferramentas básicas dos *softwares* BIM. Portanto, é fundamental realizar a adaptação delas ao projeto em questão. Os parâmetros essenciais, que devem ser inseridos, a fim de realizar a modelagem BIM com ênfase em desempenho, são semelhantes àqueles observados nas paredes, descritos a seguir.

##### 5.4.2.2.1 Espessura

A espessura das lajes e dos pisos é um parâmetro fundamental, que deve ser representado de forma adequada, a fim de assegurar que futuras análises de desempenho forneçam resultados confiáveis, e compatíveis à realidade. A forma de inserção do parâmetro espessura difere parcialmente, se comparado às paredes; no entanto, sua metodologia permanece a mesma: para lajes básicas, este é um parâmetro direto, enquanto que para lajes compostas, indireto. A

entrada do valor que corresponde à espessura, na aba propriedades, é realizada em conjunto, com a elevação das lajes, que sempre está vinculada a um dos níveis de referência determinados anteriormente. É importante destacar que deve ser informado se o plano de referência encontra-se na borda superior ou inferior do elemento. A figura 20 corresponde à aba de propriedades, com ênfase para os campos de inserção da espessura dos elementos laje, bem como da elevação dos mesmos.

Figura 20 – Espessura de lajes básicas



(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.2.2.2 Propriedades Físicas

A inserção de parâmetros físicos vinculados aos materiais que constituem os elementos ou objetos paramétricos BIM segue uma mesma metodologia, visto que o catálogo de materiais é o mesmo para diferentes elementos construtivos. A inserção das informações referentes aos materiais que constituem a composição das lajes e dos pisos é feita de forma análoga às paredes, já relatada anteriormente.

#### 5.4.2.2.3 Categorização

Com relação à categorização dos elementos, o *software* também mantém metodologia padrão para a inserção de informações. Assim, para os elementos desenvolvidos a partir da ferramenta *slab*, são atribuídos diferentes IDs, além da especificação de função estrutural e posição na edificação, além disso, é mantida a classificação IFC Uniclass 2.

### 5.4.3 Esquadrias

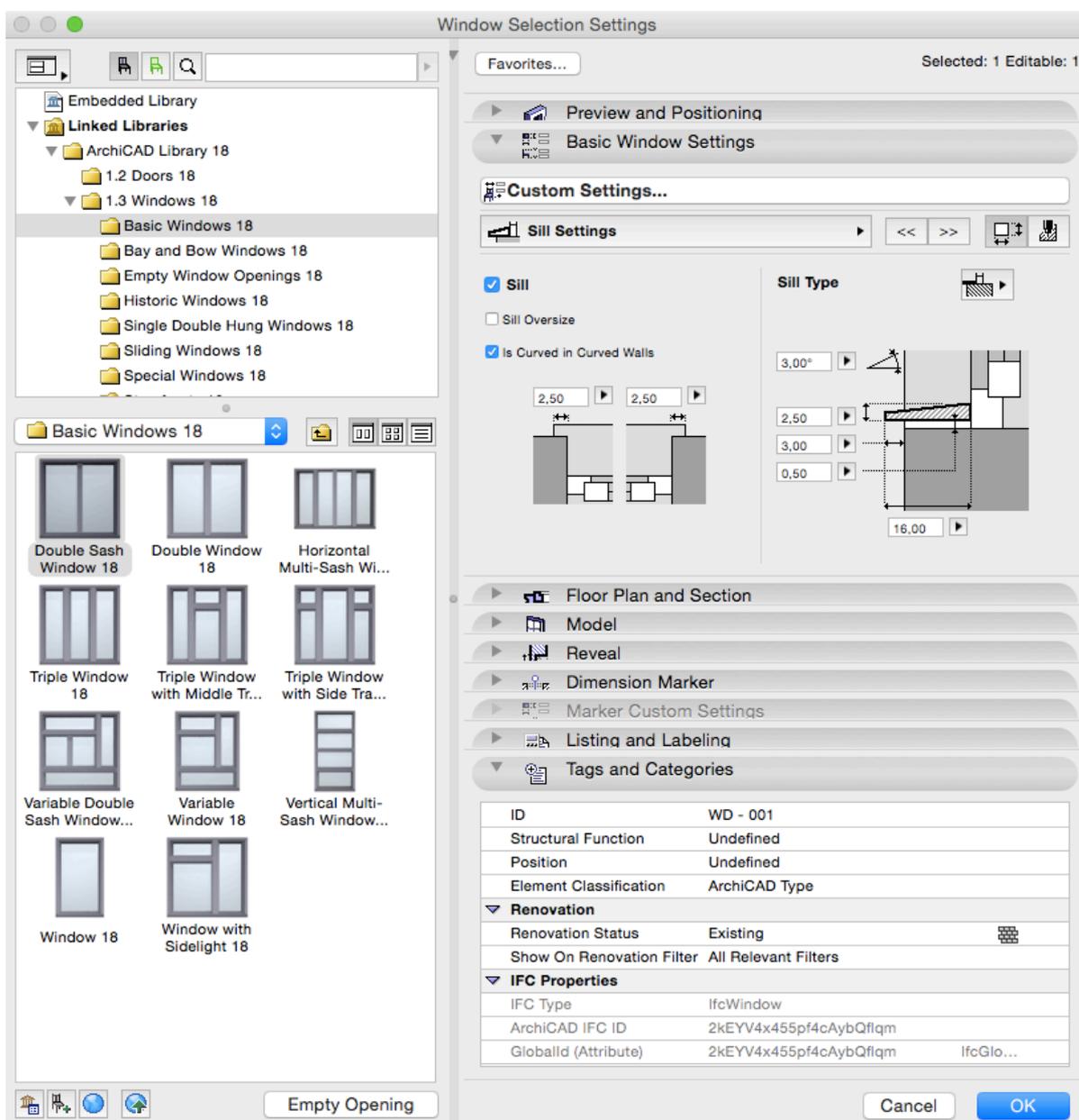
A correta modelagem de esquadrias, se analisada sob a ótica de desempenho, é fundamental para que possa ser garantida assertividade ao modelo, de forma que os sistemas construtivos sejam representados adequadamente. O conhecimento sobre o comportamento desses elementos é fundamental, para que qualquer avanço relativo à representação das geometrias e das informações seja coerente às práticas modernas de projeto, com ênfase em desempenho de sistemas, de acordo com a NBR 15.575.

