SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS DESENVOLVIDOS EM BIM: AVALIAÇÃO DE DUAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA A PRÁTICA DE MERCADO

Julianna Crippa (1); Ana Paula de Almeida Rocha (2); Elaine Spiel (3); Gabriela Bardelli (4)
(1) Doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Professora do Departamento de Eng. Civil e Arq. e Urbanismo, julianna.crippa@fae.edu, FAE, Av. Visc. de Guarapuava, 3263 - Curitiba - PR, 80010-100.
(2) Doutora em Engenharia Mecânica, Professora do Departamento de Eng. Civil e Arq. e Urbanismo, ana.procha@fae.edu, FAE, Av. Visc. de Guarapuava, 3263 - Curitiba - PR, 80010-100.
(3) Estudante de Arquitetura e Urbanismo, elaine.spiel@mail.fae.edu, FAE, Av. Visc. de Guarapuava, 3263 - Curitiba - PR, 80010-100.
(4) Estudante de Engenharia Civil, gabriela.bardelli@fae.edu, FAE, Av. Visconde de Guarapuava, 3263 - Curitiba - PR, 80010-100.

RESUMO
O objetivo deste estudo é comparar ferramentas de simulação computacional para 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 Revit - e o DIALux evo, 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. Ambos os 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). Para fins comerciais, o Insight e o Revit são ferramentas pagas, enquanto o DIALux evo é gratuito, de fácil instalação e não exige um computador com processador potente. Os resultados reforçam as oportunidades de avaliação de desempenho lumínico ainda na fase de projeto a partir da integração BIM.

Palavras-chave: ferramentas tecnológicas, iluminação natural, simulação computacional, software BIM.

ABSTRACT
The objective of this paper is to compare computer simulation tools to analyze daylighting in sustainable building projects developed in BIM, aiming at market practice and taking into account the requirements of NBR 15575 and the LEED and AQUA-HQE certification systems. Through a literature search, Insight plugin - which works within Revit - and DIALux evo software were chosen for assessment. Computer simulations were performed using a single-family housing project in BIM. Subsequently, in order to assess the quality of the tools, a survey based on the ISO / IEC 25010: 201 standard was developed and answered, following a Likert-type scale, from 1 to 5. Both software allows the calculation of the levels of illuminance and the Daylight Factor (DF) results. Insight also makes it possible to perform spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) simulations. It should be noted that, for commercial purposes, Insight and Revit are paid tools, while DIALux evo is free, easy to install and does not require a computer with a powerful processor. Results reinforce the opportunities for assessing lighting performance still in the design phase based on the BIM integration.

Keywords: technological tools, daylighting, computational simulation, BIM software.

1. 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 (IBGE, 2016), 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 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).

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. Em aspectos lumínicos, a norma estabelece níveis mínimos para iluminação natural e artificial 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. Além da Norma de Desempenho, os sistemas de certificação de edifícios verdes (como AQUA-HQE e LEED) também incluem a análise da iluminação natural como um dos principais indicadores da qualidade ambiental interna. 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 (CHANG e HSIEH, 2020).

O BIM (Modelagem da Informação da Construção) abrange 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 e coordenada, a fim de evitar erros posteriores ao projeto. O BIM também pode ser explorado para executar simulações e otimizações para garantir um maior desempenho e menores custos. A ferramenta proporciona a geração automática de documentos e informações precisas sobre o projeto para facilitar todo o gerenciamento (CHEN e 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.

Com relação a integração das análises de iluminação com BIM, Chang e Hsieg (2020) desenvolveram uma revisão de literatura sobre o tema. Os autores destacam que a maioria dos estudos coletados abordam a análise da luz do dia. Poucos trabalhos discutem outros aspectos de iluminação do ambiente, tais como análises solar, sombreamento e iluminação artificial. Algumas pesquisas focam na aplicação de ferramentas BIM em estudos de iluminação e fornecem diretrizes para o processo de análise e seleção de ferramentas (KRYGIEL e 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 e sua API para produzir as informações necessárias para o Radiance e o Daysim realizarem análises de iluminação natural. Jalaei e Jrade (2014a, 2014b) também desenvolveram plugins para análise de iluminação natural no software 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 se destaca como a ferramenta BIM mais utilizada para este tipo de análise (CHANG e HSIEG, 2020). Os autores relacionam isso à maior interoperabilidade do Revit com as principais ferramentas de avaliações de iluminação. 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. Esses novos recursos incluem o Green Building Studio e o Project Solon, sendo que mais recentemente o Insight foi desenvolvido

