

**Revisão Sistemática de Literatura: ampliando a eficiência energética da  
edificação através do *retrofit* em uma abordagem BIM**

**Thais Schettini Gonzalez Borges**

Professora FAUFBA / Mestranda PPGAU, UFBA, Brasil  
schettinithais@gmail.com

**Érica de Sousa Checcucci**

Professora Doutora, UFBA, Brasil.  
erica.checcucci@ufba.br

## RESUMO

A demanda pela eficiência energética na AECO tem impulsionado pesquisas em tecnologias que possam contribuir com esta necessidade mundial. O *Building Information Modeling* (BIM) permite realizar simulações que favorecem os estudos para ampliar a eficiência energética de edificações novas ou das existentes que demandam *retrofit* e neste caso apresentam mais limitações. Este artigo é resultado parcial de uma pesquisa de mestrado em andamento e apresenta os resultados encontrados na Revisão Sistemática de Literatura (RSL) realizada com objetivo de investigar o Estado da Arte da simulação computacional para ampliação da EEE através do *retrofit* com o uso de tecnologias BIM: os *software* mais utilizados, os fluxos de trabalho adotados pelos pesquisadores, as inovações para o setor, as tendências e desafios para o uso do BIM objetivando aumentar a EEE através do *retrofit*. Espera-se com este trabalho contribuir com o avanço da adoção da modelagem para simulação energética e aumento de EEE em edificações existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Energética de Edificações. *Retrofit*. BIM.

## 1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos no século XX, os edifícios passaram a ser construídos com dependência do condicionamento artificial, porém a crise do petróleo na década de 1970 destacou a escassez de recursos naturais e as questões energéticas a nível mundial foram repensadas (BRAGA, 2015. MENDES *et al.*, 2005). Diante desse cenário foi observada a necessidade de aplicação de regulamentações para aumento da eficiência energética de edificações (EEE) promovendo a contenção do gasto energético desnecessário, mas continuando a oferecer conforto aos usuários (LAMBERTS; DULTRA; PEREIRA, 2014).

Na busca do aperfeiçoamento dentro do campo de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) surge na década de 1970 o *Building Information Modeling* (BIM) que viabiliza a simulação de cenários do gêmeo digital da edificação construída, a modelagem paramétrica e a interoperabilidade que permite troca de dados com outros *software*, dentre outras vantagens (ESTMAN *et al.*, 2008).

Schlueter e Geyer (2018) descrevem que o BIM facilita o *Design of Experiments* (DoE) que contribui com a comparação das melhores estratégias de *retrofit* para a edificação existente. Desta maneira a edificação existente pode passar pelo processo de *retrofit* visando a EEE podendo ser otimizada através do uso da tecnologia BIM.

A realização de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) auxilia na investigação das produções científicas mais relevantes sobre determinado assunto. Uma RSL é realizada a partir de um protocolo anteriormente definido com etapas para auxiliar na gestão eficiente das diversas produções. A RSL “segue princípios para apresentação de um método transparente, replicável e com capacidade de atualização” (BRENNER; HUMMEL, 2012 *apud* OPUKU *et al.*, 2021, p. 2, tradução nossa).

O objetivo deste artigo é apresentar o resultado de uma RSL que identificou o Estado da arte da simulação computacional para ampliação da EEE através do *retrofit* com o uso de tecnologias BIM. A partir dessa revisão foi possível identificar métodos, ferramentas e técnicas existentes para realizar esta simulação.

## 2 MÉTODO DA PESQUISA E SELEÇÃO DOS TRABALHOS

A RSL foi realizada com o auxílio do *software* Start<sup>®1</sup> em maio de 2021. A questão principal a ser respondida foi: “Quais as ferramentas e técnicas estão sendo utilizadas para simulação e análise de EEE com o BIM?”. Para o controle foram lidas as pesquisas de Sanhudo *et al.* (2018), Leitner, Scheer e Santos (2020), Romero (2003) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Procurou-se trabalhos publicados nas bases de dados: Science Direct<sup>®</sup>, Association for Computing Machinery<sup>®</sup> (ACM<sup>®</sup>) na coleção “The ACM Full-Text collection”, Web of Science<sup>®</sup> (coleção principal), Scopus<sup>®</sup> e Institute of Electrical and Electronics Engineers<sup>®</sup> (IEEE<sup>®</sup>).

Foi utilizada apenas uma *string* combinando diferentes palavras-chave para busca, de modo a encontrar trabalhos que tratassem dos 3 temas principais da pesquisa: “(BIM ou *Building information modeling* ou *Building Information Modelling*) e (*Energy Efficiency* ou *Energy-efficient* ou *Energy Retrofitting* ou *Energy Consumption*) e (*Retrofit* ou *Retrofitting*)”.

Ao todo foram encontrados 216 artigos, sendo 78 duplicados. Dos 138 restantes, foi feita a leitura do título, palavras-chave e resumo das publicações encontradas para serem aceitas ou rejeitadas. Após este processo, 49 artigos foram incluídos para serem lidos na íntegra por tratarem dos três temas: EEE, BIM e *retrofit*. Os trabalhos que não foram lidos e que tiveram a aplicação do critério de exclusão foram aqueles não encontrados para leitura; que não tratam de EEE, BIM e *retrofit*; ou que tem o objetivo de apenas analisar uma ferramenta.

Nas sessões a seguir serão apresentados e discutidos os principais resultados encontrados nos trabalhos avaliados. A RSL também teve uma fase de extração de dados bibliométricos que é apresentada em outro artigo das mesmas autoras.