A avaliação de desempenho de um sistema construtivo, conforme prevê a NBR 15.575, deve ser realizada de forma conjunta e sistêmica, abrangendo todos os diferentes elementos que dele fazem parte. As esquadrias geralmente figuram como os gargalos dos sistemas verticais de vedação externa, em comparação às paredes cegas, por exemplo. Isso ocorre devido ao fato de, na maioria dos casos, esses elementos apresentarem desempenho insatisfatório, frente às necessidades dos usuários das edificações.

#### 5.4.3.1 Processo de Modelagem

As esquadrias, como os demais elementos básicos de modelagem já apresentados, geralmente fazem parte das bibliotecas de objetos paramétricos nativos dos *softwares* de modelagem BIM. Tais elementos podem ser inseridos no modelo através das ferramentas porta (*door*) e janela (*window*). Essas famílias de objetos apresentam elevada possibilidade de customização, permitindo que, caso não haja disponibilidade para utilização das famílias do próprio fabricante de esquadrias especificado, seja possível alcançar níveis de desenvolvimento elevados, próximos à representação ideal. Cabe ressaltar que existem esforços, por parte de alguns fabricantes desses elementos, de desenvolvimento de suas próprias famílias de objetos paramétricos. A figura 21 representa as janelas de inserção de portas e de janelas, evidenciando suas propriedades básicas.

Figura 21 – Propriedades das esquadrias

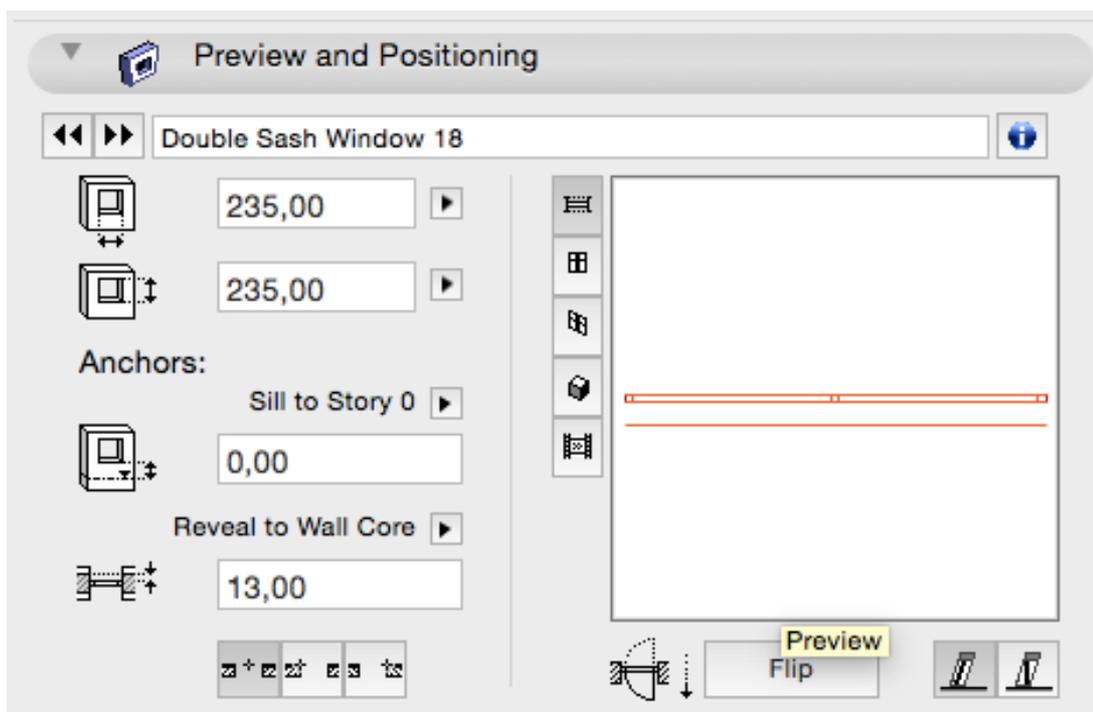


(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.3.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes

Conforme citado anteriormente, devido à elevada customização que se faz necessária quando não há disponibilização de famílias de objetos paramétricos, existem diversos parâmetros passíveis de modificação para esquadrias. É fundamental que tais alterações sejam sempre realizadas com a função de aproximar o objeto paramétrico, e seus componentes, às características observadas na realidade. A figura 22 representa a aba de características gerais, com relação à locação desses objetos na parede, às cotas de peitoril e às dimensões de projeto.

