

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS DESENVOLVIDOS EM BIM

Gabriela Bardelli de Oliveira<sup>1</sup>

Elaine Spiel<sup>2</sup>

Julianna Crippa<sup>3</sup>

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo propor um método com diretrizes para simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM. O objetivo deste estudo é propor um método com diretrizes para simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM, visando a prática de mercado e levando em consideração as exigências da NBR 15575 e dos sistemas de certificação *LEED* e *AQUA-HQE*. Por meio de uma busca na literatura foi escolhido avaliar o *plugin Insight* – que funciona dentro do *software* de modelagem BIM *Revit*<sup>®</sup> – e o *DIALux evo*. As simulações computacionais foram realizadas utilizando um projeto de habitação unifamiliar em BIM. Posteriormente, com intuito de avaliar a qualidade das ferramentas, foi desenvolvido e respondido um questionário baseado na norma ISO/IEC 25010:201, seguindo uma escala tipo Likert, de 1 a 5. No quesito de iluminação natural, ambos *softwares* permitem calcular os níveis de Iluminância e os resultados de Fator de Luz Diurna (FLD). Enquanto o *Insight* possibilita também executar simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE). Ressalta-se que, para fins comerciais, o *Insight*<sup>®</sup> e o *Revit*<sup>®</sup> são

<sup>1</sup> Aluna do 7º período do curso de Engenharia Civil da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2020-2021). *E-mail*: gabibardelli@gmail.com

<sup>2</sup> Aluna do 9º período do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAE Centro Universitário. Voluntária do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2020-2021). *E-mail*: elainespiel@hotmail.com

<sup>3</sup> Orientadora da Pesquisa. Mestre em Engenharia da Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná. Professora da FAE Centro Universitário. *E-mail*: julianna.crippa@gmail.com

ferramentas pagas, enquanto o DIALux evo é gratuito, de fácil instalação e não exige um computador com processador potente. Apesar dessas diferenças, os resultados reforçam as oportunidades de avaliação de desempenho lumínico ainda na fase de projeto a partir da integração BIM.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Simulação Computacional. Ferramentas Tecnológicas. Iluminação Natural

## INTRODUÇÃO

Estima-se que a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) consome quase 50% da energia produzida no planeta inteiro (HOMER-DIXON, 2010) e aproximadamente um terço das emissões globais de gases do efeito de estufa, tanto em países desenvolvidos quanto em países emergentes (UNEP, 2009). Além dos critérios considerados nos projetos estruturais, como construtibilidade e custo de edificações, é visto uma evolução quanto a levar-se em conta também a sustentabilidade. Encontrar meios de medir o desempenho da sustentabilidade em um projeto tornou-se indispensável.

Segundo Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, também elaborada pelo IBGE, o Déficit Habitacional do Brasil vem aumentando desde 2012 chegando a 7.757 milhões de habitantes em total absoluto no ano de 2015, sendo este número equivalente a 9,0% do total de habitantes do país. Este dado comprova a existência de um grande déficit habitacional no Brasil, confirmando a grande demanda para construções de novas habitações. Além da necessidade de reduzir o déficit habitacional do país, é importante fornecer qualidade de vida à população através do ambiente construído. Assim, aspectos como o desempenho lumínico deve ser considerado na concepção dos projetos, uma vez que este contribui para a mitigação de impactos ambientais além de proporcionar conforto e benefícios financeiros aos usuários de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (EHIS).

Além disso, com o desenvolvimento contínuo da tecnologia científica, ferramentas desenvolvidas para projetos em BIM (Modelagem de Informações da Construção) vêm sendo cada vez mais utilizada por arquitetos e demais projetistas. O processo BIM é baseado na modelagem 3D paramétrica que permite desenvolver construções mais eficientes e revolucionar os projetos arquitetônicos. Dessa forma, destaca-se a necessidade de investir no desenvolvimento de projetos de edifícios sustentáveis utilizando simulações computacionais e demais ferramentas tecnológicas compatíveis com BIM.

Com o objetivo de atrair atenção para o tema, o presente estudo visa sanar o questionamento inicial: “Quais as características de um método de simulação computacional para análise de iluminação natural em projetos de edifícios sustentáveis desenvolvidos em BIM?”. Dessa forma, o objetivo do trabalho é propor um método com diretrizes para simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM. Além disso, neste trabalho foram traçados cinco objetivos específicos: i) definir as ferramentas que serão avaliadas; ii) modelar os processos de simulação; iii) estabelecer o método de avaliação; iv) comparar as ferramentas; e, v) definir qual possui o método de processo mais eficiente.

Para determinação desse método foi coletado, por meio de uma revisão da literatura, informações sobre as características dos métodos já propostos e testados por outros autores a respeito do tema. Com base nos *softwares* encontrados e em uma análise dos mesmos, foi escolhido o *software Insight®*, da desenvolvedora Autodesk, e o DIALux, que serão aplicados nos experimentos deste estudo. Os experimentos foram realizados no projeto de uma casa unifamiliar modelada em BIM e para cada experimento foi aplicado um questionário aos próprios pesquisadores deste estudo para ser respondido seguindo uma escala tipo Likert, de 1 a 5. Dessa forma, espera-se conseguir mensurar qualitativamente os experimentos e compará-los, a fim de, posteriormente, definir qual método é mais viável para a aplicabilidade do método proposto.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como forma de normatizar os requisitos mínimos de desempenho referente aos sistemas que compõem o edifício, a Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575 estabelece critérios a serem seguidos pelos profissionais para verificar se os requisitos mínimos estão sendo cumpridos ou não. A norma estabelece níveis mínimos de iluminação natural dentro das edificações habitacionais, os quais podem ser avaliados em projeto ou ao final da obra. Com a simulação computacional, é possível que estudos sejam executados durante a fase de projeto, possibilitando alterações que facilitem o cumprimento da norma com maior antecedência.

O estudo de iluminação pode incluir análise da incidência solar, análise da projeção de sombra (sombreamento), análise da luz do dia (iluminação natural) e análise lumínica na edificação (AZHAR; BROWN, 2009). De acordo com Chang e Hsieh (2020), a análise da incidência solar visa quantificar a quantidade de energia solar em um edifício e em seu local de implantação, o que é essencial para o projeto passivo e de geração de energia solar. Por outro lado, a análise de sombreamento é um dos principais aspectos da análise do local no estágio inicial do projeto. Já a análise da entrada de luz do dia (*daylighting*) é um dos principais indicadores da qualidade ambiental interna em vários sistemas de certificação de edifícios verdes. Por último, a análise lumínica diz respeito ao projeto de iluminação artificial do edifício. Em suma, um estudo de iluminação é fundamental para o projeto de edifícios ecológicos, a fim de obter maior eficiência energética e melhor qualidade ambiental interna.

Segundo Chen e Luo (2014), o BIM é uma tecnologia de modelagem 3D paramétrica, a qual permite incluir informações sobre o projeto de forma inteligente,

que, se bem utilizadas, têm o potencial de melhorar não apenas o processo de construção, mas também o processo de controle de qualidade de um projeto. É uma ferramenta frequentemente utilizada pelos profissionais da arquitetura e engenharia, com objetivo de projetar de uma forma mais exata, a fim de evitar erros posteriores ao projeto. Isso se torna possível devido à possibilidade de compatibilizar o projeto arquitetônico com o projeto estrutural, hidráulico, elétrico, dentre outros, para analisar as incompatibilidades entre eles e resolver os problemas ainda no início do projeto. Além de que o uso do BIM proporciona uma melhor a coordenação entre todos os envolvidos no processo do projeto, desde sua concepção, como também para simulações e otimizações para garantir um maior desempenho, menores custos e prazos de entregas mais curtos. A ferramenta proporciona a geração automática de documentos e informações precisas sobre o projeto para facilitar todo esse gerenciamento (CHEN; LUO, 2014). Dessa forma, destaca-se a necessidade de investir no desenvolvimento de projetos de edifícios sustentáveis utilizando simulações computacionais e demais ferramentas tecnológicas compatíveis com BIM.

Tratando-se dos estudos que avaliam a integração das análises de iluminação com BIM, Chang e Hsieg (2020) destacam que a maioria destes artigos desenvolvem apenas a análise da luz do dia. Para os autores, poucos trabalhos discutem outros aspectos do ambiente de iluminação, assim deve ser explorado mais estudos sobre BIM que realiza análise solar, sombreamento e iluminação artificial. Algumas pesquisas focam na aplicação de ferramentas BIM estudos de iluminação e fornecem diretrizes para o processo de análise e seleção de ferramentas (KRYGIEL; NIES 2008, AZHAR; BROWN 2009, REEVES et al., 2012). Outros se concentraram no desenvolvimento de ferramentas BIM para a transição automática de informações. Por exemplo, Yan et al. (2013) e Kota et al. (2014) desenvolveram *plugins* com o *Revit*<sup>®</sup> e sua API para produzir as informações necessárias para o Radiance e o Daysim realizarem análises da luz do dia. Jalaei e Jrade (2014a, 2014b) também desenvolveram *plugins* para análise de luz do dia da *Ecotect*. No entanto, para Chang e Hsieg (2020), ainda são necessários estudos adicionais sobre a capacidade de visualização e interpretação do resultado da análise dessas ferramentas BIM.

O *Revit*<sup>®</sup> se destaca como a ferramenta BIM mais utilizada para este tipo de análise, devido à maior interoperabilidade do *Revit*<sup>®</sup> com as principais ferramentas de avaliações de iluminação (CHANG; HSIEG, 2020). Enquanto isso, as ferramentas de simulação mais utilizadas devido à capacidade de importar e exportar vários formatos de arquivo (CHO et al., 2010, KOTA et al. 2014), são o *Ecotect* e *Radiance*. Entretanto, o *Ecotect* é um antigo *software* da *Autodesk* que foi descontinuado pela desenvolvedora e substituído por outros recursos de maior interoperabilidade com o *software Revit*<sup>®</sup>.

Esses novos recursos incluem o *Green Building Studio* e o *Project Solon*, sendo que mais recentemente o *Insight*<sup>®</sup> foi desenvolvido como uma evolução de ambos e é o *software* recomendado atualmente pela *Autodesk* para análise de eficiência energética (OLIVEIRA; JESUS; CONDE, 2019). Por fim, o *software* DIALux, o qual possui acesso facilitado e gratuito, sendo ele um programa de luminotécnica universal (ALMEIDA; BARTOLOMEU, 2020), pode ser associado a um programa BIM, em que o modelo criado no *software* anterior pode ser exportado na forma de IFC para o DIALux, a fim de ser realizado o cálculo lumínico (WONG et al., 2019).

## 2 METODOLOGIA

Como abordagem metodológica, este trabalho aplica a Ciência do Artificial ou, em inglês, *Design Science Research* (DSR), a qual é motivada pelo desejo de melhorar o ambiente pela introdução de artefatos novos e inovadores e pelos processos de criação dos mesmos (SIMON, 1996). Trabalhos que se enquadram neste tipo de estratégia visam prescrever artefatos de alto rigor e relevância com propostas que possam ser aplicadas na indústria e utilizadas por diversos gestores e profissionais envolvidos, de maneira que se transforme em um produto ou serviço útil para a sociedade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

A etapa da revisão da literatura, na qual foram coletadas informações sobre as características dos métodos já propostos e testados por outros autores a respeito do processo da simulação de iluminação natural, auxiliou na tomada de decisão sobre a escolha dos *softwares* utilizados na pesquisa. As ferramentas escolhidas para serem aplicadas nos experimentos deste estudo e para fundamentar uma futura análise científica sobre os mesmos, foram o *plugin Insight*<sup>®</sup>, da desenvolvedora *Autodesk*, e o *software* DIALux evo.

Dessa forma, a fim de alcançar o objetivo geral de propor um método com diretrizes para simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM, o trabalho inclui as seguintes etapas:

1. Formular o questionário baseado na ISO/IEC 25010:201 com questões que avaliam o processo de simulação e qualidade de produto de *software*;
2. Definir o projeto em BIM para testar as ferramentas *Insight*<sup>®</sup> e DIALux evo;
3. Executar as possíveis simulações de iluminação natural nas ferramentas, levando em consideração as exigências das NBR 15575 e sistemas de certificação *LEED* e *AQUA-HQE*;

4. Aplicar o questionário para cada ferramenta;
5. Descrever e modelar o processo de simulação de cada ferramenta utilizada;
6. Analisar os resultados, a fim de comparar as ferramentas e definir qual ferramenta possui o método de processo mais eficiente.