## 3 O QUE É RETROFIT

De acordo com Feng *et al.*, (2020) há duas opções de atuação para aumento da performance de edifícios existentes: a renovação ou a reconstrução. A reconstrução consiste na demolição da edificação e construção de uma nova objetivando a adoção de parâmetros para maior eficiência (MARIQUE; ROSSI, 2018 *apud* FENG *et al.*, 2020). Já a renovação trata-se de alterar partes da edificação existente (JENSEN *et al.*, 2018 *apud* FENG *et al.*, 2020). O processo de renovação para melhorar a eficiência energética é tratado nas pesquisas encontradas na RSL como o processo de *retrofit* energético.

Outros autores trabalham o conceito de *retrofit* objetivando melhorar a sustentabilidade da edificação. De acordo com o *Environmental Protection Agency* (2012 *apud* BU *et al.*, 2015, p. 189, tradução nossa) o conceito de *Green Building* (GB) “refere-se a prática de criar e usar estruturas e processos ambientalmente responsáveis e eficientes em termos de recursos ao longo do ciclo de vida de um edifício”. Quando o conceito de GB foi aplicado em edifícios existentes, no processo identificado como *Retrofit Design* (RD) passou então a ser classificado como *Green Retrofit Design* (GRD) (BU *et al.*, 2015). O GRD tem dois objetivos que são apresentar eficiência energética da edificação e reduzir a emissão de carbono em sua operação (MEHNDI; CHAKRABORTY, 2020).

---

<sup>1</sup> Criado pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O processo de *retrofit* para aumento da eficiência energética de edificações recebe, nos últimos anos, o incentivo ou exigências governamentais para a sua aplicação em diversos países (AHMED; ASIF, 2020 *apud* FREITAS *et al.*, 2020; SARTORI; CALMON, 2019; HOSSEINI; SHIRMOHAMMADI; ASLANI, 2020). De acordo com o Department of Standard Malaysia:

[...] existem vários códigos e padrões que podem ser aplicados para melhorar o desempenho energético em edifícios existentes, por exemplo, ANSI, ASHRAE, USGBC, Padrão IES 189.1, Padrão para o Projeto de Edifícios Verdes de Alto Desempenho, Padrão da Malásia MS1525: 2014, o padrão da Malásia Green Building Index (GBI), Código de Prática sobre Eficiência Energética e Uso de Energia Renovável para Edifícios Não Residenciais (2014 *apud* LATIF *et al.*, 2019, p. 4, tradução nossa).

Gatas e colaboradores (2016) *apud* Sartori e Calmon (2019), apresentam o conceito de energia incorporada e energia operacional. A energia incorporada refere-se ao consumo energético para a fabricação e instalação de um produto. Já a energia operacional refere-se ao consumo energético para o uso desse produto. De acordo com os autores o *retrofit* aumenta o nível de energia incorporada, mas diminui o consumo de energia operacional. Sartori e Calmon (2019) citam o exemplo de Bin e Parker (2012) que, ao aplicarem o isolamento da fachada da edificação, aumentaram a energia incorporada em materiais em 51% mas reduziram a energia operacional para aquecimento dos ambientes em 90%.

No momento da escolha das soluções há pesquisadores que se preocupam na aplicação de um plano para causar menos interrupção possível na rotina do prédio existente que tem atividades em andamento como é a situação de Ballard (2000 *apud* BRANCA, 2019) que aplicou o Sistema de Último Plano (*Last Planner System* - LPS). Para a escolha de *retrofit* na pesquisa de Tzortzopoulos *et al.* (2019) foi feita a análise de Linha de Balanço (*Line of Balance*) para avaliação de alto, médio e baixo nível de interrupção levando em consideração a duração da reforma, recursos necessários e localização da reforma.

Para auxiliar na escolha da proposta de *retrofit*, Freitas *et al.* (2020) realizam revisão de literatura para entendimento das soluções de *retrofit* aplicadas em projetos no país. Eles definem Medidas de Eficiência Energética (*Energy Efficiency Measures* - EEMs) em três níveis de custo. O primeiro nível se refere a questões como mudança de hábito dos usuários, troca de lâmpada ou instalação de película nas esquadrias. O segundo nível apresenta itens como instalação de janela de vidro duplo e troca de equipamentos elétricos. E o terceiro nível envolve a troca do sistema HVAC<sup>2</sup> e isolamento de fachada.

Também há pesquisas como a de Sartori e Calmon (2019) que na escolha das propostas considera a facilidade de instalação, manutenção e mínima interferência estética na fachada evitando modificações nos ambientes internos.

A fachada, também caracterizada como envelope do edifício, costuma ser alvo de *retrofit* pois ela precisa ser adequada para atingir um desempenho superior já que está susceptível à luz, calor, ar e outros impactos (UDDIN *et al.*, 2019). Yasar e Kalfa (2012) e Smith,

---

<sup>2</sup> Aquecimento, ventilação e ar-condicionado (*Heating, ventilation and air conditioning*).

Isaacs, Burgess e Cox (2012) *apud* Spiegelhalter *et al.* (2014) apresentam que a alternativa mais comum de *retrofit* é a troca de vidros da fachada por vidros *low-e*<sup>3</sup>.