Figura 22 – Características gerais das esquadrias



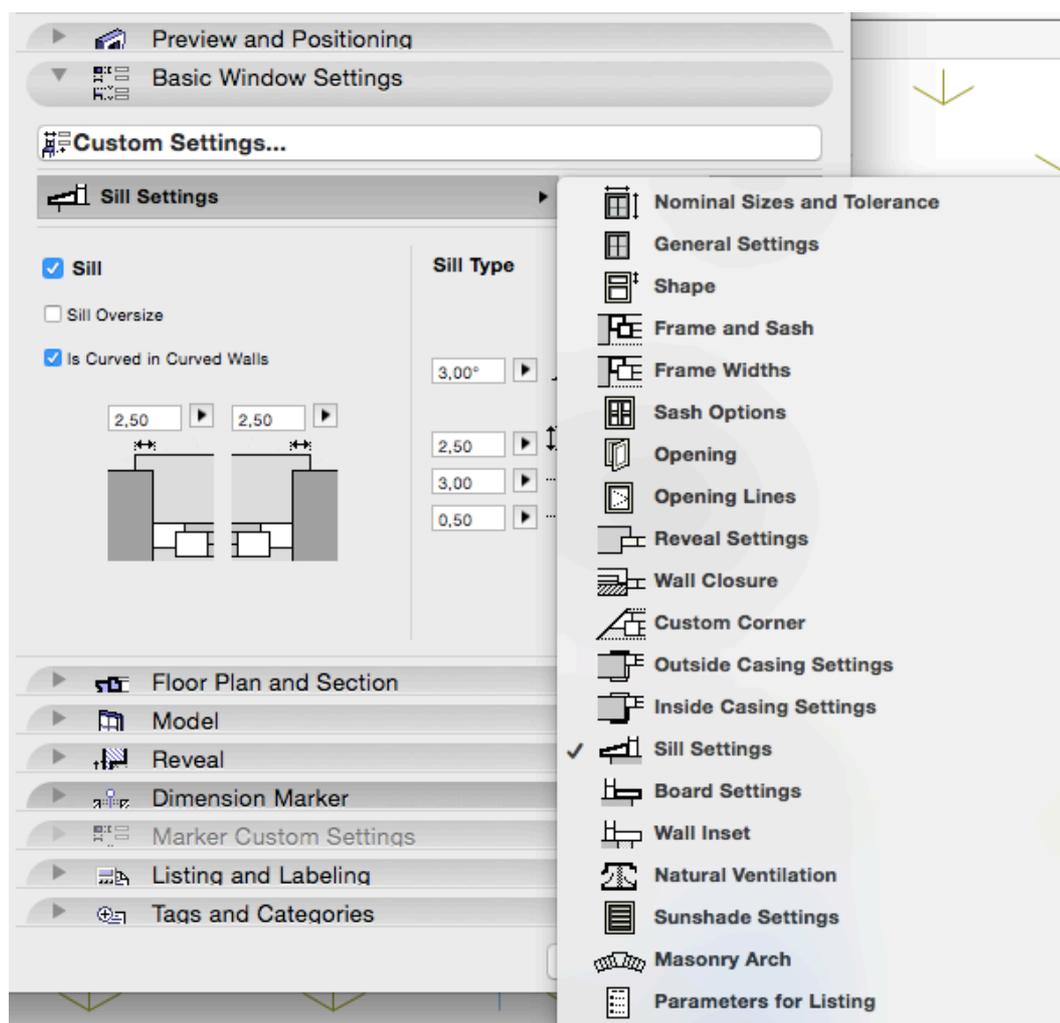
(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.3.2.1 Configurações Personalizadas

Para os elementos de modelagem vinculados às esquadrias, existem diversos parâmetros personalizáveis. A figura 23 representa a lista desses parâmetros, que inclui propriedades relacionadas ao peitoril, aos marcos e batentes, dimensões das folhas e dos caixilhos.

É importante ressaltar que tais informações não são fixas, devendo ser adaptadas conforme às necessidades que o projeto em questão demanda. Ainda, é importante destacar que, caso essas famílias de objetos paramétricos sejam disponibilizadas pelo fabricante, não se faz necessária tal personalização, minimizando significativamente os esforços por parte dos projetistas, e a probabilidade de ocorrência de desvios de informações e de geometrias.