como uma evolução de ambos e é o software recomendado atualmente pela Autodesk para análise de desempenho do edifício (OLIVEIRA; JESUS; CONDE, 2019).
Como outra alternativa para as simulações lumínicas, é possível utilizar *software* mais tradicionais que possibilitem a importação de modelos a partir da interoperabilidade com outras ferramentas BIM. Por exemplo, o software DIALux evo, o qual possui acesso facilitado e gratuito, pode ser associado a um programa BIM. Dessa forma, o modelo criado no software de modelagem pode ser exportado na forma de IFC para o DIALux evo, a fim de se realizar o cálculo lumínico (WONG et al. 2019).
Com o desenvolvimento contínuo da tecnologia científica, a integração de ferramentas BIM com simulações computacionais se tornará cada vez mais a realidade do mercado brasileiro. Nesse sentido, faz-se necessário avaliar as questões de qualidade de produto das ferramentas computacionais de simulação de luz natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM, tendo como enfoque a prática de mercado. Visa-se destacar as limitações e benefícios da aplicação da Modelagem BIM em simulações computacionais para análises de iluminação e suas tendências.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade de produto das ferramentas computacionais de simulação de luz natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM, tendo como enfoque a prática de mercado.

3. MÉTODO

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).
Dessa forma, a fim de alcançar o objetivo geral citado anteriormente, o trabalho inclui as seguintes etapas:

I. Formular o questionário baseado na ISO/IEC 25010:201 com questões que avaliam o processo de simulação e qualidade de produto de software.
II. Definir o projeto em BIM para testar as ferramentas Insight e DIALux evo;
III. 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;
IV. Aplicar do questionário para cada ferramenta; e,
V. Analisar os resultados e comparação das ferramentas.
VI. A seguir serão apresentadas as principais informações para formulação do questionário e descrição do projeto em BIM utilizado para a execução das ferramentas.

3.1. 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 após a execução das ferramentas aos próprios pesquisadores deste estudo. Dessa forma, foi possível comparar qualitativamente os softwares definidos para o estudo, Insight e DIALux evo.

Quadro 1 – Questionário de Avaliação dos Experimentos

Questões a serem aplicadas aos pesquisadores:	Classificação
(Classificar de 1 a 5, sendo: 1-discordo totalmente, 2-discordo, 3-neutro, 4-concordo e 5-concordo totalmente)	Nome do Software
1 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver as questões de iluminação natural da NBR 15575 corretamente.	
2 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver os critérios de iluminação natural solicitados na Certificação LEED corretamente.	
3 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver os critérios de iluminação natural solicitados na Certificação AQUA-HQE corretamente.	
4 - Quanto a 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).	
5 - Quanto a funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta é autossuficiente e não precisa de outro software em conjunto para solucionar o problema.	
6 - Quanto a 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 a 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 a eficiência (comportamento em relação ao tempo) da ferramenta utilizada, esta permite uma execução rápida que possibilita testar diversas soluções.	
9 - Quanto a eficiência (comportamento em relação aos recursos) da ferramenta utilizada, esta é capaz de executar suas funcionalidades em computadores de performance intermediária.	
10 - Quanto a usabilidade (apreensibilidade, atratividade e operabilidade) da ferramenta utilizada, esta é intuitiva, atrativa e permite que o usuário a opere e controle.	
11 - Quanto a 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 online, na web.	
12 - Quanto a portabilidade (facilidade de instalação) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser instalada num ambiente específico com facilidade.	
13 - Quanto a portabilidade (coexistência) da ferramenta utilizada, esta é capaz de coexistir com outro software no mesmo ambiente e compartilhar recursos - exemplo: aplicativos e plugins.	

Fonte: Elaborada pelos Autores.

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.
Contextualizando, a Norma de Desempenho NBR 15575 exige a avaliação do nível de iluminância 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 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 em construção. No entanto, a pontuação só é obtida caso o resultado siga as condições estabelecidas nos referenciais de avaliação da qualidade ambiental do AQUA-HQE.

3.2. Definição do projeto BIM

As simulações computacionais foram realizadas no projeto de uma casa unifamiliar modelada em BIM. O projeto (Figura 1) 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 m² 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 clara e os pisos são laminados de madeira e cerâmica nas áreas úmidas.