Nesta RSL foram encontrados estudo de *retrofit* para diferentes tipologias: residencial, institucional e comercial. De acordo com Bu *et al.* (2015) as principais barreiras para implantação de processo de *retrofit* nos setores públicos são a falta de capacidade técnica e experiência dos funcionários e falta de recursos financeiros para as reformas. Entretanto, a pesquisa de Hu (2018) apresenta que há vantagens na aplicação de *retrofit* principalmente para edifícios educacionais. Dentre as vantagens é indicado o retorno do investimento financeiro, a valorização da edificação no mercado imobiliário por ser um GRD além da função educacional do uso da edificação como laboratório vivo da aplicação da EE.

De acordo com Bu e Shen (2013) o setor comercial também tem interesses quanto ao GRD. Estudos afirmam que um edifício de escritórios típico pode reduzir o uso de energia entre 25% e 45% implementando soluções de modernização moderadas a profundas (LIU *et al.*, 2011 *apud* WOO; GLEASON, 2014).

#### 4 SIMULAÇÃO DA EEE DE RETROFIT COM BIM

Adoção do BIM para *retrofit* de prédios existentes é uma tendência de novos estudos (FREITAS *et al.*, 2020). De acordo com Liu *et al.* (2014) é possível com o BIM gerenciar para que outros colaboradores do processo construtivo possam analisar e aprovar as propostas de *retrofit*. Já Coulter, Dubler e Leicht (2013) indicam que a simulação com o BIM pode auxiliar os setores públicos na decisão de prioridade de edificações a passarem pelo processo de *retrofit*.

A utilização do sistema BIM apresenta também a possibilidade de gestão do edifício construído com *Facilities Management* que pode contribuir com a redução de até 10% do consumo energético operacional e contribuir para ações de manutenções do edifício (PANTELI; KYLILI; FOKAIDES, 2020 *apud* PISELLI *et al.*, 2020a).

O BIM permite a utilização de vários *software* para análise da ampliação da EEE com o *retrofit* de edificações. A utilização do *software* Revit® da Autodesk® teve um crescimento nos últimos anos (NATIONAL BUILDING SPECIFICATION®, 2016 *apud* SANHUDO *et al.*, 2018) sendo dentro da AECO o *software* BIM mais popular (FREITAS *et al.*, 2020).

Nesta RSL o Revit® também foi o *software* mais citado nas pesquisas, porém na maioria delas ele não foi utilizado isoladamente, somente em Giuda, Villa e Piantanida (2015), mas estes autores não realizaram simulação energética. Nas outras pesquisas foi aproveitada a possibilidade de interoperabilidade do Revit® com outros *software* ou *plug-in*, como o Design Builder®, Revit MEP®, Dynamo®, Edclima®, Green Building Studio®, Insight®, Sketchup®, IES®, IESVE®, eQuest®, EnergyPlus®, DOE-2®, OpenStudio®, Ecoinvent®, PETRAtool®, ArcGIS® e Ecotec®.

Apesar do destaque dado ao Revit®, muitas vezes ele é utilizado somente para modelagem, não para simulação de EEE. Sanhudo e colaboradores (2018) afirmam que “Shahryar Habibi apresenta que os *software* podem ser utilizados para múltiplas análises: exposição solar, ventilação natural, eficiência da iluminação, performance acústica, orientação

---

<sup>3</sup> Vidros *low-e* são os que tem como propriedades a baixa emissividade térmica.

do edifício, propriedades térmicas de materiais entre outros” (SANHUDO *et al.*, 2018, p. 254. tradução nossa). Eles identificaram que o Energyplus® é o *software* mais utilizado na simulação de eficiência energética de *retrofit*, seguido pelo Ecotec® e pelo DOE-2 software®.

De acordo com Bu *et al.* (2015), o Ecotec® e o Green Building Studio® são os mais populares para análise de edifícios novos enquanto o Energyplus® e DeST® são os mais utilizados para simulação energética de edifícios existentes.

As simulações das propostas de *retrofit* podem ser feitas no BIM. De acordo com Tzortzopoulos *et al.* (2019) e Chaves *et al.* (2017) o modelo BIM auxilia na extração de quantitativos confiáveis da edificação construída virtualmente, permitindo inserir também o custo dos elementos no *software*, assim como estimar o tempo de execução do projeto. Ainda segundo estes autores o uso dessa tecnologia e ferramentas é interessante, especialmente ao se tratar de *retrofit* no qual há pessoas utilizando o espaço, o que demanda um planejamento estratégico.

O quantitativo de materiais obtido em *software* BIM também pode ser utilizado para análise de emissão de CO<sub>2</sub> na extração, transporte, manufatura e instalação além da futura decomposição (ISO 14025, 2006 *apud* EDWARDS *et al.*, 2019; PISELLI *et al.*, 2020b). Piselli *et al.*, (2020b) ainda defendem que essas informações de consumo de materiais deveriam estar embutidas em *software* BIM. Branca *et al.* (2019), observando um padrão para identificação e extração de quantitativos de materiais, criam um modelo de arquivo configurado (*template*) que auxiliou nas propostas de *retrofit* das escolas de Lugano, na Suíça.

Com a leitura de artigos da RSL foi identificado um processo para simulação da EEE que pode ser dividido em três etapas (SANHUDO *et al.*, 2018, KHADDAJ *et al.*, 2016, UGLIOTTI; DELLOSTA; OSELLO, 2016): (1) a primeira etapa estava presente em todas as pesquisas e aborda a documentação de dados geométricos e de energia do edifício; (2) a segunda etapa também esteve presente em todas as pesquisas e refere-se a modelagem geométrica e energética calibrada do edifício em *software* BIM; por fim, (3) a terceira etapa não foi realizada em todas as pesquisas e refere-se à simulação de proposta de *retrofit* que pode até incluir uma avaliação do investimento financeiro necessário para execução do projeto. As próximas sessões detalham estas etapas.