Figura 23 – Parâmetros personalizáveis das esquadrias

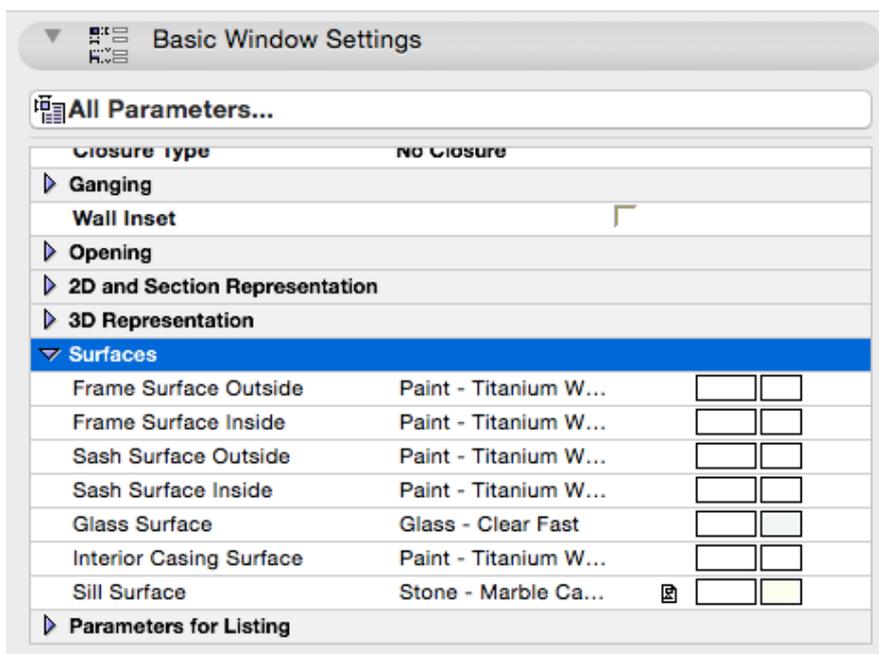


(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.3.2.2 Propriedades Físicas

As informações vinculadas aos materiais que compõem as superfícies, tanto os objetos modelados através da ferramenta parede, quanto os inseridos através da ferramenta janela, são inseridas na aba relacionada às superfícies, composta pela biblioteca de materiais, e suas respectivas propriedades físicas. Tal fato é representado pela figura 24, com as opções de superfícies especificadas para uma das esquadrias da edificação em estudo.

Figura 24 – Definição das superfícies das esquadrias

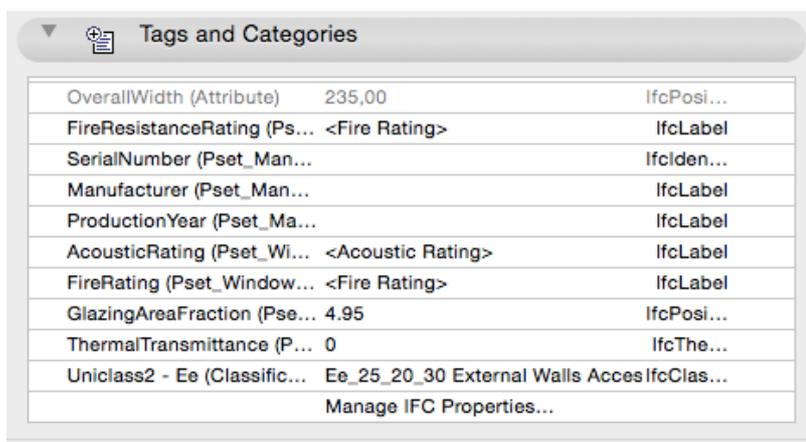


(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4.3.2.3 Categorização

A categorização das esquadrias segue a mesma lógica dos demais, já apresentados. Para essas famílias de objetos, já existem parâmetros IFC pré-definidos, relacionados às características de desempenho desses elementos, tais como resistência ao fogo e isolamento acústica. Ao classificar os elementos de acordo com a Uniclass 2, deve-se atentar para que as aberturas sejam devidamente alocadas. A figura 25 representa a categorização de uma das janelas, presentes no modelo.

Figura 25 – Categorização IFC das janelas



(fonte: elaborado pelo autor)

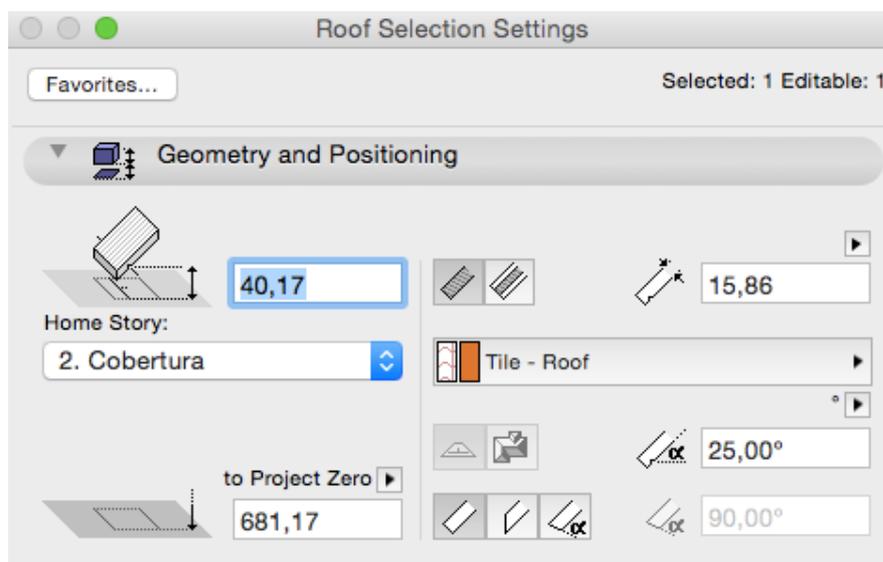
## 5.4.4 Telhados

Os elementos construtivos relacionados aos telhados são extremamente importantes para a representação das edificações. Em se tratando de um modelo BIM, esses elementos são fundamentais, pois delimitam as zonas (*zones*), que compreendem os espaços que compõem as edificações.