A seguir serão apresentadas as principais informações para formulação do questionário e descrição do projeto em BIM utilizado para a execução das ferramentas.

## 2.1 FORMULAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Um questionário foi desenvolvido para mensurar qualitativamente as ferramentas e os processos de simulação de modo a compará-los. Para tal, seguindo critérios de observação, foi estabelecida uma série de perguntas a serem aplicadas (QUADRO 1), seguindo uma escala tipo Likert, de 1 a 5. As questões foram formuladas considerando métricas de qualidade de *software* como: funcionalidade, interoperabilidade, usabilidade, operabilidade, portabilidade, eficiência e entre outras apontadas na norma ISO/IEC 25010:201 – *Systems and software engineering*, a qual visa padronizar a avaliação da qualidade de produto de *software*.

O questionário foi aplicado aos próprios pesquisadores deste estudo após executar as simulações de iluminação natural. Dessa forma, foi possível comparar qualitativamente os *software* definidos para o estudo, *Insight* e *DIALux evo*.

QUADRO 1 – Questionário de Avaliação dos Experimentos

continua

<b>Questões a serem aplicadas aos pesquisadores</b> (Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente)
1 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de performar a simulação de Iluminância (LUX) de acordo com os critérios da Certificação <i>LEED v4</i> e a <i>NBR 15575</i> corretamente.
2 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de performar a simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) de acordo com os critérios da Certificação <i>AQUA-HQE</i> corretamente.
3 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de performar as simulações Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) de acordo com os critérios da Certificação <i>LEED v4</i> corretamente.
4 - Quanto à funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta cumpre as exigências de modelagem de informação (é paramétrica) e permite desenvolver ou adaptar o modelo caso necessário (é flexível).

<b>Questões a serem aplicadas aos pesquisadores</b> (Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente)
5 - Quanto à funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta é autossuficiente e não precisa de outro <i>software</i> em conjunto para solucionar o problema.
6 - Quanto à funcionalidade (interoperabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de interagir com um ou mais sistemas específicos, sem perder informações essenciais para a realização do experimento.
7 - Quanto à funcionalidade (interoperabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de interagir com um ou mais sistemas específicos, sem a necessidade de retrabalhos e adaptação da geometria do modelo BIM.
8 - Quanto à eficiência (comportamento em relação ao tempo) da ferramenta utilizada, esta permite uma execução rápida que possibilita testar diversas soluções.
9 - Quanto à eficiência (comportamento em relação aos recursos) da ferramenta utilizada, esta é capaz de executar suas funcionalidades em computadores de performance intermediária.
10 - Quanto à usabilidade (apreensibilidade, atratividade e operabilidade) da ferramenta utilizada, esta é intuitiva, atrativa e permite que o usuário a opere e controle.
11 - Quanto à portabilidade (adaptabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser adaptada a ambientes diferentes sem a aplicação de ações ou outros meios que não aqueles previamente estabelecidos – exemplo: ferramentas que funcionam <i>online</i> , na <i>web</i> .
12 - Quanto à portabilidade (facilidade de instalação) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser instalada num ambiente específico com facilidade.
13 - Quanto à portabilidade (coexistência) da ferramenta utilizada, esta é capaz de coexistir com outro <i>software</i> no mesmo ambiente e compartilhar recursos – exemplo: aplicativos e <i>plugins</i> .

FONTE: Os autores (2021)

Ressalta-se que as três primeiras questões do questionário abordam a funcionalidade (adequação e acurácia) relacionadas a norma de desempenho e os sistemas de certificação *LEED* e *AQUA-HQE*. O QUADRO 2 descreve os indicadores exigidos em cada sistema de avaliação, seus conceitos e quais podem ser obtidos utilizando o *DIALux evo* e o *Insight®*.

Contextualizando, a Norma de Desempenho NBR 15575 exige a avaliação do nível de iluminância (LUX) em quatro horários do ano (23/4 e 23/10, às 9:30 e 15:30). No *LEED v4*, existem 2 opções de simulação para pontuar no quesito luz natural: opção i) simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural e Exposição Anual à Luz Solar (2 a 3

pontos) e, opção ii) simulação de cálculo de Iluminância – LUX (1 a 2 pontos). Enquanto isso, a simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) é requisito para a obtenção de 1 a 2 pontos extras no processo de certificação *AQUA-HQE* de edificações residenciais e de 1 a 5 pontos para edificações não-residenciais. No entanto, a pontuação só é obtida caso o resultado siga as condições estabelecidas nos referenciais de avaliação da qualidade ambiental do *AQUA-HQE*.

Espera-se propor um método replicável em escritórios de projetos para desenvolvimento de edificações sustentáveis. Além disso, esperamos discutir a aplicação do método proposto no processo de Certificações Ambientais (*LEED* e *AQUA-HQE*) e, se o mesmo, seguiu os padrões estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013) conforme proposto. Por fim, visa-se destacar as limitações e benefícios da aplicação da Modelagem BIM em simulações computacionais para análises de iluminação e suas tendências.

QUADRO 2 – Simulações executadas em cada ferramenta e relacionadas com as exigências da norma e sistemas de certificação

Sistema ou Norma	Indicadores	Conceito	Insight	DIALux
NBR 15575	Nível de Iluminância	Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero.	X	X
LEED v4	opção i	Autonomia Espacial da Luz Natural (sdA)	X	Não executa
		Exposição Anual à Luz Solar (ASE)	X	Não executa
	opção ii	Nível de Iluminância	Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero.	X
<i>AQUA-HQE</i>	Fator de Luz Diurna (FLD)	Relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra.	X	X

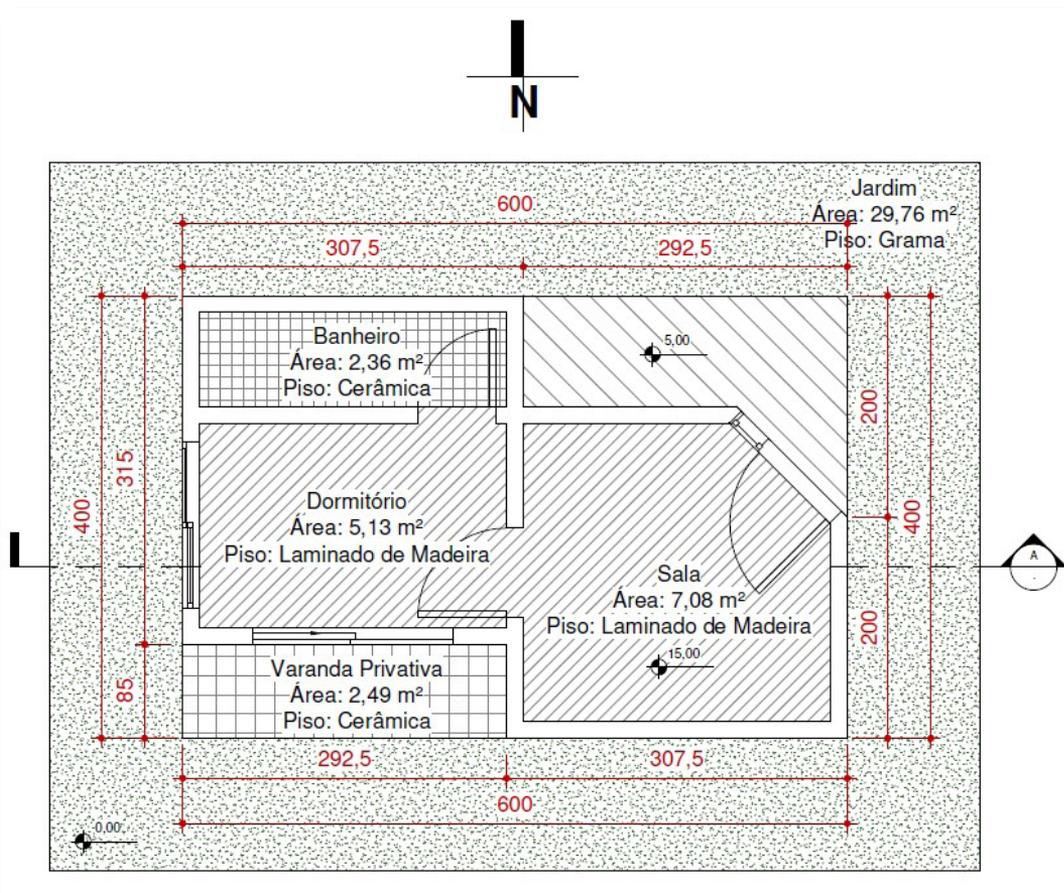
FONTE: Os autores (2021)

## 2.2 DEFINIÇÃO DO PROJETO BIM

Os experimentos foram realizados no projeto de uma casa unifamiliar modelada em BIM, concedida pelo Prof<sup>o</sup> MSc. Augusto Pimentel. O projeto (FIG. 1 e FIG. 2), consiste em uma casa com três cômodos e duas varandas, sendo sala, dormitório, banheiro, varanda frontal e varanda privativa. Ao todo a casa possui aproximadamente 20 m<sup>2</sup> de área interna e possui a forma próxima à de dois quadrados, com uma cobertura inclinada. Suas paredes são de alvenaria 14 cm com acabamento externo e interno de pintura simples, e os pisos são laminados de madeira e cerâmica nas áreas úmidas.

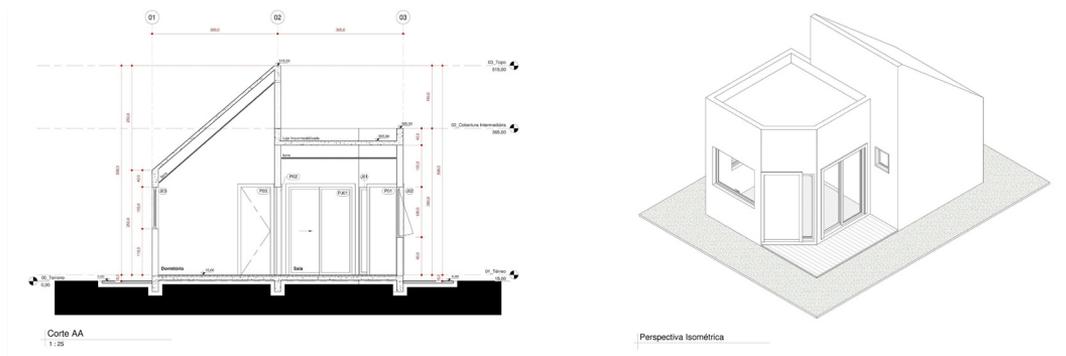
Vale ressaltar que embora o experimento seja realizado em um projeto de habitação unifamiliar, é possível analisar se a ferramenta apresenta, ou não, os resultados necessários/solicitados nas certificações *LEED* e *AQUA-HQE* para edificações não-residenciais também.

FIGURA 1 – Planta baixa do projeto utilizado nos experimentos



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 2 – Corte longitudinal e perspectiva isométrica do projeto utilizado nos experimentos



FONTE: Os autores (2021)

A TAB. 1 apresenta as características principais das superfícies internas. O vidro é do tipo comum incolor, com transmissão luminosa de 90%.

TABELA 1 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional

Superfícies internas	Refletância solar [-]
Forro Pintura Branca	0,70
Parede Pintura Branca	0,70
Piso de Madeira Laminada	0,30
Parede e Piso de Cerâmica	0,80

FONTE: Os autores (2021)

As simulações foram realizadas considerando a localidade de Curitiba (Latitude: 25° 25' 42" Sul, Longitude: 49° 16' 24" Oeste). O plano de trabalho foi definido a uma altura aproximada de 0,75 cm ou 30 polegadas acima do pavimento térreo. Frisa-se que o objetivo da realização das simulações foi avaliar o processo e a qualidade de produto do *software Insight®* e *DIALux evo*, e não o projeto em si.