#### 4.1 PRIMEIRA ETAPA: DOCUMENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Esta etapa é composta pela documentação de dados geométricos e dados energéticos. Alguns pesquisadores chamam esta etapa de catalogação dos dados da edificação de “auditoria energética” (MALKIAT, 2013; ALBERT; YOUNGER, 2008 *apud* HAMIDA *et al.*, 2020). Este processo é, de acordo com Coulter, Dubler e Leicht (2013), dividido pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – ASHRAE) em três níveis. No nível simples ocorre a verificação da geometria do prédio, tipo de lâmpadas utilizadas, sensores de ocupação e sistema de exaustão. Já o nível intermediário envolve entrevistas com pessoas específicas para identificação, por exemplo, do padrão de horário de consumo do edifício e no nível avançado são utilizados instrumentos para extração dos dados no local e simulação e por isso tem mais potencialidade de apresentar resultados mais precisos.

#### 4.1.1 DOCUMENTAÇÃO DE DADOS GEOMÉTRICOS

A documentação de dados geométricos refere-se ao cadastro e modelagem da volumetria da edificação. Dentre os métodos apresentados nas pesquisas estão a adoção de desenhos já existentes da edificação (planta baixa, cortes e fachadas existentes), adoção de modelo 3D existente, cadastro com trena, 3D *laser scanning*, fotogrametria e imagem satélite. Foi identificado que é comum que em um único trabalho possa ser utilizado mais de um método de cadastro geométrico.

A adoção das plantas do cadastro existente é o método mais utilizado pelos autores identificados nesta RSL porém o *laser scanning* também é um destaque nas pesquisas. Sanhudo e colaboradores (2018) indicam que o *laser scanning* possui falhas no processamento de dados geométricos como por exemplo em edifício de geometria complexa, mas que em parte esses problemas podem ser resolvidos no *software* BIM, indicando assim a possibilidade de uma boa integração.

Neste processo de documentação os pesquisadores indicam que edificações de patrimônio histórico costumam ser mais difíceis de cadastrar pois é comum haver a geometria complexa e a falta de padronização de elementos construtivos (GIGLIARELLI *et al.*, 2017).

Um item negligenciado na maioria das pesquisas é sobre o entorno das edificações, por vezes pode não haver interferências, mas a existência de entorno ou a modelagem do mesmo não foram citados nas pesquisas. De acordo com Ugliotti, Dellosta e Osello (2016, p. 5, tradução nossa) “Prédios vizinhos podem ser negligenciados, mas quando fazem sombra no edifício é relevante e devem ser representados”. Na revisão de literatura, Scherer e Katranuschkov (2018) tratam sobre o *Neighborhood BIMification* que é a necessidade de cadastro do que é relevante no entorno, abrindo a possibilidade de cadastro da fachada do edifício vizinho por *laser scanning* e terreno com levantamento topográfico.

Lin *et al.* (2019) fizeram a simulação computacional energética do estudo de caso com os edifícios do entorno, porém não informaram se consideraram ou não vegetação do entorno na simulação.

#### 4.1.2 DOCUMENTAÇÃO DE DADOS ENERGÉTICOS

A documentação de dados energéticos refere-se ao cadastro de informações para próxima etapa de modelagem e calibração do *software*. As informações podem ser subdivididas entre propriedades dos materiais, padrão de ocupação e conforto térmico conforme é apresentado a seguir.

##### 4.1.2.1. Propriedades dos materiais

Para avaliar as propriedades dos materiais podem ser utilizados métodos destrutivos e não destrutivos (SANHUDO *et al.*, 2018, BU; SHEN, 2013). Os métodos destrutivos, que não foram encontrados em aplicação prática nessa RSL, implicam na danificação de elementos da

edificação que está em uso para identificação de suas propriedades por meio de avaliação laboratorial. Entretanto, esse método pode não ser viável diante da interrupção de atividades do edifício em uso, pela danificação de elementos do edifício de patrimônio histórico<sup>4</sup> ou por limitações orçamentárias por se tratar de uma técnica mais cara.

Dentre os métodos não destrutivos está o reconhecimento dos materiais do edifício e a identificação das propriedades térmicas considerando os dados informados pelo fabricante. Porém, caso não haja essa informação, pesquisas utilizam valores genéricos de propriedades térmicas dos materiais disponibilizados em normativas.

Entretanto, o reconhecimento de materiais contém falhas. Pesquisas destacam que os materiais das construções existentes podem sofrer ao longo do tempo problemas de umidade, deterioração, corrosão e mau desempenho de isolamento e que isto deve ser levado em consideração (SCHERER; KATRANUSCHKOV, 2018; HABIBI *et al.*, 2017; GIGLIARELLI *et al.*, 2017). Apesar destes autores alertarem para esta falha é visto que as pesquisas a desconsideram e utilizam para as simulações as propriedades indicadas pelas normativas do país ou pelos fabricantes dos materiais.

Ainda dentre os métodos não destrutivos, há atualmente a possibilidade de uso nos elementos construtivos da câmera termográfica infravermelha<sup>5</sup> que podem ser classificados como sensores. A câmera térmica pode ser utilizada na envoltória para identificação de ganho ou perda de calor (HU, 2018).