A Tabela 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

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.
As simulações executadas em cada ferramenta estão apresentadas na Tabela 2. Vale ressaltar que o objetivo da realização das simulações foi avaliar a qualidade de produto dos softwares Insight e DIALux evo, e não o projeto em si.

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

Simulação	Insight	DIALux
Iluminância (LUX): NBR 15575 e LEED	x	x
Fator de Luz Diurna (FLD): AQUA-HQE	x	x
Autonomia Espacial da Luz Natural (sdA) e Exposição Anual à Luz Solar (ASE): LEED	x	Não executa.

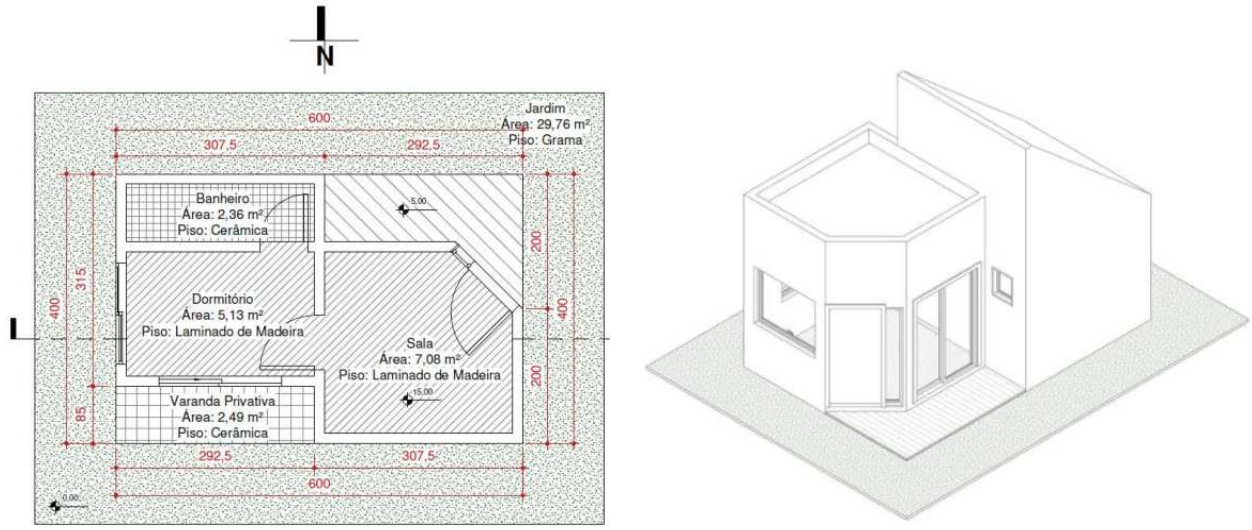


Figura 1 - Projeto utilizado no estudo de caso

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes a cada tipo de simulação de iluminação natural exigidas na NBR 15575 e nos sistemas de certificação AQUA-HQE e LEED, executadas em ambas as ferramentas. Em seguida, os resultados do questionário aplicado para avaliação qualitativa das ferramentas serão apresentados com a análise final e comparação das mesmas.

4.1. Exigências da NBR 15.575

A Norma de Desempenho NBR 15575 exige a avaliação do nível de iluminância em quatro horários do ano (23/4 e 23/10, às 9:30 e 15:30), considerando a nebulosidade do céu média (intermediária). As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados de simulação utilizando os softwares DIALux e Insight, respectivamente.
O plugin Insight permite apenas a simulação para horários inteiros. Dessa forma, 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. Nesse sentido, a figura 2 apresenta a média dos níveis de

iluminância para ambos os horários do dia 23/4 como forma de exemplificar a aplicabilidade da ferramenta para atendimento dos critérios da Norma.