### 5.4.4.1 Processo de Modelagem

A modelagem do telhado é realizada com a ferramenta *roof*, onde é possível a determinação da composição desse elemento, realizada de forma análoga às lajes, por meio de tipologias básicas e compostas. Existe um campo para a inserção das inclinações, tanto do elemento como um todo, quanto ao beiral do telhado. A figura 26 representa a janela de propriedades dos telhados.

Figura 26 – Propriedades dos telhados



(fonte: elaborado pelo autor)

Em se tratando desses elementos, é imprescindível observar a interface parede-telhado, onde ocorre a intersecção dos mesmos. O *software Archicad* permite dois meios distintos para realizar a compatibilização nesses pontos. Existe a opção *trim elements to roof* e a opção *crop to single plane roof*. Percebe-se que ambas diferem com relação à permanência do corte da parede em relação ao telhado. Enquanto a primeira faz com que a parede volte às dimensões

regulares, caso o telhado seja substituído, a segunda mantém o corte onde houve a intersecção original.

#### 5.4.4.2 Inserção e Modificação de Parâmetros e de Materiais/Componentes

Os parâmetros que compõem os telhados e a forma de edição dos mesmos é análoga àquela já apresentada para lajes.

## 6 ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE MODELAGEM BIM

Após a finalização da etapa experimental do trabalho, seguida pela elaboração de diretrizes de modelagem BIM, utilizando a tecnologia atualmente disponível, é pertinente realizar uma análise crítica do processo, com as limitações e dificuldades encontradas durante a etapa de modelagem. Este capítulo tem como objetivo promover reflexão sobre os resultados parciais, observados ao longo do desenvolvimento do trabalho, de modo a projetar, para um futuro próximo, a forma como a modelagem de edificações, com a utilização de BIM, pode melhor fornecer informações à avaliação de desempenho de seus sistemas construtivos.

### 6.1 SITUAÇÃO ATUAL

A utilização de tecnologia BIM é uma realidade que, a cada dia, passa a fazer parte da rotina de projetos de um número crescente de profissionais da construção civil. Atualmente, a implantação de BIM é uma prioridade do governo brasileiro, e encontra-se na Agenda Estratégica do Plano Brasil Maior (PBM). Ainda, a questão relacionada à estruturação, implementação e difusão de BIM no país avança sob responsabilidade do Exército Brasileiro e do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). No entanto, permanece, ainda, uma lacuna tecnológica que impede a utilização total de seu potencial nas ferramentas e em aplicações computacionais e móveis.

A fase de projetos de uma edificação é fundamental para que sejam especificados sistemas construtivos com desempenhos adequados frente às exigências da NBR 15.575. No entanto, o ato de especificar a utilização de determinados componentes e/ou elementos especificados nos *softwares* não é capaz de assegurar que o sistema em questão apresentará desempenho satisfatório. O desempenho de uma edificação, e de seus diversos elementos e sistemas construtivos, somente é possível de ser garantido através da correta execução das técnicas construtivas, previstas em projetos e em normas técnicas e regulamentadoras, alidadas à devida manutenção dos sistemas construtivos de uma edificação.

A etapa de projeto, que compreende o escopo deste trabalho, é de extrema importância, pois é função dos diferentes projetistas envolvidos o ato de especificar sistemas construtivos que atendam o desempenho de edificações, conforme a NBR 15.575, a fim de fornecer potencial

para que, após a execução da edificação, a mesma apresente desempenho satisfatório, durante a vida útil prevista em projeto.

O processo de modelagem, no qual este trabalho está estruturado, representa a situação atual da tecnologia disponível, em relação ao *software* utilizado, observando-se as limitações identificadas na pesquisa. É importante salientar que o nível de desenvolvimento do modelo é limitado somente dentro do contexto no qual ele se encontra inserido. Ou seja, a tecnologia da informação caminha rapidamente, em direção ao aprimoramento e desenvolvimento de *softwares* BIM. Dessa forma, é provável que as limitações identificadas possam ser superadas ao mesmo tempo em que as aplicações computacionais são melhoradas, num período de tempo relativamente curto.

Ainda, o próprio desenvolvimento do modelo pode apresentar divergências entre concepções distintas de modelagem. Acredita-se que as diretrizes apresentadas, com ênfase na inserção de informações básicas relacionadas ao desempenho de edificações, são capazes de suprir a demanda inicial em unir o uso de modelos BIM a requisitos de desempenho. No entanto, devido às limitações identificadas, tais diretrizes não conseguem estabelecer níveis avançados de integração entre as duas questões propostas.

### **6.1.1 Representação de sistemas construtivos**

As diretrizes de modelagem BIM, apresentadas no capítulo anterior, foram elaboradas de modo a representar os sistemas construtivos que compõem uma edificação (sistema de vedação vertical, sistema de piso, esquadrias e cobertura) da forma mais próxima àquela observada na realidade, e, ao mesmo tempo, inserir as informações relacionadas ao desempenho dos elementos e sistemas construtivos, quando possível. Como exemplo, cita-se a representação das paredes, onde é necessário modelar o núcleo interno separado das camadas externas, devido às diferentes dimensões e à alocação às correspondentes etapas de execução da obra. Dessa forma, atribui-se características aos materiais que compõem os diferentes elementos do sistema, pelo fato de encontrar uma limitação no *software* de modelagem. Este fato, portanto, diverge da concepção de desempenho observada na NBR 15.575, onde o sistema deve ser avaliado como um único conjunto, com propriedades físicas relacionadas única e particularmente a esta composição.