Os sensores permitem a economia de energia e há alguns modelos com transmissão de dados via *wireless* ou *bluetooth* (GOMEZ; PARADELLS, 2010 *apud* WOO; GLEASON, 2014).

Dentre as novidades no setor, há pesquisas como a de Ham e Golparvar-Fard (2015) *apud* Habibi *et al.* (2017) que desenvolvem métodos para que a captação de propriedades térmicas seja automaticamente associada a elementos BIM para análise de *retrofit* energético.

#### 4.1.2.2 Padrão do consumo

Vários pesquisadores de acordo com Mehndi e Chakraborty (2020) descobriram que o padrão do consumidor final impacta na EEE. Algumas pesquisas utilizam na simulação um padrão genérico de período de uso e operação do edifício de acordo com a tipologia da edificação. Por isso que uma das causas comuns de erro das Simulações de Desempenho de Edifícios (*Building Performance Simulation* - BPS) é a informação sobre o comportamento das pessoas e quanto ao período de operação do edifício (UDDIN *et al.*, 2019). Neste caso entrevista com os usuários do edifício contribuem com uma identificação mais completa (ASHRAE *apud* COULTER; DUBLER; LEICHT, 2013).

Algumas pesquisas utilizam como referência os dados de consumo energético presentes nas contas de energia e gás (YANG; ERGAN; KNOX, 2015) buscando assim mais veracidade na comparação de resultados para o edifício simulado. Mas também tem

---

<sup>4</sup> Edifícios de patrimônio histórico costumam ter legislação específica que impossibilita a prática de danificação de elementos.

<sup>5</sup> Pode ser encontrado nas pesquisas como termômetro infravermelho ou câmera térmica. A mais comum é a da marca FLIR®.



pesquisadores que utilizam para a simulação os dados de consumo energético médio anual no país para um consumo residencial típico.

O consumo energético pode ser observado também através de instalação de sensores. Os sensores não precisam captar os dados de todos os ambientes do edifício. Nas pesquisas de Woo e Menassa (2014) e de Woo e Gleason (2014) foi utilizado um andar típico de medição com os sensores para basear a simulação computacional. Desta maneira os ambientes não cadastrados receberam os dados dos que foram cadastrados e por isso os resultados obtidos da simulação final do edifício são dados aproximados.

Há pesquisas que utilizam sensores para identificação do padrão de ocupação de determinados ambientes ao longo do dia.

#### 4.1.2.3 Desempenho térmico

Para captação de dados relacionados ao conforto térmico, o uso de sensores de temperatura do ambiente, de umidade, velocidade do vento são comuns nas pesquisas.

As pesquisas identificadas na RSL não apresentam explicitamente a necessidade da informação da localização da edificação, porém sem esta, os *software* não produzem os dados de avaliação sobre o desempenho térmico.

A utilização de entrevistas também é um método comum nessa etapa de documentação. Lin *et al.* (2019) apresentam a aplicação do método de entrevista sobre análise de sensação de conforto térmico: o Voto Médio Previsível (*Predicted Mean Vote* - PMV) e a Porcentagem Previsível de Insatisfeitos (*Predicted Percentage Dissatisfied* - PPD).

Essa etapa de documentação de dados energéticos, com a avaliação das propriedades dos materiais, do padrão de consumo e do desempenho térmico é a mais desigual entre as pesquisas encontradas na RSL. Algumas delas utilizam informações mais genéricas para representar o edifício existente, outras recolhem algumas informações que os pesquisadores consideraram importantes ou que conseguiram acesso enquanto outras pesquisas utilizam métodos mais complexos e onerosos e que entregam mais assertividade a verdadeira condição da edificação. A seguir é apresentada a etapa de modelagem com essas informações.

## 4.2 SEGUNDA ETAPA: MODELAGEM BIM E ANÁLISE DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

Nesta etapa ocorre a modelagem tridimensional do edifício virtual com as informações obtidas na etapa de documentação. Cada elemento ou sistema pode ser associado a dados técnicos relevantes como certificados e declarações que podem ser úteis para futuras manutenções (GIUDA; VILLA; PIANTANIDA, 2015).

As edificações modeladas em BIM podem ser classificadas de acordo com os níveis de detalhamento ou de desenvolvimento (*Level of Development* – LOD) (MUTHUMANICKAM *et al.*, 2014). Nesta RSL identificou-se que os pesquisadores utilizam diferentes níveis de LOD para realizar seus trabalhos, não havendo um padrão ou consenso sobre qual o mais adequado.

Muthumanickam *et al.* (2014) escolheram para a modelagem energética no *software* Revit® o LOD 300 pois consideraram que um modelo com este LOD não possui redundância ou ausência de informação. Já Ugliotti, Dellosta e Osello (2016) além de concordarem com o LOD 300 sugerem que elementos decorativos devam ser retirados pois provocam erro ou lentidão

na simulação. Porém Branca *et al.* (2019) e Tzortzopoulos *et al.* (2019) escolheram o LOD 200 para modelagem no mesmo *software* usando o método descrito por Schweizerischer Ingenieur- und Architekten em 2018.

Sem especificação de *software* utilizado na simulação energética, outros autores recomendam o LOD 200 (BEDRICK, 2008; LEITE *et al.*, 2011 *apud* CHAVES *et al.*, 2017). Já Piselli *et al.* (2020b) não especificaram o LOD utilizado, mas descreveram que modelaram detalhes dos sistemas hidráulico, elétrico e HVAC. A maioria das pesquisas não apresenta o LOD escolhido para a modelagem e simulação.