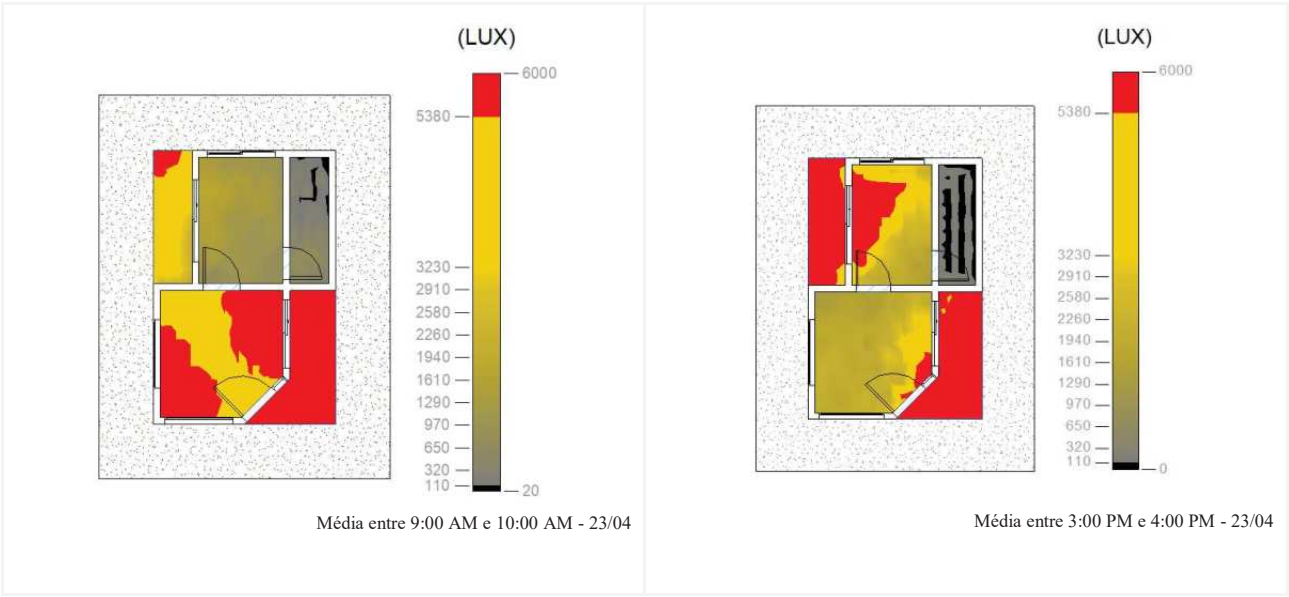


Figura 2 - Resultados da simulação de iluminância (LUX) de acordo com os critérios da NBR 15575 - Insight

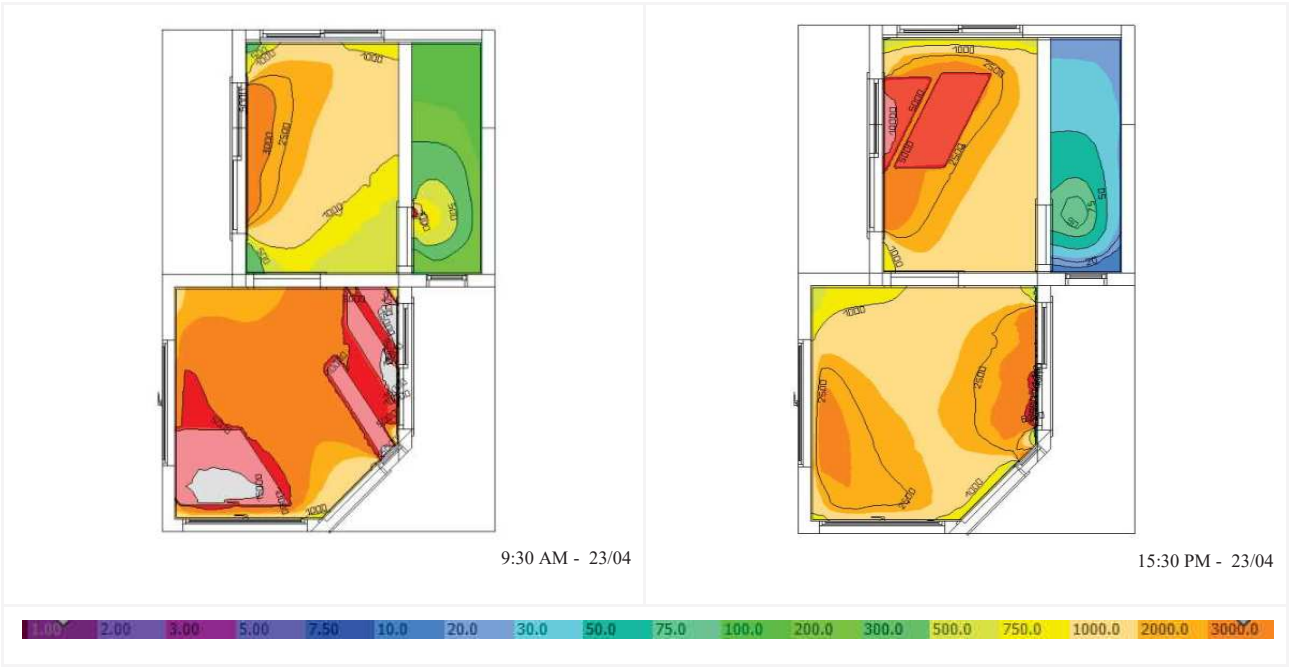


Figura 3 - Resultados da simulação de iluminância (LUX) de acordo com os critérios da NBR 15575 - DIALux