É importante discutir sobre o propósito da modelagem BIM, visto que são indicadas duas formas distintas de apoio à tomada de decisão, na etapa relacionada à abrangência do escopo do modelo:

- a) o modelo BIM representa fielmente a edificação, servindo para as diversas utilizações desta, ao longo do seu ciclo de vida;
- b) o modelo BIM é construído com um propósito específico, não podendo ser utilizado de outra forma, diferente daquela para qual foi executado.

Assim, percebe-se que essas duas formas de desenvolvimento de modelos BIM não são complementares, e, devido a isso, divergem em determinados pontos. O desenvolvimento do trabalho permitiu concluir que é evidente que o desenvolvimento de um modelo BIM está diretamente relacionado ao modo que este será utilizado. Nesse sentido, uma mesma edificação deve possuir diferentes modelos, com abordagens distintas, adequadas aos usos dos mesmos. A abordagem inicial de um único modelo, servindo para todas as possíveis análises mostra-se inconsistente, em situações distintas, como neste trabalho.

É importante ressaltar que a divergência encontrada durante a realização da etapa experimental do trabalho, é de fácil solução do ponto de vista técnico, no desenvolvimento e aprimoramento da programação dos *softwares*. É preciso que elementos modelados através de composições de componentes, e/ou sistemas modelados com um conjunto de elementos, possam receber valores únicos para suas propriedades físicas. Permitindo a inserção de informações de acordo com os princípios da NBR 15.575.

### **6.1.2 Utilização do modelo BIM**

O completo entendimento relacionado à tecnologia BIM só faz sentido quando se percebe que o modelo 3D é somente parte do todo. A parcela de maior peso, que dá suporte ao completo processo BIM, são as informações inseridas junto às geometrias tridimensionais, relacionadas a toda e qualquer característica pertinente ao objeto que representam. Este entendimento de BIM promove uma mudança de conceitos para muitos projetistas e demais usuários dessas aplicações, visto que, muitas vezes, o foco desta tecnologia detém-se, de forma equivocada, à representação tridimensional dos elementos, componentes, e de sistemas construtivos.

A inserção de parâmetros e de informações textuais e numéricas aos objetos que compõem o modelo BIM é limitada, atualmente, aos recursos presentes nas próprias aplicações. Além

disso, percebe-se que esta etapa é fundamental para garantir a adequação do modelo aos usos que são propostos. Nota-se que, mesmo diante da possibilidade de inserção de determinadas informações de desempenho, através do gerenciamento de propriedades IFC, ainda há a necessidade em se dispor de maior personalização aos objetos paramétricos básicos dos *softwares*. Tal fato limita, atualmente, a completa e coerente inserção de informações ao modelo BIM com foco em desempenho. Dessa forma, os elementos que compõem o modelo, são capazes de atingir parcialmente o nível necessário de desenvolvimento, para que informações pertinentes ao comportamento em uso sejam adequadamente armazenadas, para uma avaliação vinculada ao desempenho de edificações, representadas com BIM.

## 6.2 SITUAÇÃO FUTURA

A partir das limitações percebidas pela tecnologia atualmente disponível, percebe-se que há a necessidade em se levantar questões para situações que relacionam as temáticas de BIM e desempenho de edificações, em um futuro próximo. Os itens a seguir são sugestões, baseadas nas constatações decorrentes da execução das diferentes etapas deste trabalho.

### 6.2.1 Famílias de objetos paramétricos

Uma das respostas para as questões referentes aos parâmetros de objetos e às informações semânticas a eles agregadas, encontra-se no desenvolvimento e disponibilização de famílias de objetos paramétricos. Esta é uma tarefa que cabe, principalmente, aos próprios desenvolvedores e fabricantes dos componentes, elementos ou sistemas, que deles fazem parte.

A necessidade em se comprovar o desempenho, através de ensaios laboratoriais, dos componentes e elementos, que constituem os sistemas construtivos das edificações, é uma realidade presente na indústria da construção civil brasileira. Ao mesmo tempo em que os resultados dos ensaios são verificados, as grandes empresas, que os encomendam, divulgam estas informações nos catálogos de seus produtos. Acredita-se que o próximo passo, nessa direção, é a transformação desses catálogos tradicionais em famílias de objetos paramétricos BIM, contendo todas as informações pertinentes aos objetos representados, inclusive aquelas vinculadas ao desempenho desses componentes, inseridos em diferentes sistemas.

De fato, ao desenvolver uma família BIM e seus objetos paramétricos, as informações relacionadas às propriedades físicas, e, por conseguinte, ao desempenho desses componentes, elementos – e do sistema construtivo – são inseridas de forma semântica ou por meio de valores numéricos simples. Ou seja, configuram o elo de menor dificuldade técnica para inserção, e aquele que é capaz de promover as maiores mudanças nesse setor. A partir do momento em que as empresas fabricantes de componentes e de sistemas construtivos participam de forma ativa do processo BIM, a disponibilização de suas famílias de objetos paramétricos tornar-se-á um diferencial competitivo no mercado. Estima-se que isso pode ser desencadeado pela necessidade, por parte dos projetistas de edificações, em especificar sistemas construtivos cujo desempenho seja satisfatório.