Além de planejar o LOD, outros pesquisadores debatem sobre a vantagem da possibilidade de criação de um modelo de arquivo padrão (*template*) para projetos de *retrofit* (SCHERER; KATRANUSCHKOV, 2018). E na pesquisa de Khaddaj e Srour (2016) é identificada a necessidade de criar um instrumento legal de padronização de modelagem para *retrofit* para dar mais segurança e garantia da simulação para todos os usuários.

Nessa etapa ocorre a comparação de compatibilidade dos resultados da simulação energética com os dados do consumo real do edifício. Em alguns casos é observada a necessidade de simular novamente com alteração de dados no *software*, para que os resultados da simulação BIM se aproximem com os resultados da realidade. De acordo com a revisão de literatura de Yang, Ergan e Knox (2015) em todas as pesquisas de simulação são encontrados os dados de Intensidade de uso de energia (*Energy Usage Intensity* - EUI) em kWh/m<sup>2</sup> e de energia consumida.

Existe uma faixa de tolerância de erros no processo de calibração que pode ser calculada por meio de fórmula apresentada na ASHARE (UDDIN *et al.*, 2019). A pesquisa de Hamida *et al.* (2020) teve um resultado simulado muito próximo do real com diferença somente de 1,1% de erro. Já na pesquisa de Spiegelhalter *et al.* (2014) o consumo simulado virtualmente teve considerável variação em relação ao verdadeiro consumo do edifício apesar de utilizarem os dados de consumo real do edifício e dados dos sensores instalados na edificação.

Sanhudo *et al.* (2018) informam problemas em alguns *software* como a confiabilidade da inserção dos dados bioclimáticos e do cálculo do volume dos ambientes da edificação. De modo geral, pesquisadores indicam que a interoperabilidade de arquivos de formatos IFC, XML e gbXML possuem falhas e se tornam um desafio para completa implantação do BIM para análise de EEE (HAMIDA *et al.*, 2020; HOSSEINI; SHIRMOHAMMADI; ASLANI, 2020; PISELLI *et al.*, 2020a).

#### 4.3 TERCEIRA ETAPA: PROPOSTA DE RETROFIT

A proposta de *retrofit* não é feita em todas as pesquisas dessa RSL. Das pesquisas que realizam a simulação da proposta, algumas realizam a avaliação do investimento financeiro conforme é apresentado a seguir.

##### 4.3.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PROPOSTA

Nesta etapa é preciso avaliar quais serão as propostas de *retrofit* para a edificação, sendo possível um edifício receber diferentes tipos de intervenções. Para a escolha das alterações a serem realizadas, Woo e Gleason (2014) chegam até a entrevistar usuários para

saber a opinião sobre o que deve ser feito para o *retrofit* de EEE. Os pesquisadores entendem que é importante que os usuários participem do processo para alcançar melhores resultados.

Ao utilizar o *software* BIM Revit® para a modelagem da edificação e posteriormente o DesignBuilder® para simulação energética, Freitas *et al.* (2020, p. 13, tradução nossa) informam que:

A principal desvantagem com a abordagem BIM adotada neste estudo é que após a implementação e projeto de cada Medida de Eficiência Energética (*Energy Efficiency Measures – EEM*) em BIM, o modelo analítico de energia deve ser recriado e, em seguida, reexportado usando o formato gbXML. Isso criará vários arquivos e é uma abordagem desintegrada. Portanto, seria muito mais eficiente se a análise de energia fosse conduzida dentro do próprio *software* BIM.

#### 4.3.2 MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO INVESTIMENTO FINANCEIRO

Na pesquisa de Tzortzopoulos *et al.* (2019) é indicado que as soluções de *retrofit* devem considerar três aspectos: o potencial de ganhos de EEE, a interferência na rotina dos usuários e a estimativa de custo do *retrofit*.

Há pesquisas que tem estudo de caso, realizam a modelagem em *software* BIM, mas não fazem simulação de solução de *retrofit* e consequente não fazem simulação de retorno de investimento (*payback*) como foi feito, por exemplo, na pesquisa de Guida *et al.* (2015).

Algumas pesquisas como a de Freitas *et al.* (2019) e de Hamida *et al.* (2020) apresentam a simulação de retorno financeiro podendo esta ser simples, considerando o valor investido e o tempo necessário para compensação. Porém estas pesquisas destacam a possibilidade de utilização de fórmulas específicas que levam em consideração questões como a vida útil do prédio, taxa de juros do país e projeção do valor de contrato energético, mas destacam que não levam em consideração a taxa de degradação dos materiais ou de aparelhos.

A simulação de *payback* é apresentada com critério de importância na decisão do *retrofit*. Conforme a pesquisa de Hamida *et al.* (2020) uma estratégia de *retrofit* reduz o consumo em 2% e tem o *payback* em 15,7 anos enquanto uma outra reduz em 1,3% e tem *payback* de 1,3 anos. Já Spiegelhalter *et al.* (2014) apresentam um *payback* de 4 anos para a proposta de *retrofit*.

Freitas *et al.* (2019) chegam a ter redução de consumo de 58,54% porém com *payback* de 24,60 anos. Com o tempo de *payback* longo foi indicado o estudo de instalação de placa fotovoltaica ou a retirada de serviços para viabilizar economicamente a proposta final escolhida por estes autores.

Na pesquisa de Hosseini, Shirmohammadi e Aslani (2020), apesar de grande redução do consumo energético, o período de retorno financeiro é muito alto pois os custos de energia no país onde foi realizada a pesquisa são muito baixos.