4.2. Exigências do AQUA-HQE

A Figura 4 apresenta os resultados das simulações de Fator de Luz Diurna (FLD) executadas no Insight e DIALux, respectivamente. O cálculo de FLD é dado pela relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra. Esta simulação 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 em construção. No entanto, a pontuação só é obtida caso o resultado siga as condições estabelecidas nos referenciais de avaliação da qualidade ambiental do AQUA-HQE.

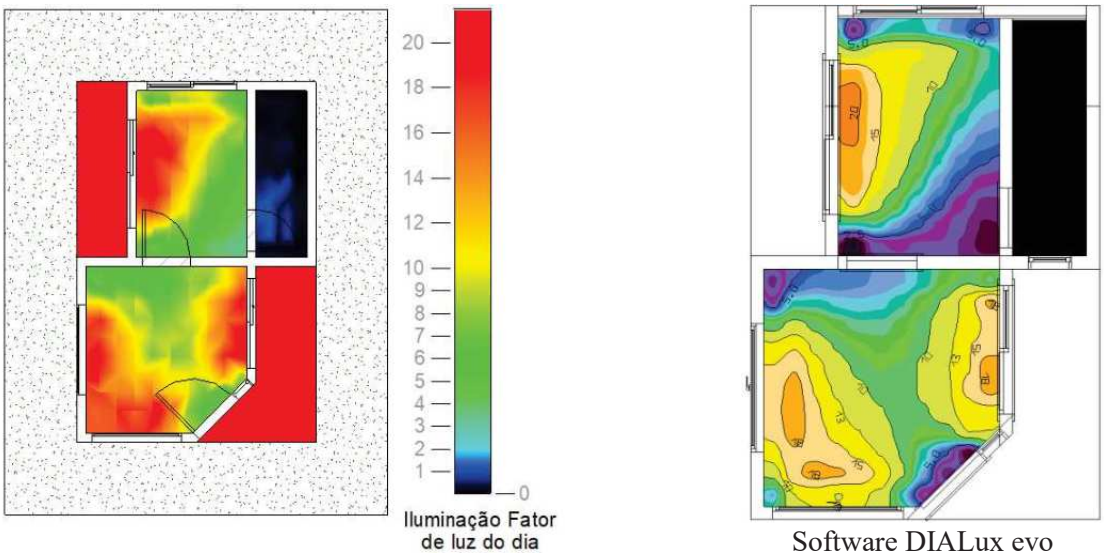


Figura 4 - Resultado da simulação de fator de luz diurna no Insight de acordo com o solicitado no AQUA-HQE

4.3. Exigências do LEED

Com relação às exigências do LEED, 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).

Embora o software DIALux possibilite as simulações de iluminância em horários específicos, o plugin Insight facilita o processo de verificação de atendimento das exigências, 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.

As Figuras 5 e 6 apresentam as análises de simulação de autonomia espacial da luz natural (sDA) e exposição anual à luz solar (ASE) no Insight conforme solicita os critérios da opção 1. Este tipo de simulação possibilita obter de 2 a 3 pontos no processo desta certificação. 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.