## 2.3 FERRAMENTA PARA MODELAGEM DOS PROCESSOS

Nesta pesquisa, foi utilizada a versão mais recente do *Business Process Model and Notation – BPMN™ 2.0* (OMG; PARIDA; MAHAPATRA; 2011) como forma de esclarecer e modelar os processos necessários para realizar a simulação de cada *software*, facilitando a comparação da eficiência entre as ferramentas utilizadas.

O objetivo do *BPMN* é auxiliar os usuários, empresários e empreendimentos com a aplicação de técnicas para a modelagem de processos de negócios, fornecendo uma notação que é intuitiva e capaz de representar semânticas de processos complexos (VON ROSING, 2015). A especificação *BPMN* também fornece semântica de execução,

bem como mapeamento entre os gráficos da notação e outras linguagens de execução, particularmente *Business Process Execution Language (BPEL)*, em português, Linguagem de Execução de Processos de Negócios (WHITE, 2004). Esse tipo de modelagem permite que a representação de processos seja feita por meio de símbolos e ícones padronizados. Seu objetivo consiste em delimitar o processo realizado dentro da empresa ou serviço, detalhando e promovendo o entendimento das etapas necessárias para que elas possam ser reproduzidas por qualquer pessoa de forma correta e eficiente, e, da mesma forma, controlar os processos envolvidos e identificar os pontos críticos, para que, posteriormente, possam ser efetuadas melhorias neles.

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados da pesquisa serão apresentados em tópicos subdivididos por *software*, *Insight*<sup>®</sup> e *DIALux*, respectivamente. Dentro disso, cada simulação será analisada e o processo de execução e sequência das atividades (“passo-a-passo”) serão descritos. Questões referente ao atendimento da Norma de Desempenho e das certificações *LEED* e *AQUA-HQE* também serão discutidas. Entende-se que a partir dessa organização, os processos necessários para cada simulação poderão ser melhor apresentados e compreendidos. Em seguida, a comparação entre os *softwares* será demonstrada por meio de uma tabela, a fim de comparar o processo, resultados, benefícios e limitações dos *softwares* estudados; e a partir da apresentação do questionário aplicado aos pesquisadores deste estudo, como forma de avaliar qualitativamente ambos os *softwares* utilizados.

#### 3.1 INSIGHT

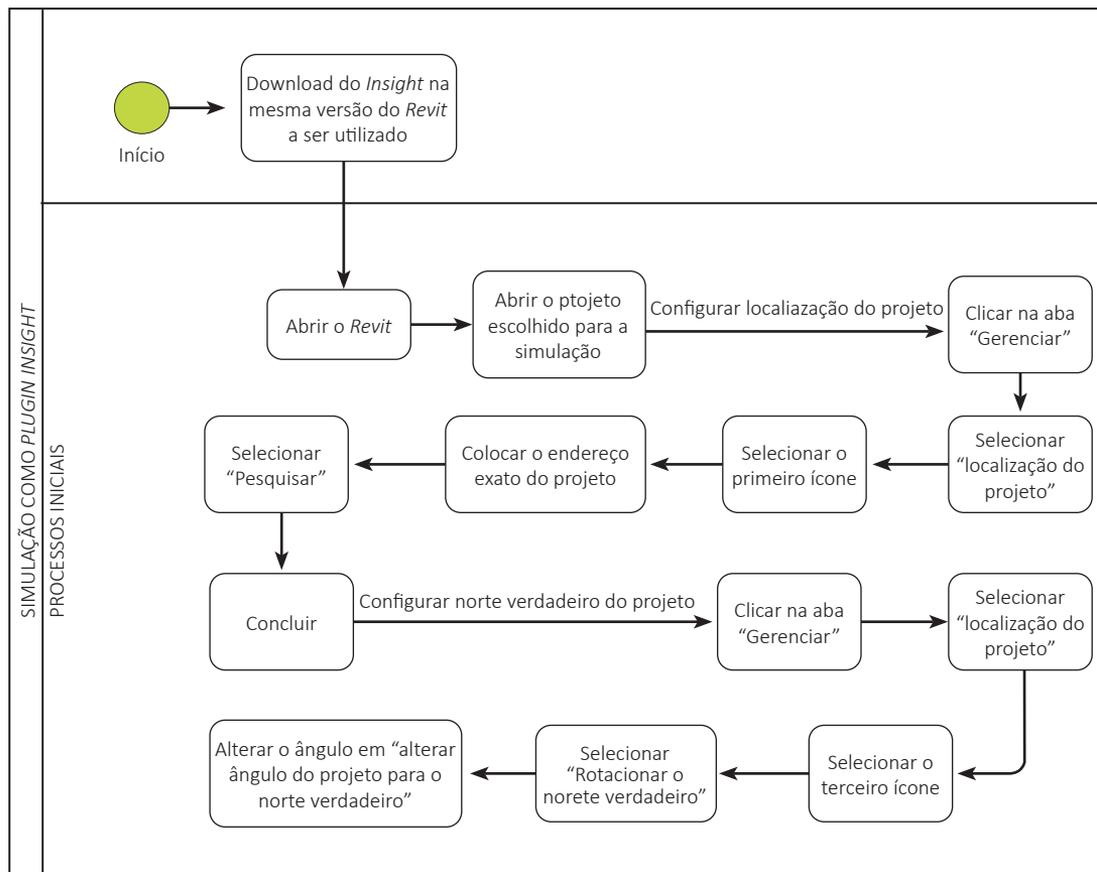
O *Insight*<sup>®</sup> é um *plugin* desenvolvido pela *Autodesk* para utilização dentro do *software* BIM *Revit*<sup>®</sup> da mesma desenvolvedora, o que facilita o processo por utilizar apenas um programa. O *plugin* pode ser baixado de forma gratuita no site oficial da *Autodesk* de acordo com a versão do *Revit*<sup>®</sup> instalada no computador. Para executar a simulação de iluminação natural é necessário que o projeto esteja em um formato apropriado no *Revit*<sup>®</sup>. Para fins educacionais, ambos são gratuitos, incluindo as simulações. No entanto, para uso profissional, o *Revit*<sup>®</sup> apresenta um custo de licença relativamente alto, enquanto o *Insight*<sup>®</sup> cobra um valor para cada simulação executada.

Nos subitens a seguir, será apresentada uma descrição contemplando os: i) processos iniciais; ii) simulação de Iluminância; iii) simulação de Fator de Luz Diurna, iv) simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural e Exposição Anual à Luz Solar, e v) opções de visualização e estilos das simulações.

### 3.1.1 Processos Iniciais

Para executar qualquer uma das simulações no *Insight*<sup>®</sup>, deve-se seguir alguns processos iniciais (FIG. 3).

FIGURA 3 – Modelo dos processos iniciais a serem executados antes das simulações



FONTE: Os autores (2021)

Primeiro, definem-se as informações de localização, o norte verdadeiro, a hora e dia, a fim de obter os resultados desejados corretamente. Conforme apresentado na TAB. 1, os materiais devem estar definidos com suas específicas propriedades: nos materiais opacos, a aparência deve estar definida conforme o número da cor genérica adequada com a sua refletância solar e a refletividade, caso existir, também deverá ser especificada; para materiais transparentes, apenas a aparência da vidraça deve estar definida conforme sua coloração e tipo.

Após estes procedimentos e verificações, executa-se a simulação propriamente dita. Os resultados da simulação aparecem no *Revit* como forma de vista e podem ser extraídos como planta-baixa e tabela quantitativa. Ao final da simulação, foi possível

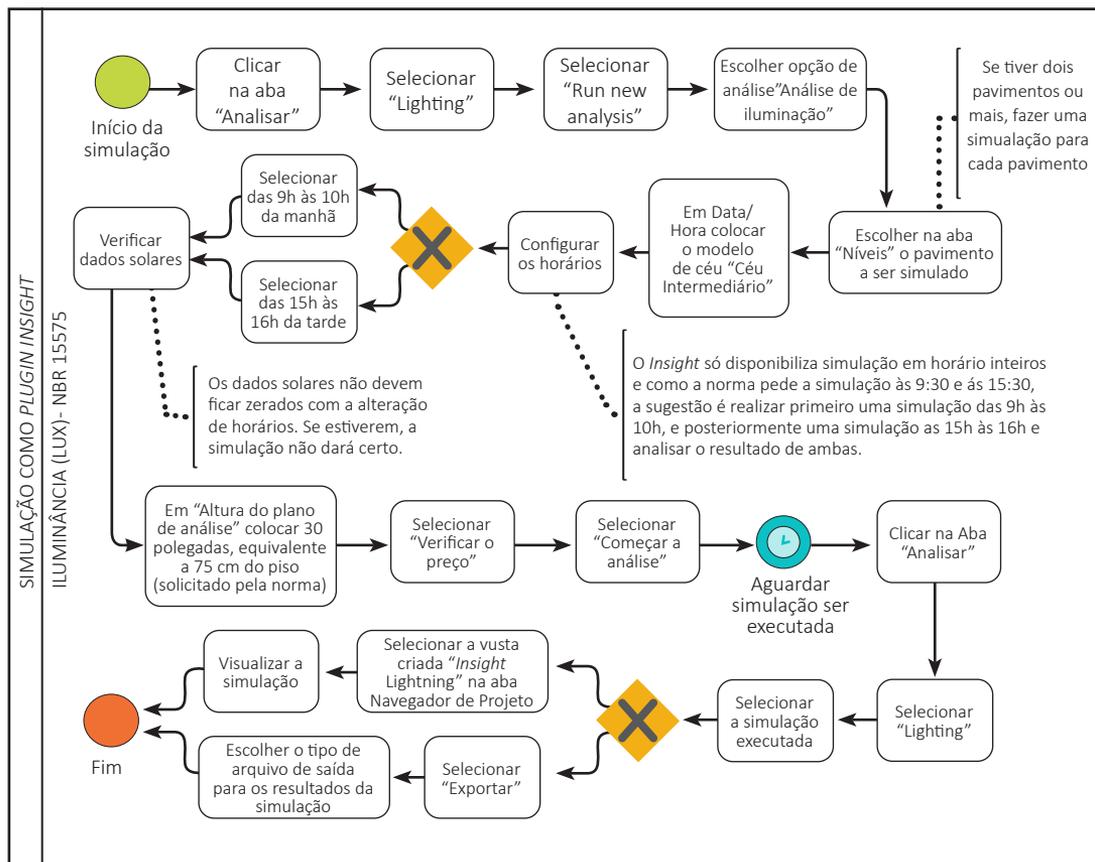
verificar que a preparação dela é simples – desde que preste atenção para inserir os horários diurnos na simulação – e com possibilidade de alteração no projeto, se necessário, para mais simulações sequenciadas.

Para cada simulação a ser executada, alterações no dia e hora podem ser necessárias, de acordo com as exigências de cada norma ou certificação. Para atualizar a simulação após modificações no projeto, é necessário executá-la novamente repetindo os procedimentos, exceto pela localização e norte verdadeiro que se mantêm alterados.