Acredita-se que, atualmente, existe certa resistência à ampla divulgação dessas informações devido à competitividade entre empresas de mesmo segmento. Para a disponibilização de objetos paramétricos completos, é necessário incluir informações relacionadas à produção desses elementos e componentes, o que expõe, aos diferentes usuários, informações que podem não ir de encontro às diretrizes de proteção industrial de algumas empresas. Pressupõe-se que a causa para tal fato recai na falta de integração da cadeia de suprimentos da construção civil, onde observa-se elevada segmentação de mercado, com nichos de mercado que se confundem.

### **6.2.2 Desempenho integrado de edificações**

A forma reconhecida atualmente para a avaliação de desempenho de edificações apresenta elevada fragmentação do ponto de vista construtivo. Cada tipologia de sistema é avaliada com relação às diversas análises de desempenho relacionados. Assim, as interações que ocorrem entre os diferentes requisitos não são plenamente consideradas ao longo do processo.

A necessidade em realizar uma análise integrada, que auxilie na avaliação de desempenho de edificações através de modelos BIM, e posterior reconhecimento das informações através com simulação em *softwares* específicos, compreende uma sequência de mudanças de paradigmas e uma quebra de métodos tradicionais de processos de desenvolvimento de projetos. Diante deste contexto, é iminente alavancar o desenvolvimento tecnológico das aplicações e das ferramentas computacionais, além de dedicar-se mais pesquisas nessa área.

A utilização de BIM, ainda assim, tem seus potenciais reconhecidos, dada a adaptabilidade dessa tecnologia aos constantes desafios envolvidos nos processos de projetos. No entanto, a provável avaliação de desempenho de edificações, completa e integrada, é altamente complexa, para a tecnologia da informação atualmente disponível.

Para que essa situação seja possível, é preciso engajamento completo de toda a cadeia produtiva do setor da construção civil, desde as instituições regulamentadoras, até o aumento do nível de instrução da mão de obra final, garantindo maior confiabilidade à produção e todas as partes interessadas envolvidas. Dessa forma, é possível a redução da elevada variabilidade ao longo dos processos, ainda observada nos dias atuais, reduzindo suas incertezas.

Percebe-se que a completa avaliação de desempenho de edificações, e suas consequentes avaliações integradas, a partir dos instrumentos ainda não previstos na NBR 15.575, apresentam, atualmente, elevada limitação, devido à complexidade inerente à própria variabilidade e combinações alternadas de dados. Tal situação, somente apresenta possíveis soluções diante de métodos adequados para análise e armazenamento das informações, através de ferramentas baseadas em tecnologia da informação aliadas à alguma tipologia de inteligência, por meio do desenvolvimento de rotinas de programação, capazes de interpretar as informações inseridas em um modelo BIM, e analisá-las de forma conjunta e integrada aos requisitos de desempenho de edificações.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de se conhecer o comportamento dos sistemas que compõem uma edificação, nas etapas preliminares de projeto, é essencial para que seja possível assegurar a operação das mesmas, da forma para a qual foram projetadas. Para que isso seja possível, é fundamental que as informações relacionadas ao desempenho de sistemas construtivos sejam devidamente armazenadas e carregadas junto à documentação técnica e aos projetos da edificação em questão. Nesse sentido, o uso de BIM apresenta-se como uma forma de inserir, armazenar e rastrear qualquer informação pertinente aos componentes dos sistemas construtivos de uma edificação. No entanto, é imprescindível ressaltar que somente a especificação de sistemas construtivos adequados, do ponto de vista de comportamento e de desempenho, nas etapas de desenvolvimento do produto, não garante que o sistema irá se comportar adequadamente. O rigor presente na produção da edificação é fundamental para que o comportamento real da edificação esteja de acordo com as expectativas de projeto, além da realização de adequada manutenção.

O objetivo principal deste trabalho foi propor diretrizes básicas para a modelagem BIM, por meio de práticas de projeto, que forneçam informações para facilitar a avaliação de desempenho de modelos gerados através desta tecnologia, com usos específicos para a gestão de requisitos, simulações e *code checking*. A partir da realização de um modelo BIM, foi possível verificar, por meio da tecnologia atualmente disponível, como é possível a inserção de determinadas informações de desempenho, vinculadas aos objetos que compõem o modelo e suas extensões IFC. Foi necessário desdobrar o objetivo principal em objetivos secundários, de modo a fornecer embasamento para as etapas da pesquisa.

A identificação das limitações e das dificuldades atuais para a realização da avaliação de desempenho de edificações através do uso de modelos BIM, e o levantamento de potencialidades do uso de BIM voltado à avaliação de desempenho de edificações habitacionais, compreenderam uma de suas etapas fundamentais, pelo fato de tornar possível não limitar o estudo somente às potencialidades já englobadas por ferramentas de *softwares*. A versatilidade de tal tecnologia permitiu observar, para um futuro próximo, de que forma um modelo BIM, e todas as informações nele contidas, podem auxiliar a avaliação dos requisitos de desempenho de uma edificação habitacional.

O último objetivo secundário do trabalho, apresentação de objetos paramétricos BIM, com relação à inserção de informações e de propriedades, e proposição de melhorias para a parametrização com ênfase em desempenho de edificações, permitiu identificar como pode ocorrer a mudança na concepção de edificações, a partir do momento em que toda a cadeia produtiva da construção civil se mobiliza de forma integrada, tendo os próprios fabricantes de componentes e de sistemas construtivos como elo fundamental, através da correta disponibilização de famílias de objetos paramétricos que contém todas as informações relevantes à edificação.