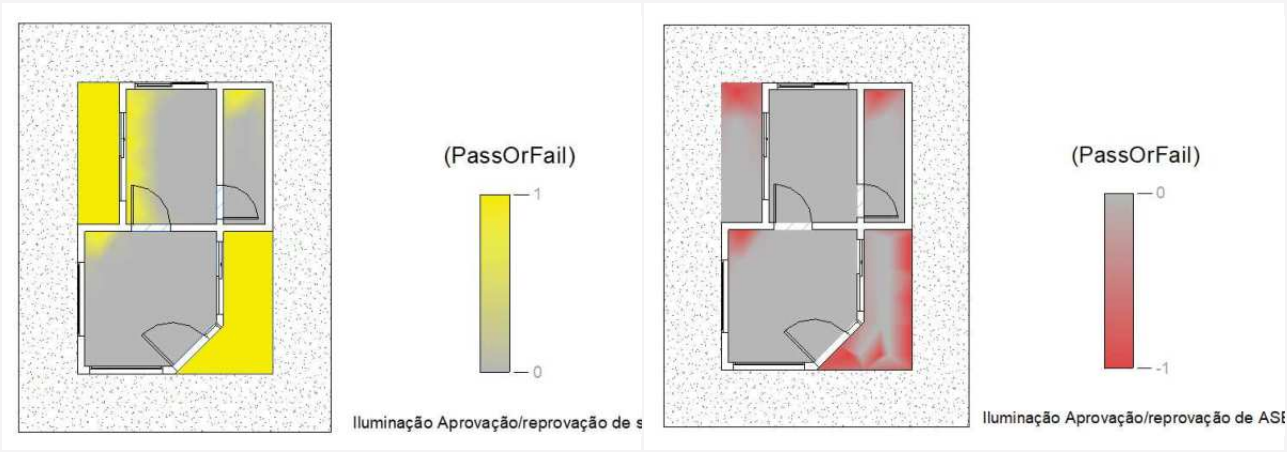


Figura 5 - Resultados da simulação de autonomia espacial da luz natural (sDA) e exposição anual à luz solar (ASE) de acordo com os critérios do LEED v4 EQc7 opção 1 - Insight

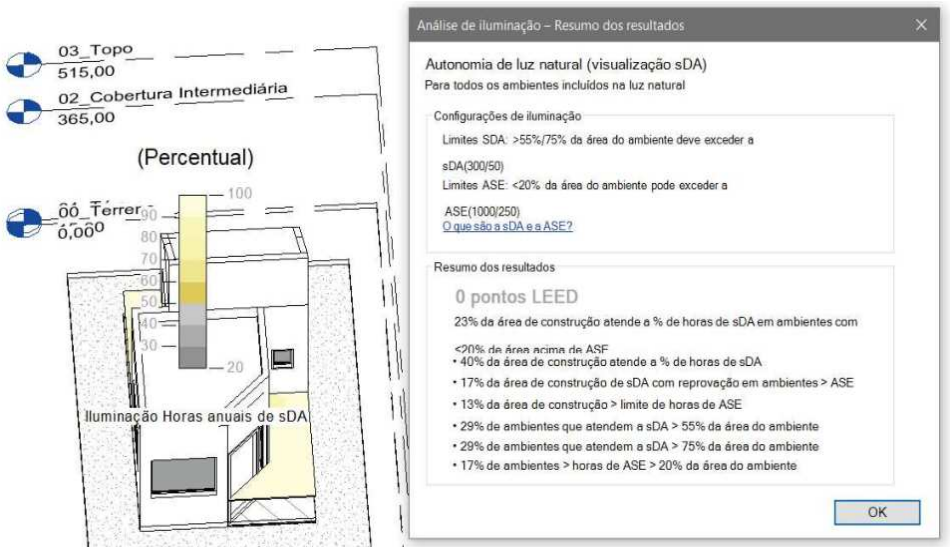


Figura 6 - Resumo dos resultados da simulação de autonomia espacial da luz natural e exposição anual à luz solar de acordo com os critérios do LEED v4 EQc7 opção 1 - Insight

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados da simulação de cálculo de iluminância (LUX) no Insight conforme os critérios da opção 2. As instruções do LEED solicitam que esta simulação seja realizada considerando céu limpo como o fator de nebulosidade, no dia 21 de setembro, às 9:00 AM e 3:00 PM. Este tipo de simulação possibilita obter de 1 a 2 pontos no processo desta certificação. 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.