### 3.1.2 Iluminância (LUX)

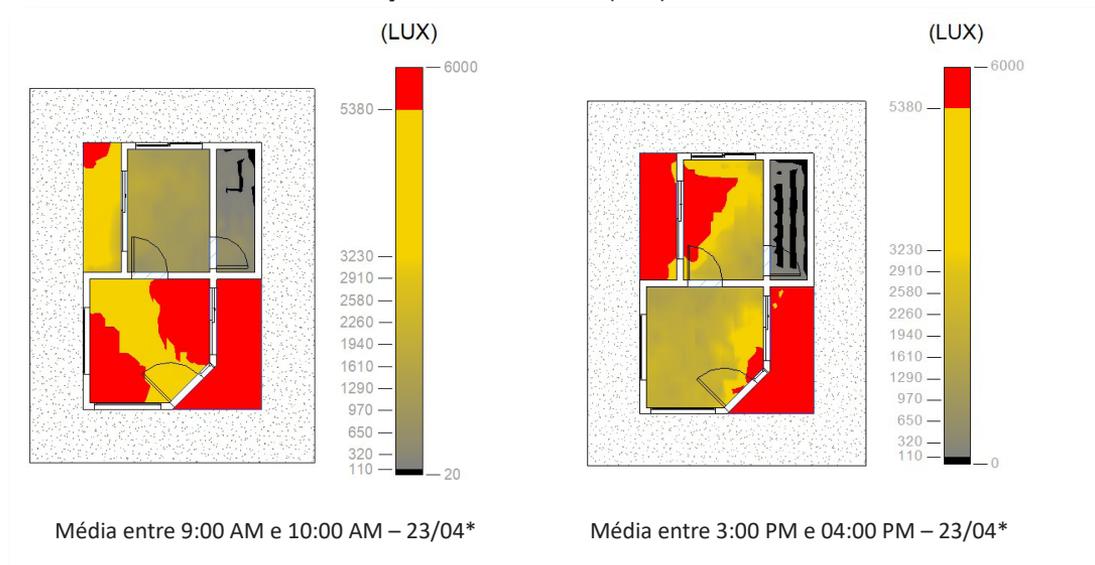
Para realizar a simulação de iluminância que atenda à Norma de Desempenho (NBR 15575) e à segunda opção do *LEED* v4, deve-se seguir os processos iniciais já apresentados na FIG. 3. Para a simulação que atende à NBR 15575, deve-se seguir o passo a passo representado pela FIG. 4. No *Revit*<sup>®</sup>, na aba “Analisar”, selecione a opção “Lighting” para abrir a aba do *Insight*<sup>®</sup>. Para uma nova simulação, selecione a opção “Run new analysis” e selecione a opção “Análise de iluminação”. Em seguida, o nível a ser analisado deve ser escolhido na aba “Níveis” (Para projetos com mais de um pavimento, a simulação deve ser repetida para cada nível individualmente). Na aba “Data/hora”, a opção “Céu Intermediário” deve ser selecionada junto ao horário e dia. Como o *plugin Insight*<sup>®</sup> permite apenas a simulação para horários inteiros, seguiu-se a sugestão de Queiróz (2019) de simular horários das 9 e 10 horas da manhã e das 15 e 16 horas da tarde, permitindo assim fazer uma média entre os resultados nesses horários. A FIG. 5 apresenta os resultados da média dos níveis de iluminância para ambos os horários do dia 23/4, como forma de exemplificar a aplicabilidade da ferramenta para os critérios da Norma. Ressalta-se que os dados solares devem ser conferidos, pois, se eles estiverem zerados, a simulação não funcionará. Após a aplicação deles, em “Altura do plano de análise”, deve-se colocar 30 polegadas (equivalente à 75 cm do piso) conforme solicitado pela Norma. Posteriormente a opção “Verificar preço” e “Começar análise” devem ser selecionadas para o início da simulação. Depois de aguardar a simulação, ela pode ser visualizada na aba “Analisar” e “Lighting” do *Revit*<sup>®</sup>. Para visualizar os resultados, é necessário selecionar a vista criada no navegador de projetos do *software*, nomeada como “*Insight Lighting*”. Para exportar os resultados da análise, deve-se selecionar a opção “Exportar”, sendo possível visualizar os resultados em diversos tipos de arquivos.

FIGURA 4 – Modelo dos processos para a simulação de Iluminância (LUX) – NBR 15575



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 5 – Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575

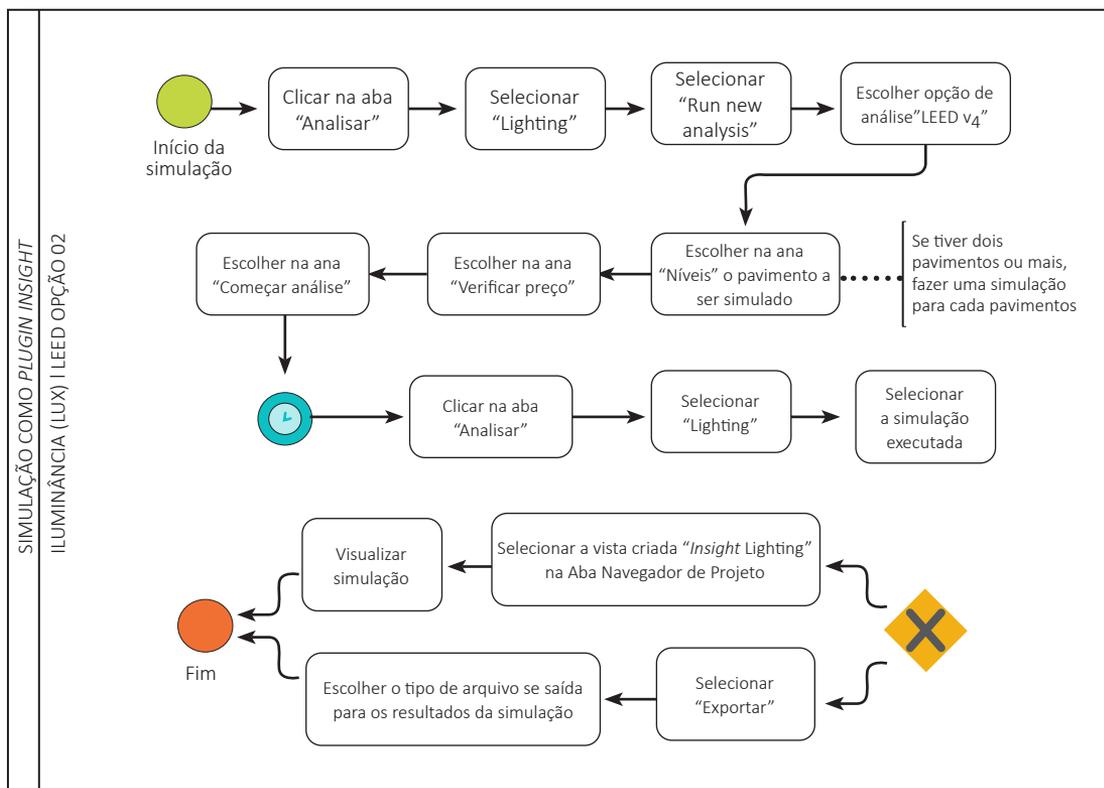


FONTE: Os autores (2021)

\*Queiróz (2019)

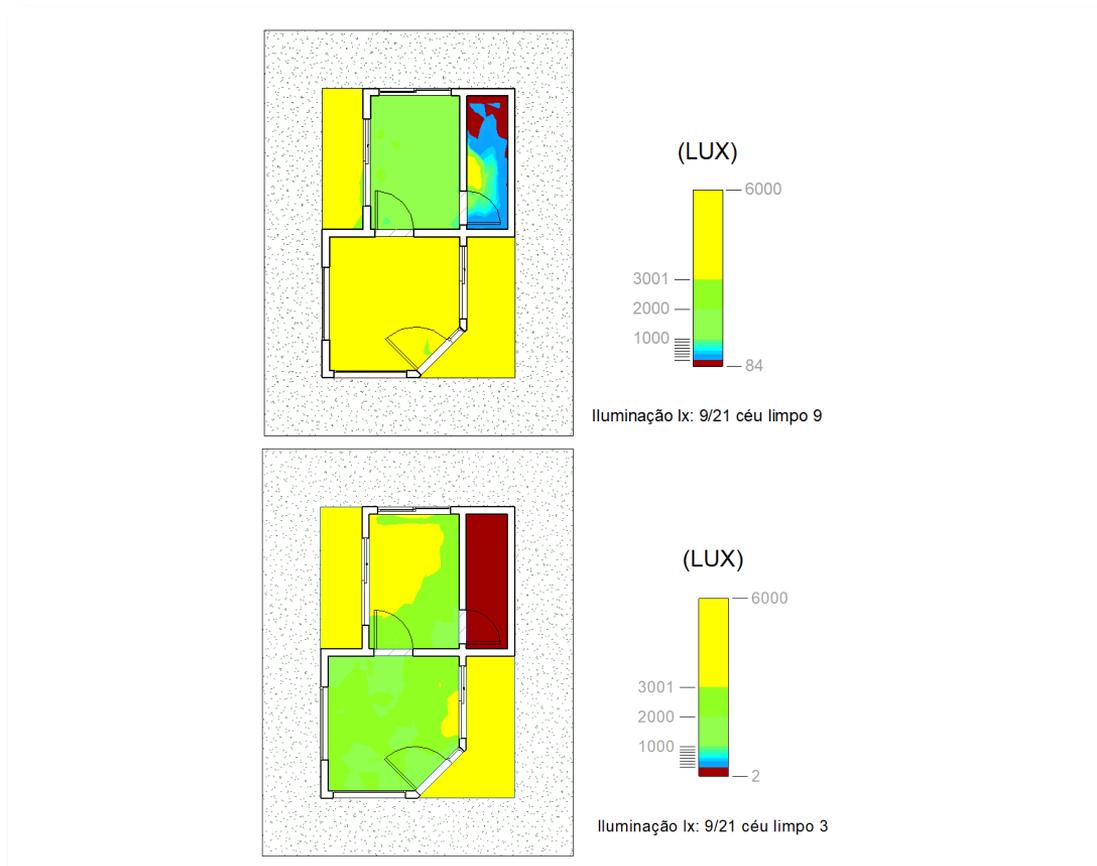
Para a realização da simulação que atenderá à opção 2 da certificação *LEED*, o procedimento é similar, sendo o mesmo processo até a escolha do tipo de simulação na janela do *Insight*®, a qual deve ser selecionada “Autonomia de Luz Natural” nessa situação, conforme representado da FIG. 7. Após a escolha da simulação e do nível a ser simulado, o *plugin* já possui configurado os parâmetros de dia e hora, e tipo de céu automáticos conforme as instruções do *LEED*: céu limpo (fator de nebulosidade); dia 21 de setembro; às 9:00 AM e 3:00 PM. O projeto aplicado neste estudo demonstrou não ter alcançado o nível de aprovação mínimo exigido, e por isso a pontuação obtida no processo de certificação *LEED* teria sido zero. A forma de visualização da simulação ocorre da mesma forma que a visualização para atendimento à NBR 15575, porém neste caso, o programa oferece também um resumo dos resultados para análise mais rápida da pontuação obtida no *LEED* de acordo com os resultados logo após a simulação ser executada.

FIGURA 6 – Modelo dos processos para a simulação de Iluminância (LUX) – *LEED* v4 EQc7 opção 2



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 7 – Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 opção 2

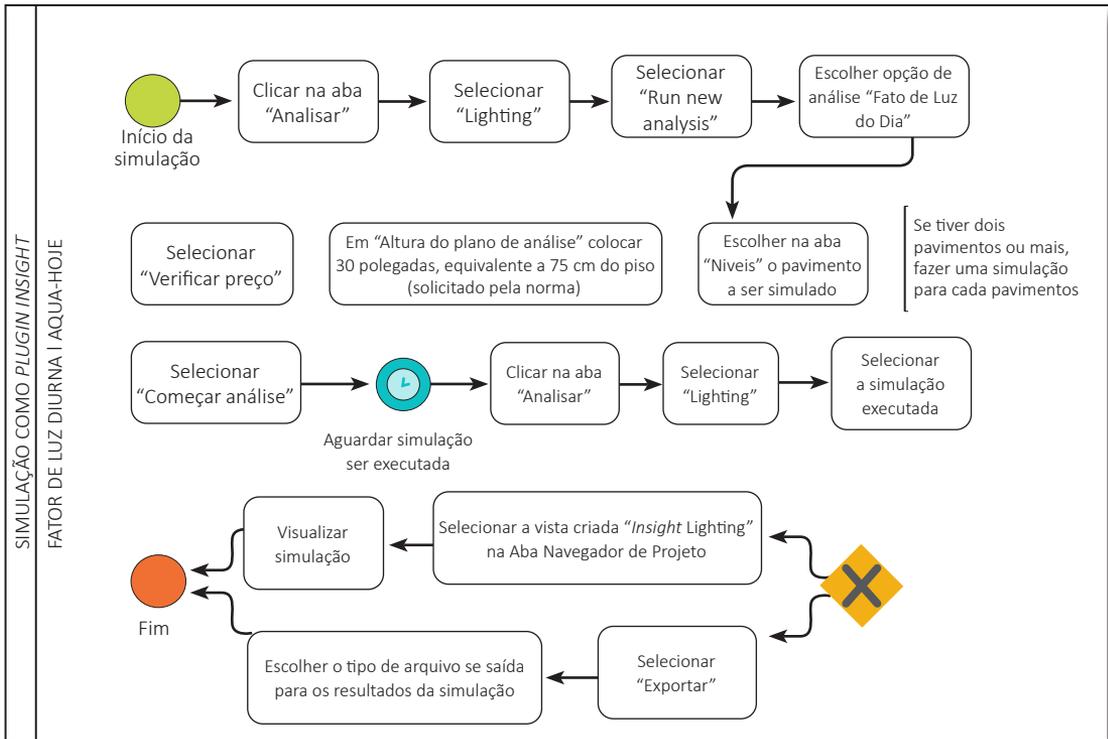


FONTE: Os autores (2021)