No entanto, é extremamente importante destacar que é possível, atualmente, a inserção de propriedades vinculadas ao desempenho de componentes, elementos e sistemas nos objetos paramétricos que compõem o modelo BIM. Esse fato demonstra que já existem esforços, por parte dos desenvolvedores de *softwares*, em se tratando da inserção dessas informações aos modelos, direcionando-as ao gerenciamento de propriedades IFC.

O desenvolvimento do modelo BIM permitiu, ainda, identificar uma divergência entre a forma de concepção do próprio modelo e o modo pelo qual a NBR 15.575 prevê a avaliação de desempenho. Atualmente, é possível inserir propriedades físicas aos objetos que compõem o modelo BIM por meio dos materiais que os constituem. No entanto, a norma brasileira prevê que as diferentes análises devem ser realizadas nos elementos e/ou sistemas, como um todo, e não em seus diferentes componentes, de forma segmentada.

Além disso, o levantamento de potencialidades da tecnologia BIM, se observado sob a ótica das limitações atuais, permite concluir que a avaliação integrada de desempenho de edificações é extremamente complexa para ser conduzida somente através de observações e de análises pontuais. Tal fato demonstra a necessidade de uso avançado e otimizado de tecnologia da informação aliada a alguma tipologia de inteligência (humana ou artificial), para que seja possível racionalizar o procedimento de verificação automatizada e integrada das informações relacionadas ao desempenho de edificações habitacionais.

Por fim, o estudo desenvolvido permitiu concluir que as limitações da tecnologia BIM identificadas estão relacionadas, em parte, às próprias limitações inerentes às aplicações computacionais. Por outro lado, percebe-se que há uma lacuna em se tratando da integração da indústria da construção civil, de forma que o uso de BIM pode surgir como uma das

possíveis soluções às questões de desempenho de edificações, que recaem em problemas relacionados ao gerenciamento das informações envolvidas nos processos de desenvolvimento de produto.

## REFERÊNCIAS

- ADDOR, M. R. A.; CASTANHO, M. D. de A.; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J. P. M.; NARDELLI, E. S.; OLIVEIRA, A. L. de. Colocando o “i” no BIM. **arq.urb**: revista eletrônica de arquitetura e urbanismo, São Paulo, n. 4, p. 104-115, 2. sem. 2010. Disponível em: <[http://www.usjt.br/arq.urb/numero\\_04/arqurb4\\_06\\_miriam.pdf](http://www.usjt.br/arq.urb/numero_04/arqurb4_06_miriam.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- BALDAUF, J. P.; FORMOSO, C. T.; MIRON, L. I. G.; Modelagem de requisitos de clientes de empreendimentos habitacionais de interesse social com o uso de BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 177-195, jul./set. 2013.
- BERNSTEIN, H. M. (Ed.) **The business value of BIM for construction in major global markets**: how contractors around the world are driving innovation with building information modeling. Bedford, USA: McGraw Hill Construction, c2014. SmartMarket Report. Disponível em: <<https://synchroltd.com/newsletters/Business%20Value%20Of%20BIM%20In%20Global%20Markets%202014.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2015.
- BONESI, F. M. **Avaliação do impacto provocado pelos processos construtivos racionalizados nas perdas por *making-do***. 2014. 110 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BORTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo *engineer-to-order* com o uso de BIM 4D**. 2015. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Hoboken, USA: Wiley & Sons, c2008.
- FIREMAN, M. C. T. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por *making-do* e retrabalho**. 2012. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. Introduction to building performance simulation. In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Abingdon, UK: Spon Press, c2011. p. 1-14.

LEE G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. 758-776, Nov. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580505001445>><sup>3</sup>. Acesso em: 19 maio 2015.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições do avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas**. 2013. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

NARDELLI, E. S.; TONSO, L. G. BIM: barreiras institucionais para a sua implantação no Brasil. **Blucher Design Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 8, p. 408-411, dez. 2014. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/pdf/designproceedings/sigradi2014/0082.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2015.

PENTILLÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **Journal of Information Technology in Construction**, [S. l.], v. 11, special issue, p. 395-408, June 2006. Disponível em: <[http://www.itcon.org/data/works/att/2006\\_29.content.02253.pdf](http://www.itcon.org/data/works/att/2006_29.content.02253.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2015.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 357-375, May 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568#>><sup>4</sup>. Acesso em: 29 abr. 2015.

WAELEKENS, A. C.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. Projeto de arquitetura com base no conceito de desempenho em software BIM. **Téchne**, São Paulo, ano 20, n. 189, p. 58-60, dez. 2012.

WETTER, M. A view on future building system modeling and simulation. In: HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Abingdon, UK: Spon Press, c2011. p. 481-504.

---

<sup>3</sup> Acessando o site <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580505001445>>, caso a rede esteja vinculada à CAPES, selecione a opção *download PDF* na parte superior da tela. Caso contrário, é possível obter o documento através da compra indicada pela base de dados.

<sup>4</sup> Acessando o site <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568#>>, caso a rede esteja vinculada à CAPES, selecione a opção *download PDF* na parte superior da tela. Caso contrário, é possível obter o documento através da compra indicada pela base de dados.