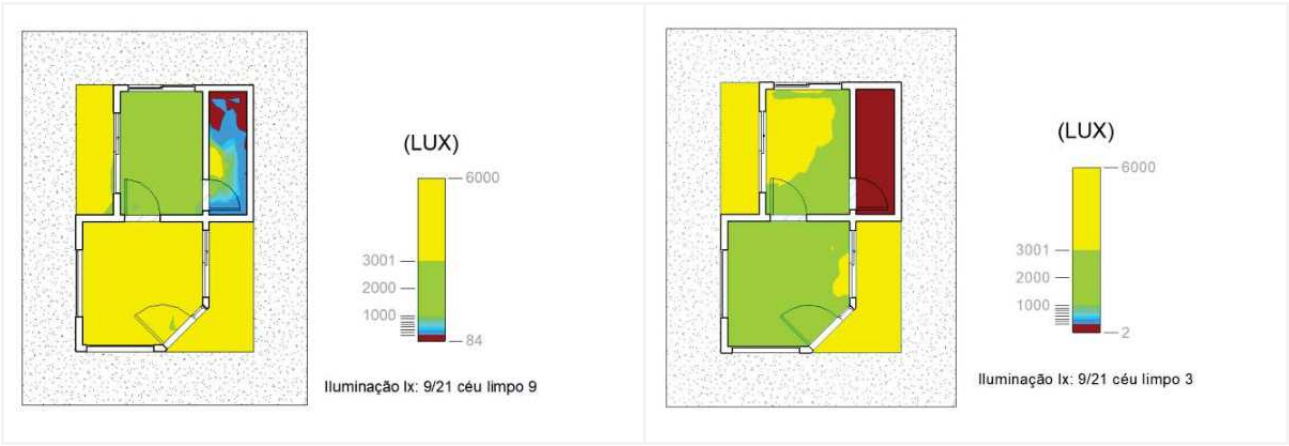


Figura 7 - Resultados da simulação de iluminância (LUX) de acordo com os critérios do LEED v4 EQc7 opção 2 - Insight

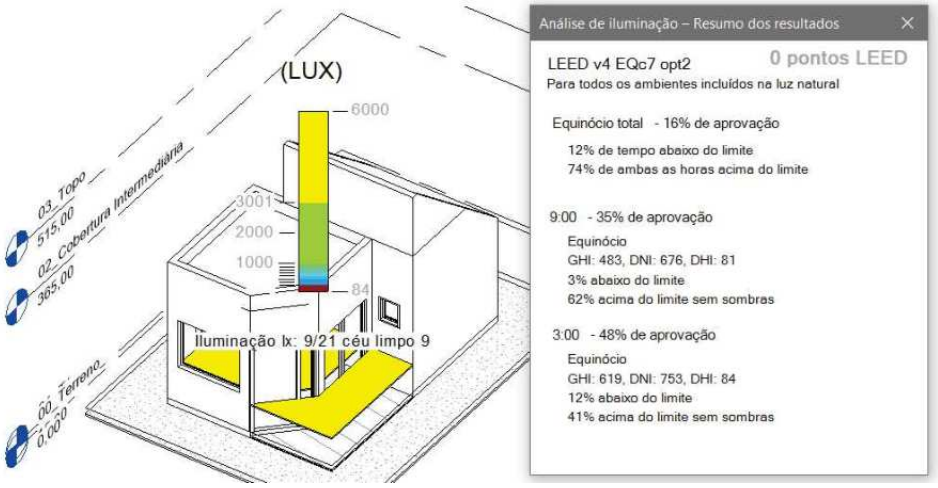


Figura 8 - Resumo dos resultados da simulação de luminância (LUX) de acordo com os critérios do LEED v4 EQc7 opção 2 -Insight

4.4. Resultados do questionário e comparação qualitativa entre as ferramentas

O Quadro 2 apresenta os resultados da aplicação do questionário de avaliação da qualidade das ferramentas Insight (Ins) e DIALux evo (Dia), incluindo as justificativas das classificações no campo "Comentários".