### 3.1.3 Fator de Luz Diurna (FLD)

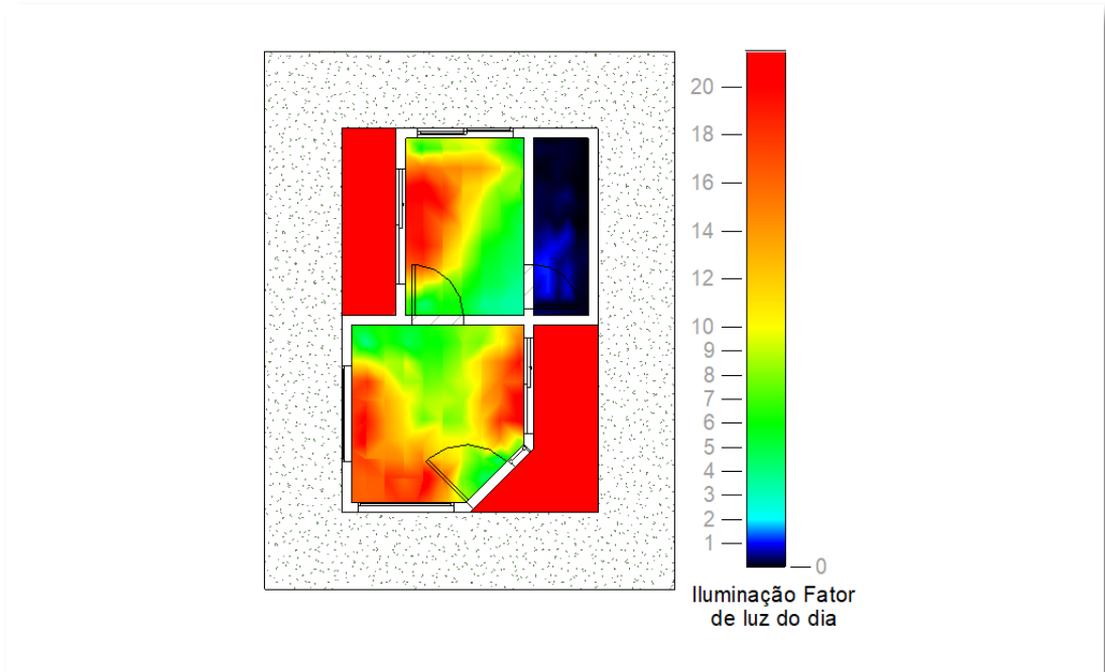
Para realizar a simulação do cálculo de FLD, o qual é dado pela relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra, deve-se selecionar a aba “Analisar” e a opção “Lighting”. Nesse caso, deve-se selecionar “Run new analysis”, selecionar a opção de simulação “Fator de Luz do Dia” e escolher o nível a ser simulado, conforme representado na FIG. 8. No local “Altura do plano de análise”, a certificação solicita que seja colocado 30 polegadas (equivalente a 75 cm). Após esses procedimentos, a simulação pode ser realizada selecionando “Verificar preço” e em seguida “Começar análise”. Assim como nas demais simulações, ela pode ser visualizada selecionando a aba “Analisar”, a opção “Lighting” e escolhendo a opção que condiz à simulação realizada. Posteriormente, para obter os resultados, tem-se como opção a visualização da planta, que pode ser acessada selecionando a vista criada no navegador de projetos do *software* nomeada como “*Insight Lighting*” ou a exportação dos resultados (FIG. 9) da análise.

FIGURA 8 – Modelo dos processos para a simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) – AQUA-HQE



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 9 – Resultado da simulação de Fator de Luz Diurna no *Insight* conforme o *AQUA-HQE*

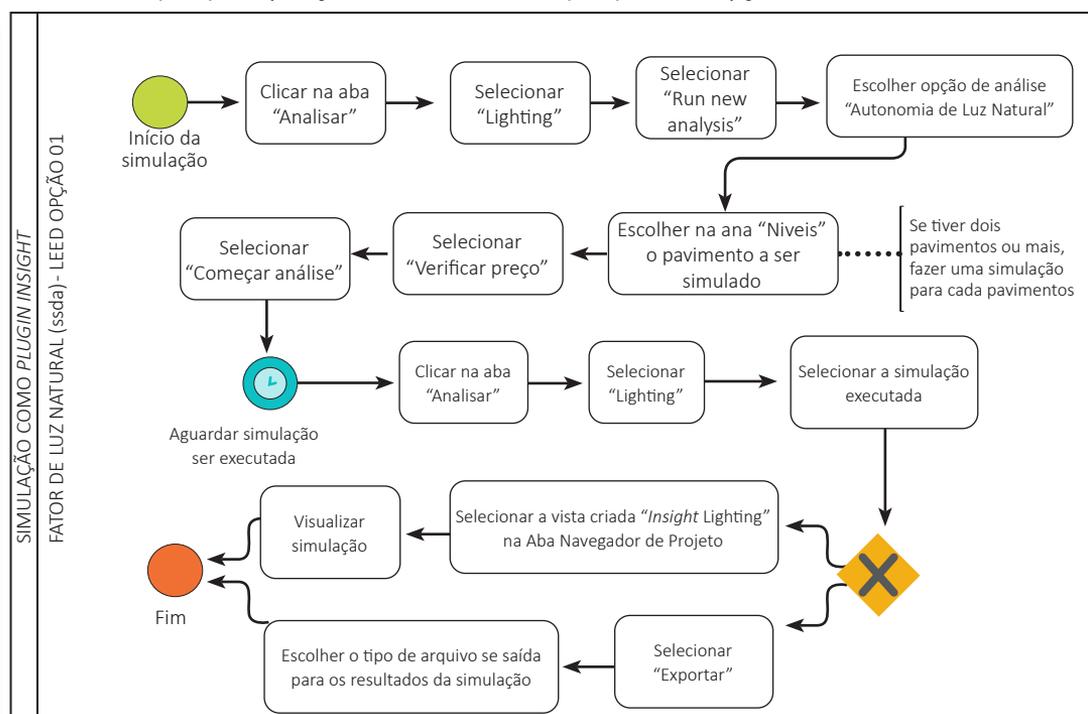


FONTE: Os autores (2021)

### 3.1.4 Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE)

A simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) é a opção 1 para atendimento à certificação *LEED*. Para realizar essa simulação no *plugin*, após os processos iniciais executados, conforme apresentado na FIG. 10, deve-se selecionar a aba “Analisar”, escolher a opção “Lighting” e selecionar “Run new analysis”, como nas demais simulações. Em seguida, seleciona-se a opção “LEED v4”. O *Insight*® já possui os dados correspondentes ao o que o *LEED* solicita para a simulação, assim basta selecionar “Verificar preço” e em seguida “Começar análise”. A visualização dos resultados podem ser também visualizados na planta criada no navegador de projetos do *software*, nomeada como “*Insight Lighting*” ou pela exportação dos resultados em um tipo de arquivo escolhido, por meio da opção “Exportar” após a escolha da simulação na janela do *plugin*. A primeira opção de visualização da análise pela vista criada corresponde à simulação da Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA), sendo possível a alteração para Exposição Anual à Luz Solar (ASE) seguindo os passos de visualização presentes no tópico 3.1.5 desta pesquisa.

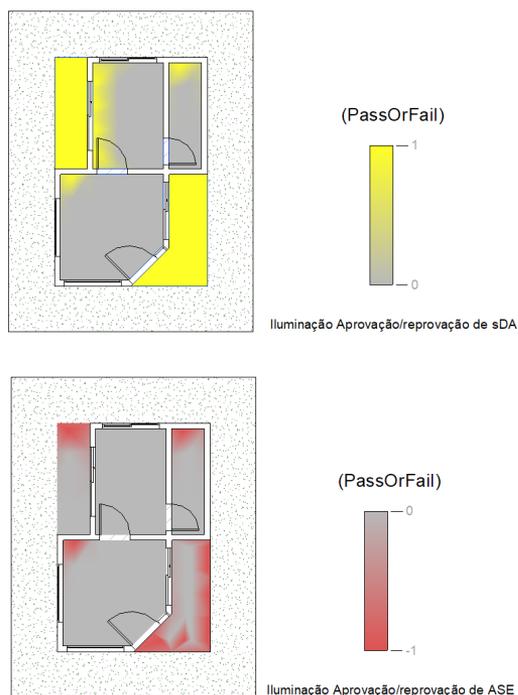
FIGURA 10 – Modelo dos processos para a simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) – *LEED* opção 1



FONTE: Os autores (2021)

A FIG. 11 apresenta as análises de simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) no *Insight*®. Ressalta-se que o projeto aplicado neste estudo novamente demonstrou não ter alcançado o nível de aprovação mínimo exigido para esta opção, e por isso a pontuação obtida no processo de certificação *LEED* teria sido zero.

FIGURA 11 – Resultados da simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural e Exposição Anual à Luz Solar de acordo com os critérios do *LEED* v4 EQc7 opção 1

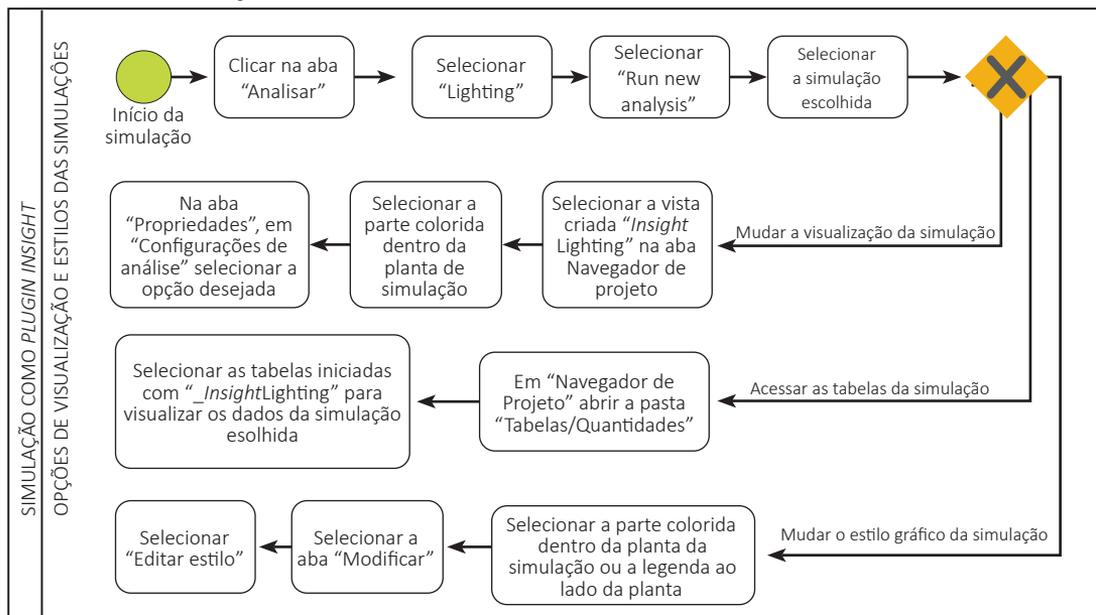


FONTE: Os autores (2021)

### 3.1.5 Opções de Visualização e Estilos das Simulações

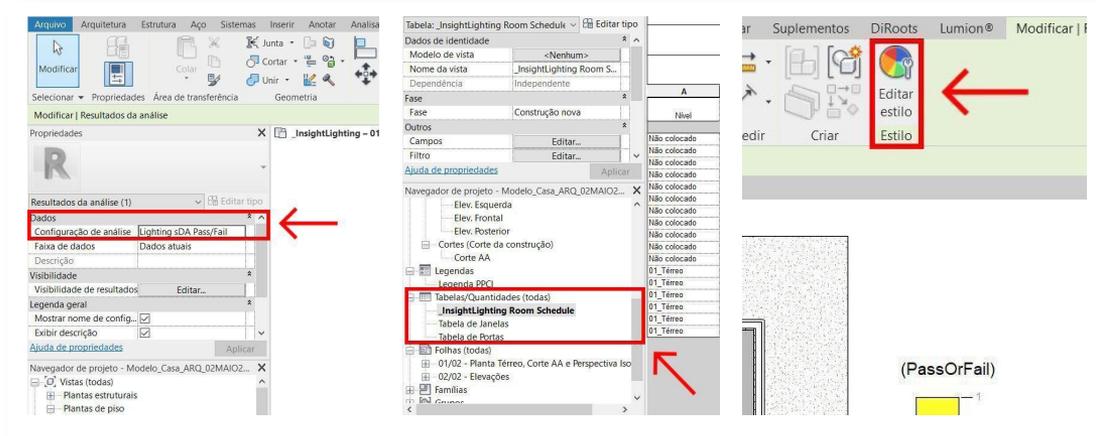
Após as simulações, o *Insight*® permite a aplicabilidade de estilos e mudanças na visualização, seguindo os passos apresentados na FIG. 12. Primeiramente, deve-se selecionar a aba “Analisar”, escolher a opção “Lighting” e em seguida selecionar a simulação desejada. Para alterar o tipo de visualização da simulação, deve-se selecionar a vista criada no “Navegador de projetos” do *Revit*®, nomeada como “*Insight* Lighting”, selecionar a parte colorida do interior da planta e, em seguida, selecionar “Configuração de análise” na aba Propriedades do *software* (FIG. 15). Conforme a simulação realizada, aparecerão opções diferentes de visualização nesta aba para a escolha.