Há autores que apresentam que mesmo que o valor de retorno calculado seja maior do que o ciclo de vida dos principais componentes arquitetônicos, o *retrofit* continua sendo recomendado pois a edificação necessita de reformas (BRANCA *et al.*, 2019).

## 5 CONCLUSÃO

Essa pesquisa é um passo necessário para compressão das possibilidades disponíveis no uso do BIM e de estratégias para aumentar a EEE. O método da RSL mostrou-se adequado para a abordagem do Estado da Arte da relação do BIM, EEE e *retrofit*. Com a pesquisa ficou destacado como há diversos avanços tecnológicos aplicados para ferramentas que contribuam para aumentar a EEE.

Com as exigências governamentais há uma tendência que os edifícios GB se tornem cada vez mais populares. Há inúmeros parâmetros de avaliação de uma EEE incluindo a observação da energia operacional que pode ser reduzida com utilização das ferramentas de simulação computacional.

Foi identificado um padrão nas etapas adotadas pelos pesquisadores para realizar o processo de simulação, sendo a primeira delas a documentação. Para esta etapa que inclui a documentação de dados geométricos e de energia, constatou-se que há diversas tecnologias que contribuem com a maior precisão do modelo e existe uma tendência que futuramente se tornem mais acessíveis. Porém essa etapa foi identificada como a mais desigual nas pesquisas exatamente pelo limite orçamentário de acesso a essas diferentes tecnologias.

Com a segunda etapa de modelagem pode-se observar que os autores discutem a possibilidade de criar um *template* para *retrofit* no BIM (SCHERER; KATRANUSCHKOV, 2018). Também foi observado que o nível de LOD não é um consenso, porém os mais adotados foram os LOD200 e o LOD300 para evitar erros na interoperabilidade entre os *software*. Dentre os *software* BIM há o destaque do Revit® para a modelagem da edificação e assim permitir a interoperabilidade com outro *software* de análise e simulação energética. O mais citado dentre os *software* de simulação foi o Energy Plus®. A interoperabilidade de *software* ainda é o grande desafio nesta etapa.

Na terceira etapa, que é de simulação de *retrofit*, existem as vantagens do uso do BIM para a observação e análise simultânea das diversas estratégias, além de avaliação de *payback*. As possibilidades de alteração da edificação construída nos exemplos estudados são bem limitadas, mas os artigos apresentam diversas potencialidades com diferentes tipos de impacto que podem servir de referência para aplicação em casos reais.

O método de seleção dos artigos resultou na identificação de trabalhos específicos da área que contribuíram para verificação do Estado da Arte. Como próximos passos, o protocolo da RSL será ajustado e utilizadas duas *strings* combinando (a) BIM e EEE; (b) EEE e *retrofit*. Desta forma serão ampliados os trabalhos a serem avaliados, aumentando a abrangência de avaliação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, Darja Kos. **Arquitetura residencial de superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2116/1/2006\\_Darja%20Kos%20Braga.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2116/1/2006_Darja%20Kos%20Braga.pdf). Acesso em: 18 abr. 2020.

BRANCA, Giovanni et al. Portfolio energy analysis and condition assessment: case study of public schools of the lugano municipality. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 1343, p. 012131, nov. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012131>.

BU, Shanshan *et al.* Literature review of green retrofit design for commercial buildings with BIM implication. **Smart And Sustainable Built Environment**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 188-214, 21 set. 2015. Emerald.  
<http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-08-2014-0043>.

CHAVES, Fernanda Justin *et al.* Building information modelling to cut disruption in housing retrofit. **Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Engineering Sustainability**, [S.L.], v. 170, n. 6, p. 322-333, 1 dez. 2017. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1680/jensu.16.00063>.

COULTER, T. Sprau; DUBLER, Craig R.; LEICHT, Robert M.. Developing a Standard Energy Auditing Process for Pennsylvania State University. **Aei** 2013, [S.L.], p. 891-901, 5 abr. 2013. American Society of Civil Engineers.  
<http://dx.doi.org/10.1061/9780784412909.087>.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. Disponível em:  
[https://www.academia.edu/3183272/BIM\\_handbook\\_A\\_guide\\_to\\_building\\_information\\_modeling\\_for\\_owners\\_managers\\_designers\\_engineers\\_and\\_contractors](https://www.academia.edu/3183272/BIM_handbook_A_guide_to_building_information_modeling_for_owners_managers_designers_engineers_and_contractors). Acesso em: 10 out. 2019.

EDWARDS, Rodger E. *et al.* Sustainability-led design: feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into bim for refurbishment projects. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 24, p. 100-697, jul. 2019. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jobee.2019.01.027>.

FENG, Haibo *et al.* BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: renovation and reconstruction strategies for aging building stock in british columbia. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 250, p. 119-543, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119543>.

FREITAS, Jader de Sousa *et al.* Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 160, p. 1468-1479, nov. 2020. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.137>.

GIGLIARELLI, Elena *et al.* Heritage Bim, Numerical Simulation and Decision Support Systems: an integrated approach for historical buildings retrofit. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 133, p. 135-144, out. 2017. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.379>.

GIUDA, Giuseppe Martino Di; VILLA, Valentina; PIANTANIDA, Paolo. BIM and Energy Efficient Retrofitting in School Buildings. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 78, p. 1045-1050, nov. 2015. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.066>.

HABIBI, Shahryar *et al.* The promise of BIM for improving building performance. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 153, p. 525-548, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>.