Quadro 2 – Resultados do Questionário de Avaliação Qualitativa

Questões	Ins	Dia	Comentários
1 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver as questões de iluminação natural da NBR 15575 corretamente.	3	5	Insight não executa no horário específico 9:30 e 15:30.
2 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver os critérios de iluminação natural solicitados na Certificação LEED corretamente.	5	3	Insight apresenta a pontuação final para as exigências do LEED. DIALux não executa simulações dinâmicas (opção 1).
3 - Quanto a funcionalidade (adequação e acurácia) da ferramenta utilizada, esta é capaz de resolver os critérios de iluminação natural solicitados na Certificação AQUA-HQE corretamente.	5	5	As duas ferramentas executam simulações de Fator de Luz Diurna.
4 - Quanto a 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).	5	5	Os modelos geométricos são paramétricos e podem ser modificados na própria ferramenta.
5 - Quanto a funcionalidade (adequação) da ferramenta utilizada, esta é autossuficiente e não precisa de outro software em conjunto para solucionar o problema.	5	3	O Insight é um plugin do Revit, que é um software.de modelagem BIM e permite outras funções de projeto, como análise de custos.
6 - Quanto a 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.	4	3	O Revit (Insight) pode perder parâmetros de projeto quando exportado ou importado em IFC. O DIALux não exporta em IFC.
7 - Quanto a 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 a eficiência (comportamento em relação ao tempo) da ferramenta utilizada, esta permite uma execução rápida que possibilita testar diversas soluções.	4	4	O DIALux exige um caminho longo para iniciar uma simulação quando comparado ao Insight. No entanto, a execução da simulação no Insight é feita na nuvem, o que pode levar a um tempo maior para obter os resultados.
9 - Quanto a eficiência (comportamento em relação aos recursos) da ferramenta utilizada, esta é capaz de executar suas funcionalidades em computadores de performance intermediária.	3	5	O Revit (Insight) requer um equipamento de alta performance, enquanto o DIALux funciona bem em computadores básicos e intermediários.
10 - Quanto a usabilidade (apreensibilidade, atratividade e operabilidade) da ferramenta utilizada, esta é intuitiva, atrativa e permite que o usuário a operação e controle.	5	3	O DIALux é um software especialista em iluminação e complexo. O Insight é mais simplificado e user-friendly.
11 - Quanto a 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 online, na web.	3	2	Ambas são ferramentas que operam no desktop de computadores. No entanto, o Insight tem algumas funções na web.
12 - Quanto a portabilidade (facilidade de instalação) da ferramenta utilizada, esta é capaz de ser instalada num ambiente específico com facilidade.	3	5	O Insight funciona dentro do Revit, e ambos são pagos, exceto para fins educacionais. É necessário ter o cadastro com a Autodesk para baixar e executar o software e o plugin. O DIALux é gratuito e simples de instalar.
13 - Quanto a portabilidade (coexistência) da ferramenta utilizada, esta é capaz de coexistir com outro software no mesmo ambiente e compartilhar recursos - exemplo: aplicativos e plugins.	5	5	Ambos são open-source.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo comparar as ferramentas de simulação computacional de análise de iluminação natural em projetos de edificação sustentável desenvolvidos em BIM para a prática de mercado.
Ambos software permitem calcular os níveis de iluminância (LUX) geral para iluminação natural e os resultados de Fator de Luz Diurna (FLD). Cabe ressaltar que o DIALux evo apenas permite executar a simulação estática - horário dia específico -, enquanto o Insight® 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, 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. O Insight e o Revit são ferramentas pagas para fins comerciais, enquanto o DIALux evo é gratuito, de fácil instalação e não exige um computador com processador potente.
Como sugestão de pesquisas futuras, recomenda-se extrapolar esta análise e propor métodos com diretrizes replicáveis em escritórios de projetos que maximizem o conforto visual e/ou reduzam o uso de energia gasta com iluminação nas edificações. Além disso, pode-se replicar este experimento para outras ferramentas de simulação, incluindo análises de iluminação artificial e termoenergéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZHAR, S.; BROWN, J. BIM for sustainability analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276-292, 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)**, v. 25, n. 1, p. 1-40, 2020.

CHEN, LiJuan; LUO, Hanbin. A BIM-based construction quality management model and its applications. Automation in construction, v. 46, p. 64-73, 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. 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. Bookman Editora, 2015.

HOMER-DIXON, Thomas F. **Environment, scarcity, and violence**. Princeton University Press, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável.** 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ids/tabelas>. Acesso em: 27 março 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**. 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**, v. 19, p. 494-519, 2014b.

KOTA, S. et al. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 391-403, 2014.

KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM: successful sustainable design with building information modeling**. John Wiley & Sons, 2008.

OLIVEIRA, V.; JESUS, L.; CONDE, K. Análise de eficiência energética utilizando softwares BIM: Uso de ferramentas de modelagem energética do edifício (BEM) da Autodesk. In: VI Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Anais… 2019. p. 943-954.

QUEIRÓZ, Gabriel Ramos de et al. Simulação de iluminação natural no Autodesk Revit conforme normativas brasileiras. In: **XV Encontro Latino-Americano do Conforto no Ambiente Construído**. Anais… 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. In: **Computing in Civil Engineering (2012)**. 2012. p. 277-284.

UNEP. **Buildings and climate change**: Summary for decision-makers. United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris, p. 1-62, 2009.

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

YAN, W. Interfacing BIM with building thermal and daylighting modeling. In: 13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, Chambery, França. **Anais**… 2013. p. 25- 30.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário FAE, pelo suporte financeiro; ao Núcleo de Pesquisas Acadêmicas (NPA) pela realização do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC); e, ao Profº MSc. Augusto Pimentel, pela disponibilização do projeto arquitetônico e modelagem em Revit.