FIGURA 12 – Modelo dos processos para alterar o tipo de visualização ou estilos gráficos das simulações no Revit



FONTE: Os autores (2021)

A FIG. 13 mostra como acessar as tabelas da simulação após a escolha da simulação desejada, é necessário abrir a pasta “Tabelas/Quantidades” em “Navegador de projetos” e selecionar as tabelas iniciadas com “\_InsightLighting” para acessar os dados referentes à simulação executada. Por fim, para alterar o estilo gráfico das simulações após escolher a simulação desejada, deve-se selecionar a área colorida na parte interna da planta localizada em “Navegador de projetos” (nomeada como “Insight Lighting”) e clicar na aba “Modificar” na parte superior da tela. Em seguida, seleciona-se “Editar estilo” conforme representado. FIGURA 13 – Local para alterar o tipo de visualização, acessar tabelas de resultados e alterar o estilo gráfico das simulações, respectivamente, no Revit



FONTE: Os autores (2021)

## 3.2 DIALUX

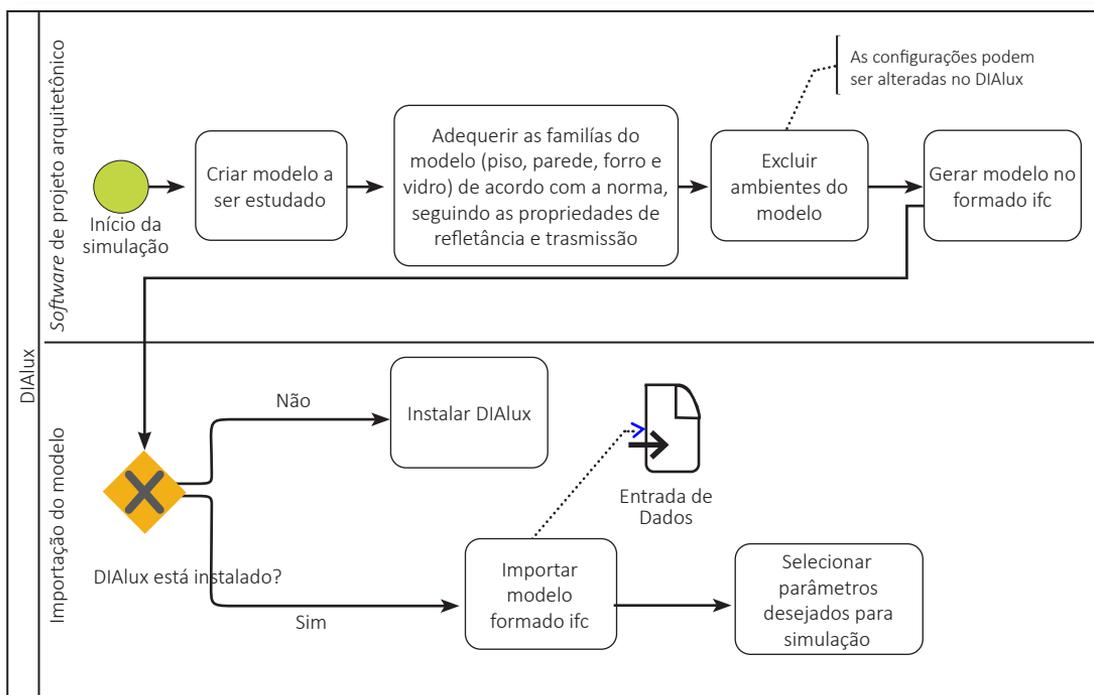
O DIALux é um *software* gratuito e universal de luminotécnica desenvolvido pela DIAL. O programa permite diversas simulações a respeito de iluminação e, além de seu acesso ser facilitado, a associação a um programa BIM também é possibilitada. Dentro do *software*, para cada simulação, deve-se alterar horário e tipo de céu. Ressalta-se que esta ferramenta não realiza simulações de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE). Por tanto, para a certificação *LEED v4*, apenas a opção 2 (nível de iluminância) pode ser realizada. Assim, nos tópicos a seguir serão abordados os seguintes itens: i) processos iniciais; ii) Iluminância; e, iii) Fator de Luz Diurna.

### 3.2.1 Processos Iniciais

Para a realização de simulação lumínica no DIALux através de um modelo IFC, este deve ser criado em um *software* de modelagem de projeto arquitetônico e ter suas famílias (como pisos, paredes, vidros e forros) adequadas a norma, seguindo as propriedades de refletância e transmissão luminosa. Antes de gerar o modelo IFC, os seus ambientes devem ser excluídos. Sugere-se exportar o arquivo utilizando a versão e configuração do tipo “Vista de coordenação IFC 2x3 2.0”.

Assim que o modelo em IFC for importado para o *software*, deve ser selecionada, na caixa de seleção, os parâmetros e ambientes a serem importados junto ao modelo. Caso exista a necessidade de deletar, alterar materiais ou inserir itens no projeto, o usuário, antes de iniciar a simulação, deve ir até a aba “Construção”. Para deletar, basta selecionar o item e apertar “Delete”. Para editar, em “Materiais”, deve-se abrir o catálogo de materiais pré-estabelecidos, selecionar o desejado e apertar em “Aplicar”. Para inserir um novo item, como uma abertura, ainda na aba “Construção” em “Aberturas da edificação”, deve-se selecionar o modelo desejado, definir suas dimensões e posicionamento, por fim, clicar em “Selecionar” e posicionar o item no local desejado. A FIG. 14 apresenta os processos necessários para a importação do modelo e os processos iniciais das simulações.

FIGURA 14 – Modelo dos processos iniciais e importação do arquivo IFC

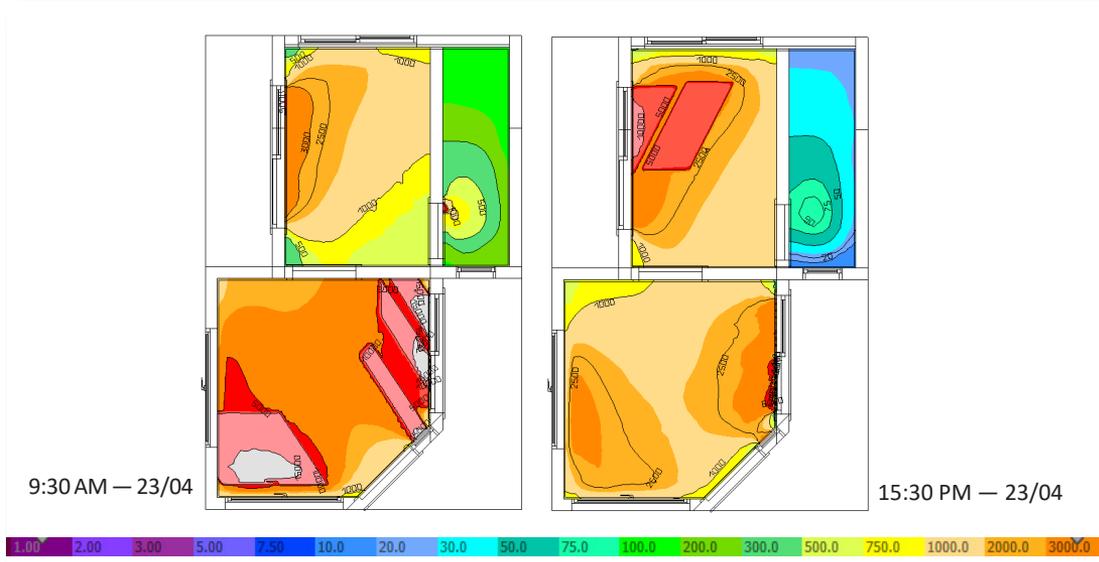


FONTE: Os autores (2021)

### 3.2.2 Iluminância (LUX)

Para iniciar a simulação de iluminância, o usuário deve ir a aba “Construção”, na opção “Local” e “Alinhamento”, após isso, selecionar a localização e fuso horário desejados. Após selecionar os dados necessários, o usuário deve ir a aba “Luz”, alterar o “Modelo de céu” e “Data e hora” a fim de realizar a simulação com as informações desejadas. Para as exigências da Norma de Desempenho NBR 15575, a avaliação de iluminância foi realizada em quatro horários do ano (23/4 e 23/10, às 9:30 e 15:30), considerando a nebulosidade do céu média (intermediária) e a altura de 0,75m. A FIG. 15 apresenta os resultados obtidos para NBR 15575.

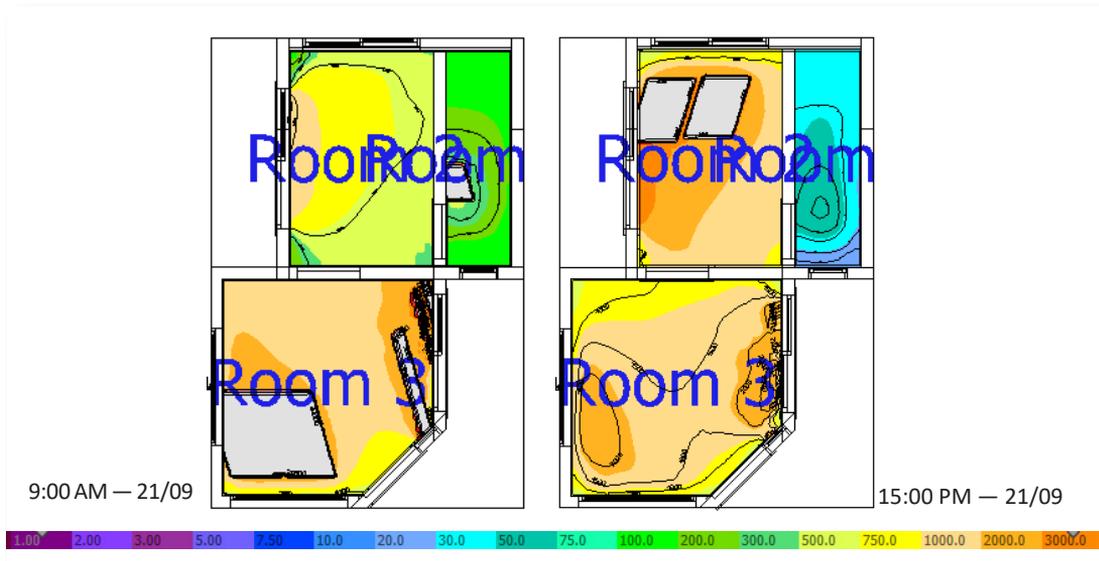
FIGURA 15 – Resultados da simulação de iluminância (LUX) no DIALux conforme a NBR 15575



FONTE: Os autores (2021)

Já para a simulação de opção 2 do *LEED v4*, a avaliação foi realizada em dois horários do ano (21/09, às 9:00 e 15:00), considerando o céu limpo e a altura de 0,75m. A FIG. 16 apresenta os resultados referente a certificação *LEED v4*.