HAM, Youngjib; GOLPARVAR-FARD, Mani. Mapping actual thermal properties to building elements in gbXML-based BIM for reliable building energy performance modeling. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 49, p. 214-224, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.009>.

HAMIDA, Mohammad B. *et al.* Techno-Economic Assessment of Energy Retrofitting Educational Buildings: a case study in saudi arabia. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 179, 27 dez. 2020. MDPI AG.  
<http://dx.doi.org/10.3390/su13010179>.

HOSSEINI, S. M.; SHIRMOHAMMADI R.; ASLANI A. Achieving to a low carbon-energy commercial building in the hot-dry climate area. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, [S.L.], p. 1-19, 15 out. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15567036.2020.1826013>.

KHADDAJ, Maggie *et al.* Using BIM to Retrofit Existing Buildings. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 145, p. 1526-1533, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.192>.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, O. R. F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014. 366 p. Disponível em:  
[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf) f. Acesso em: 15 out. 2019.

LATIF, A F et al. A Review on Energy Performance in Malaysian Universities Through Building Information Modelling (BIM) Adaptation. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 291, p. 012-033, 27 jun. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/291/1/012033>.

LEITNER, D. S; SCHEER, S.; SANTOS, A. P. L. O uso do BIM para avaliação do desempenho dos edifícios: uma revisão sistemática da literatura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.14, n. 2, p.17-33, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.151292>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/151292/158156>. Acesso em: 2 abr. 2020.

LIN, Pao-Hung et al. Green BIM Assessment Applying for Energy Consumption and Comfort in the Traditional Public Market: a case study. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 17, p. 4636, 26 ago. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11174636>.

LIU, Fangxiao et al. A Framework for Integrating Change Management with Building information modeling. **Computing In Civil And Building Engineering** (2014), [S.L.], p. 439-446, 17 jun. 2014. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413616.055>.

MEHNDI, Syed Mohd; CHAKRABORTY, Indrani. Simulation for a Cost-Effective and Energy Efficient Retrofits of the Existing Building Stock in India using BIM. **2020 International Conference On Contemporary Computing And Applications (ic3A)**, [S.L.], p. 237-243, fev. 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ic3a48958.2020.233305>.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.

MUTHUMANICKAM, Aruna et al. Development of a Novel BIM-Energy Use Ontology. **Construction Research Congress 2014**, [S.L.], p. 150-159, 13 maio 2014. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413517.016>.

OPOKU, De-Graft et al. Digital twin application in the construction industry: A literature review. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 40, p. 1-15, maio 2021. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102726>.

PISELLI, Cristina et al. An Integrated HBIM Simulation Approach for Energy Retrofit of Historical Buildings Implemented in a Case Study of a Medieval Fortress in Italy. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 10, p. 2601, 20 maio 2020b. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13102601>.

PISELLI, Cristina et al. Facility Energy Management Application of HBIM for Historical Low-Carbon Communities: design, modelling and operation control of geothermal energy retrofit in a real italian case study. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 23, p. 6338, 1 dez. 2020a. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13236338>

ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação pós-ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação social**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. 294 p. ISBN 85-89478-01-7

SANHUDO, Luís *et al.* Building information modeling for energy retrofitting - A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 89, p. 249-260, jun. 2018.

SARTORI, Thais; CALMON, João Luiz. Analysis of the impacts of retrofit actions on the life cycle energy consumption of typical neighbourhood dwellings. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 21, p. 158-172, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2018.10.009>.

SCHERER, Raimar J.; KATRANUSCHKOV, Peter. BIMification: how to create and use bim for retrofitting. **Advanced Engineering Informatics**, [S.L.], v. 38, p. 54-66, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2018.05.007>.

SCHLUETER, Arno; GEYER, Philipp. Linking BIM and Design of Experiments to balance architectural and technical design factors for energy performance. **Automation in Construction**, [S. L.], v. 86, p. 33-43, fev. 2018.  
SPIEGELHALTER, Thomas *et al.* Energy-efficiency Retrofitting and Transformation of the FIU-college of Architecture + The Arts into a Net-Zero-Energy-Building by 2018. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 57, p. 1922-1930, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.056>.

TZORTZOPOULOS, Patricia et al. Evaluating Social Housing Retrofit Options to Support Clients' Decision Making—SIMPLER BIM Protocol. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 2507, 30 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11092507>.

UDDIN, M N. et al. An Inquisition of Envelope Fabric for Building Energy Performance Using Prominent BIM-BPS Tools—A Case Study in Sub-Tropical Climate. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 354, p. 012129, 25 out. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/354/1/012129>.

UGLIOTTI, Francesca Maria; DELLOSTA, Maurizio; OSELLO, Anna. BIM-based Energy Analysis Using Edilclima EC770 Plug-in, Case Study Archimede Library EEB Project. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 161, p. 3-8, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.489>.

WOO, Jeong-Han, Carol Menassa. Virtual Retrofit Model for aging commercial buildings in a smart grid environment. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 80, p. 424-435, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.004>.

WOO, Jeong-Han; GLEASON, Blake. Building Energy Benchmarking with Building information modeling and Wireless Sensor Technologies for Building Retrofits. **Computing In Civil And Building Engineering** (2014), [S.L.], p. 1150-1157, 17 jun. 2014. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413616.143>.

YANG, Xue; ERGAN, Semiha; KNOX, Katie. Requirements of Integrated Design Teams While Evaluating Advanced Energy Retrofit Design Options in Immersive Virtual Environments. **Buildings**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 1302-1320, 5 dez. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings5041302>.