FIGURA 16 – Resultados da simulação de iluminância (LUX) no DIALux conforme o *LEED v4* opção 2

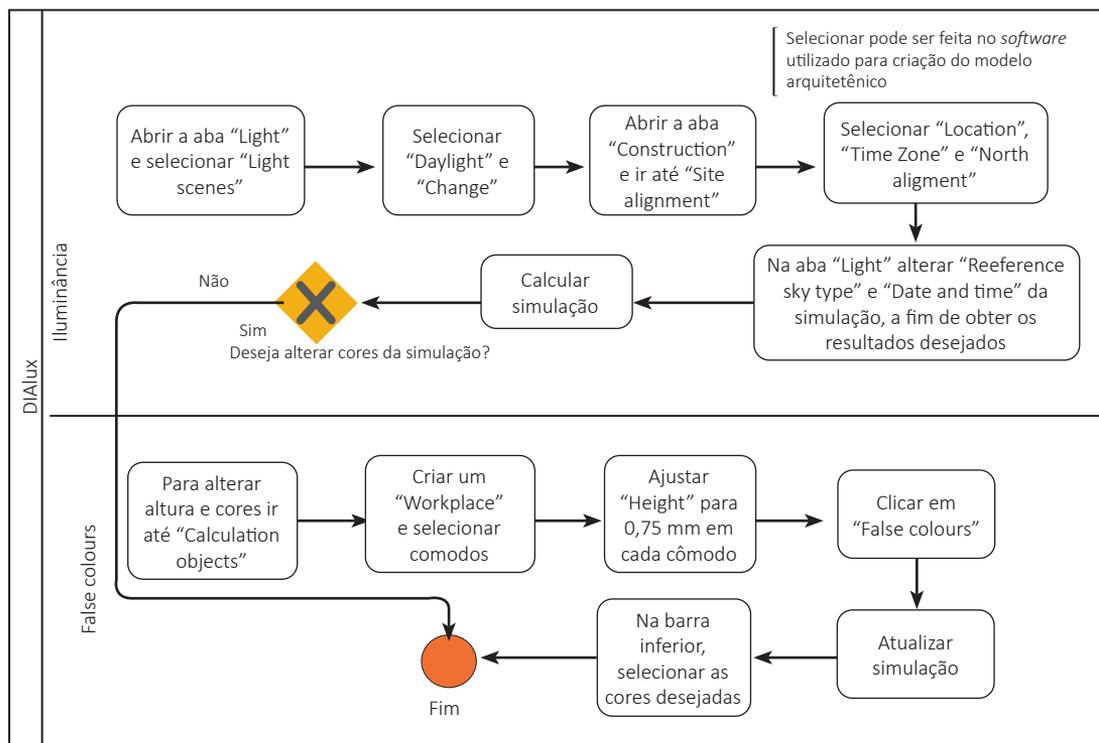


FONTE: Os autores (2021)

Para obter o gráfico de cores apresentado nas avaliações anteriores, o usuário deve ir em “Calculation objects”, selecionar os cômodos desejados e criar

um “Workplane”. Para realizar a simulação, todos os cômodos devem ter “Height” ajustada para 0,75m e, por fim, basta clicar em “False Colours”, atualizar a simulação e ajustar na barra inferior a cor desejada para avaliação, conforme demonstrado no processo da FIG. 17.

FIGURA 17 – Modelo dos processos para a simulação de Iluminância (LUX) – NBR15575 e LEEDv4



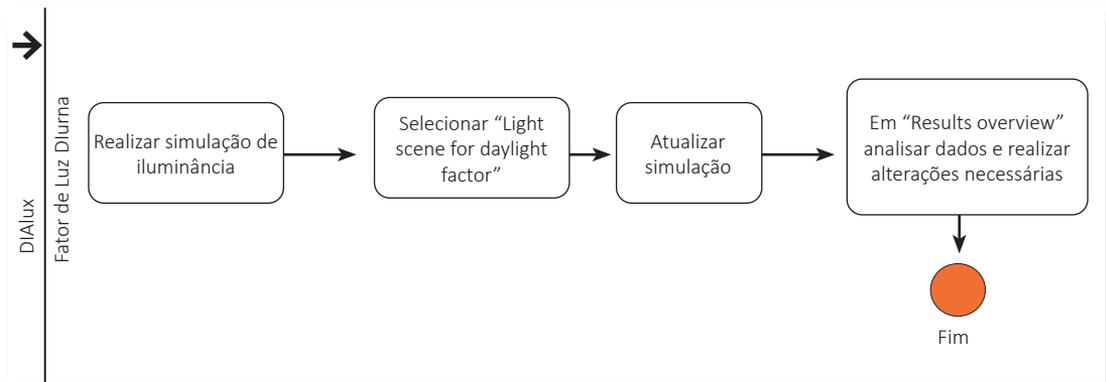
FONTE: Os autores (2021)

### 3.2.3 Fator de Luz Diurna (FLD)

A simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) é realizada a fim de se obter pontos extras na certificação *AQUA-HQE*. O cálculo considera a relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra.

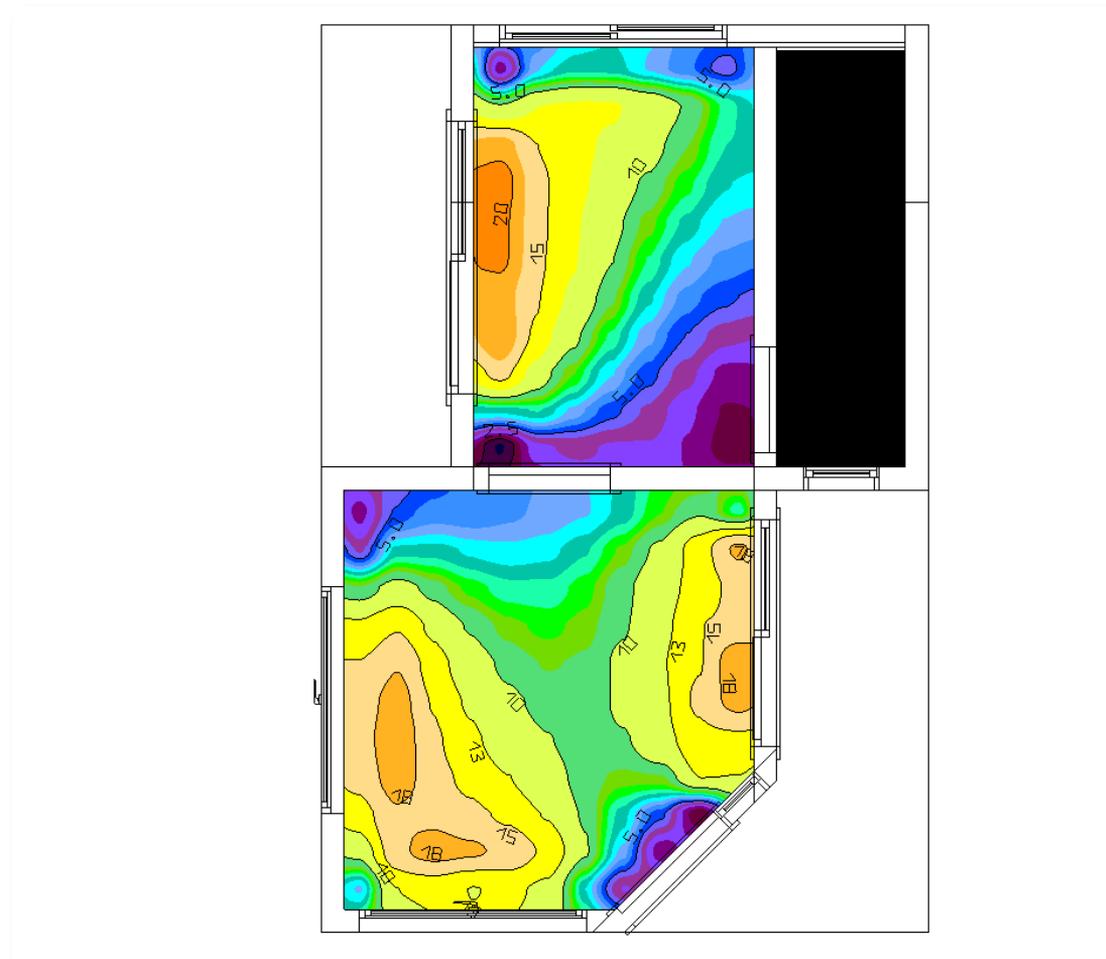
No *software* Dialux, para realizar a simulação FDL, deve-se seguir os processos iniciais para preparação do modelo e selecionar “Light scene for daylight factor” (FIG. 18). Após atualizar a simulação, em “results overview”, é possível interpretar os resultados. Para obter a mesma visualização da FIG. 19, deve-se seguir o processo de “False colours” apresentado na FIG. 17 no tópico acima.

FIGURA 18 – Modelo dos processos para a simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) – AQUA-HQE



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 19 – Resultado da simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) no DIALux conforme AQUA-HQE



FONTE: Os autores (2021)

### 3.3 COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS DE SIMULAÇÃO

O QUADRO 3 apresenta a comparação dos processos, resultados, benefícios e limitações das simulações de iluminação natural para cada ferramenta (*Insight*<sup>®</sup> e DIALux). No quesito de iluminação natural, testado na presente pesquisa, ambas ferramentas permitem que simulações estáticas sejam realizadas, o que é suficiente para executar a avaliação das pontuações no *AQUA-HQE* e no *LEED* opção 2. As ferramentas também geram os resultados solicitados para avaliação de iluminação exigida pela NBR 15575.

Cabe ressaltar que o DIALux permite executar a simulação estática – qualquer horário em um dia específico. O *Insight*<sup>®</sup> apenas aceita datas determinadas em horários inteiros (zero minutos), mas possibilita considerar dois horários diferentes ao mesmo tempo e calcula a média do resultado destes, solução que foi utilizada para seguir os critérios da Norma de Desempenho – NBR 15575.

Embora o DIALux possibilite as simulações de iluminância em horários específicos, o *Insight*<sup>®</sup> facilita o processo de verificação de atendimento das exigências do *LEED*, pois já vem com as configurações prontas para executar as simulações e, após a sua execução, apresenta um resumo dos resultados já especificando a quantidade de pontos obtidos. Além disso, o *Insight*<sup>®</sup> acaba sendo o processo mais rápido e fácil para quem já utiliza o *software Revit*<sup>®</sup>, visto que a simulação dentro da ferramenta BIM, sem a necessidade de usar outro programa.

Ainda quanto aos benefícios e limitações, vale ressaltar que para fins educacionais, tanto o *Revit* quanto o *Insight*<sup>®</sup> são gratuitos, incluindo as simulações, porém, para uso profissional, o *Revit*<sup>®</sup> apresenta um custo de licença relativamente alto e o *Insight*<sup>®</sup> cobra um valor para cada simulação executada. Em contrapartida, o DIALux é um *software* totalmente gratuito, tendo como limitação a necessidade de um modelo em IFC, gerado em outro *software* para a realização das simulações. Durante a pesquisa, viu-se que se o projeto for modelado no *software Revit*<sup>®</sup> e tiver o modelo IFC exportado para o DIALux, há a necessidade de excluir os ambientes para que a simulação ocorra de forma correta. Sobre o DIALux, foi possível concluir que o *software* não executa a simulação de Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE), opção 1 da certificação *LEED*. Entretanto, esse fato não impede a ferramenta, pois a mesma executa corretamente a análise de Iluminância, segunda opção de análise para pontuar nesta certificação.

### QUADRO 3 – Comparativo entre os *softwares* utilizados

SOFTWARE	PROCESSO	RESULTADOS	BENEFÍCIOS	LIMITAÇÕES
<i>Insight (plugin)</i> Dentro do <i>Revit</i> <sup>®</sup> ( <i>software</i> BIM)		Mais simples por não apresentar os valores exatos de LUX no ambiente.	1 - É possível executar as duas opções de simulação para pontuar no critério de luz natural do <i>LEED</i> v4; 2 - É mais prático devido a simulação ser executada em apenas um <i>software</i> .	1 - É pago; 2 - Necessita de adaptações para simular o nível de iluminância nos horários que a NBR 15575 solicita.
DIALux ( <i>software</i> /programa)	Utilização de um modelo IFC	Linhas com números exatos de LUX e relatório completo da simulação por ambiente.	É gratuito.	1 - Os ambientes do modelo devem ser excluídos no <i>software</i> de modelagem antes de ser extraído o arquivo em .IFC e importado para o DIALux evo; 2 - Não faz simulação ASE e sDA.

FONTE: Os autores (2021)

### 3.4 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO E COMPARAÇÃO QUALITATIVA

O questionário para avaliação dos experimentos foi aplicado nos dois *softwares* definidos de acordo com a revisão de literatura: *Insight*<sup>®</sup> (*plugin* do *Revit*<sup>®</sup>) e DIALux (utilizando o modelo em IFC). Os resultados desta aplicação estão disponíveis no QUADRO 4. Percebe-se que em um contexto geral, o *plugin Insight*<sup>®</sup> obteve uma melhor pontuação na classificação das questões levantadas.

QUADRO 4 – Resultados do Questionário de Avaliação Qualitativa

continua

Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente	<i>Insight (Revit)</i>	DIALux evo	Comentários
1 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de performar a simulação de Iluminância (LUX) de acordo com os critérios da Certificação <i>LEED</i> v4 e a NBR 15575.	3	5	<i>Insight</i> não executa no horário específico 9:30 e 15:30 para atender a NBR 15575.
2 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de performar a simulação de Fator de Luz Diurna (FLD) de acordo com os critérios da Certificação <i>AQUA-HQE</i> .	5	5	As duas ferramentas executam simulações de Fator de Luz Diurna.

Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente	<i>Insight (Revit)</i>	DIALux evo	Comentários
3 - Quanto à funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de realizar as simulações Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE) de acordo com os critérios da Certificação <i>LEED v4</i> .	5	1	<i>Insight</i> apresenta a pontuação final para as exigências do <i>LEED</i> . DIALux não executa simulações dinâmicas (opção 1).
4 - Quanto à funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta cumpre as exigências de modelagem de informação (é paramétrica) e permite desenvolver ou adaptar o modelo caso necessário.	5	5	Os modelos geométricos são paramétricos e podem ser modificados na própria ferramenta.
5 - Quanto à funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta é autossuficiente e não precisa de outro <i>software</i> em conjunto para solucionar o problema.	5	3	O <i>Insight</i> é um <i>plugin</i> do <i>Revit</i> , enquanto o DIALux depende de um modelo IFC exportado de outro <i>software</i> BIM.
6 - Quanto à funcionalidade (interoperabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de interagir com um ou mais sistemas específicos, sem perder informações essenciais para a realização do experimento.	3	5	O <i>Revit (Insight)</i> pode perder parâmetros de projeto quando exportado ou importado em IFC. O DIALux permite a escolha dos parâmetros na hora da importação.
7 - Quanto à funcionalidade (interoperabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de interagir com um ou mais sistemas específicos, sem a necessidade de retrabalhos e adaptação da geometria do modelo BIM.	5	4	O DIALux importa o arquivo IFC e exige algumas adaptações prévias.
8 - Quanto à eficiência (comportamento em relação ao tempo) da ferramenta utilizada, esta permite uma execução rápida que possibilita testar diversas soluções.	5	3	O DIALux exige um caminho longo para iniciar uma simulação quando comparado ao <i>Insight</i> .
9 - Quanto à eficiência (comportamento em relação aos recursos) da ferramenta utilizada, esta é capaz de executar suas funcionalidades em computadores de performance intermediária.	3	5	O <i>Revit (Insight)</i> requer um equipamento de boa performance, enquanto o DIALux funciona bem em computadores básicos e intermediários.

Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente	<i>Insight (Revit)</i>	DIALux evo	Comentários
10 - Quanto à usabilidade (apreensibilidade, atratividade e operabilidade) da ferramenta utilizada, esta é intuitiva, atrativa e permite que o usuário a operação e controle.	4	3	O DIALux é um <i>software</i> especialista em iluminação e complexo. O <i>Insight</i> é mais simplificado e <i>user-friendly</i> .
11 - Quanto à portabilidade (adaptabilidade) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser adaptada a ambientes diferentes sem a aplicação de ações ou outros meios que não aqueles previamente estabelecidos – exemplo: ferramentas que funcionam <i>online</i> , na <i>web</i> .	3	2	Ambas são ferramentas que operam no desktop de computadores. No entanto, o <i>Insight</i> tem algumas funções na <i>web</i> .
12 - Quanto à portabilidade (facilidade de instalação) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser instalada num ambiente específico com facilidade.	3	5	O <i>Insight</i> funciona dentro do <i>Revit</i> , e ambos são pagos, exceto para fins educacionais. É necessário ter o cadastro com a <i>Autodesk</i> para baixar e executar o <i>software</i> e o <i>plugin</i> . O DIALux é gratuito e simples de instalar.
13 - Quanto à portabilidade (coexistência) da ferramenta utilizada, esta é capaz de coexistir com outro <i>software</i> no mesmo ambiente e compartilhar recursos – exemplo: aplicativos e <i>plugins</i> .	5	5	Ambos são <i>open-source</i> .
SOMA	56	51	

FONTE: Os autores (2021)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tratando-se do contexto de integração de análises de iluminação e BIM, o presente estudo visa sanar o questionamento inicial: “Quais as características de um método de simulação computacional para análise de iluminação natural em projetos de edifícios sustentáveis desenvolvidos em BIM?”. Dessa forma, o objetivo do trabalho é propor um método com diretrizes para simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM. Além disso, neste trabalho foram traçados cinco objetivos específicos: i) definir as ferramentas que serão avaliadas; ii) modelar os processos de simulação; iii) estabelecer o método de avaliação; iv) comparar as ferramentas; e, v) definir qual possui o método de processo mais eficiente.

Além disso, a pesquisa visou analisar a aplicação do método proposto e sua eficiência no processo de Certificações Ambientais (*LEED* e *AQUA-HQE*) e para atendimento aos padrões estabelecidos na Norma de Desempenho (NBR 15575). Por meio de uma busca na literatura, foram coletadas informações sobre as características dos métodos já propostos e testados por outros autores a respeito do tema que auxiliaram na tomada de decisão sobre a escolha do *plugin Insight*<sup>®</sup> – que funciona dentro do *Revit* – e o *DIALux evo*. Simulações computacionais foram realizadas em ambas as ferramentas, utilizando um projeto de uma casa unifamiliar modelada em BIM com as configurações nas mesmas circunstâncias de localização, horário e tipo de céu, a fim de compará-las.

A partir das simulações, análises e respostas do questionário aplicado aos próprios pesquisadores deste estudo, conclui-se que no quesito de iluminação natural, ambos *softwares* permitem calcular os níveis de Iluminância (LUX) geral para iluminação natural e os resultados de Fator de Luz Diurna (FLD). Contudo, o *DIALux evo* apenas permite executar a simulação estática – horário dia específico –, enquanto o *Insight*<sup>®</sup> possibilita também executar análise espacial e anual (sDA e ASE), de acordo com a opção 1 do critério de luz natural do *LEED v4*. No entanto, frisa-se que isso não limita o uso do *DIALux evo*, esta ferramenta continua sendo adequada nos procedimentos especificados na opção 2 do critério de luz natural do *LEED v4*, na avaliação do *AQUA-HQE* e também para a NBR 15575. Ressalta-se que o *Insight*<sup>®</sup> *Revit*<sup>®</sup> são ferramentas pagas para fins comerciais, enquanto o *DIALux evo* é gratuito.

Comparativamente, o uso do *plugin Insight*<sup>®</sup> possui como vantagem o processo de simulação em um único local, com passos rápidos e com possibilidade de alteração no projeto, se necessário, para mais simulações sequenciadas; e já o *DIALux* depende da utilização de um modelo IFC, extraído de outro *software* de modelagem. No caso de um projeto modelado no *Revit*<sup>®</sup>, viu-se a necessidade de excluir previamente os ambientes do modelo antes de exportar o modelo IFC, o que causa uma limitação caso o usuário não possua o *software* para realizar esse procedimento. No uso do *software* *DIALux*, a vantagem do programa foi verificada na obtenção dos resultados da simulação, visto que o programa apresentou linhas com números exatos de LUX, gerando uma documentação que apresenta o relatório completo da simulação por ambiente. Em contrapartida, no uso do *plugin Insight*<sup>®</sup>, o resultado é mais simples, sendo que não apresenta os valores exatos de LUX.

Como sugestão de pesquisas futuras, recomenda-se extrapolar este experimento para outras ferramentas de simulação, incluindo análises de iluminação artificial, térmicas e energéticas.

## REFERÊNCIAS

- AZHAR, S.; BROWN, J. BIM for sustainability analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, Filadélfia, v. 5, n. 4, p. 276-292, nov. 2009.
- CHANG, Y.; HSIEH, S. A review of Building Information Modeling research for green building design through building performance analysis. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, Auclanda, v. 25, n. 1, p. 1-40, jan. 2020.
- CHEN, L.; LUO, H. A BIM-based construction quality management model and its applications. **Automation in construction**, Marilândia, v. 46, n. 1, p. 64-73, out. 2014.
- CHO, Y. K.; ALASKAR, S.; BODE, T. A. BIM-integrated sustainable material and renewable energy simulation. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2010: INNOVATION FOR RESHAPING CONSTRUCTION PRACTICE, 2010, 2010, Banff. **Proceedings...** Reston: ASCE Library, 2010. p. 288-297.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HOMER-DIXON, T. F. **Environment, scarcity, and violence**. Princeton: Princeton University Press, 2010.
- IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ids/tabelas>>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2014: CONSTRUCTION IN A GLOBAL NETWORK, 2014, 2014, Georgia. **Proceedings...** Reston: ASCE Library, 2014a. p. 140-149.
- JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings. **Itcon**, Auclanda, v. 19, n. 1, p. 494-519, nov. 2014b.
- KOTA, S. et al. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings**, Hong Kong, v. 81, n. 1, p. 391-403, out. 2014.
- KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM: successful sustainable design with building information modeling**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.
- OLIVEIRA, V.; JESUS, L.; CONDE, K. Análise de eficiência energética e *softwares* BIM: uso de ferramentas de modelagem energética do edifício (BEM) da Autodesk. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019. p. 943-954.
- OMG, O. M. G.; PARIDA, R.; MAHAPATRA, S. Business process model and notation (bpmn) version 2.0. **Object Management Group**, Milford, v. 1, n. 4, p. 1-502, jan. 2014.
- QUEIRÓZ, G. R. de et al. Simulação de iluminação natural no Autodesk *Revit* conforme normativas brasileiras. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., João Pessoa. **Anais...** Alegre: ANTAC, 2019. p. 2906-2915.

REEVES, T. J.; OLBINA, S.; ISSA, R. R. A. Guidelines for using building information modeling (BIM) for environmental analysis of high-performance buildings. **Computing in Civil Engineering**, Florida, v.1, n.1, p. 277-284, jun. 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). **Buildings and climate change**: Summary for decision-makers. Paris, 2009. p. 1-62.

VON ROSING, M. et al. Business Process Model and Notation-BPMN. **Body of Knowledge from Process Modeling to BPM**, Milford, v.1, n.1, p. 433-457, dez. 2015.

WHITE, S. A. et al. Business Process Modeling Notation, v1. 0. **Business Process Management Initiative**, Milford, v. 1, n. 1, p. 1-296, maio 2004.

WONG, M. O. et al. An experience-based interactive lighting design approach using BIM and VR: a case study. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Bristol: IOP Publishing, 2019. p. 012006.

YAN, W. Interfacing BIM with building thermal and daylighting modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION, 13., Association, Chambery, 2013. **Anais...** Chambery: IBPSA, 2013. p. 25-30.