ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

UTILIZAÇÃO DO BIM PARA PROJETOS MAIS SUSTENTÁVEIS

VILLASCHI, Fernanda Schmitd
(fsvprojetos@gmail.com)
FSV Projetos, Brasil

CARVALHO, José Pedro
(jpcarvalho@civil.uminho.pt)
Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal
Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), Universidade do Minho, Portugal

BRAGANÇA, Luís
(braganca@civil.uminho.pt)
Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal
Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), Universidade do Minho, Portugal



PALAVRAS-CHAVE:

Building information modeling (BIM), avaliação do ciclo de vida (ACV), sustentabilidade

RESUMO

A procura por respostas para os desafios ambientais tem vindo a promover novas soluções para avaliar os impactos ambientais da construção civil. É possível otimizar o processo de elaboração de projetos, execução, gestão e operação da edificação através do Building Information Modeling (BIM), pois os dados e informações multidisciplinares de um edifício e dos seus elementos são armazenadas num modelo virtual 3D, envolvendo toda as disciplinas da construção. Desta forma, é possível os intervenientes estarem em constante comunicação, reduzindo incompatibilidades, erros e omissões e, permitindo a elaboração de orçamentos e planejamentos precisos, visando a sustentabilidade na construção civil. Além disso, o BIM possui grande potencial de utilização em diversos tipos de análises de sustentabilidade, nomeadamente a avaliação do ciclo de vida (ACV), através da automatização do processo de recolha e análise de dados. Assim, este trabalho visa aplicar a metodologia BIM com análises de sustentabilidade de uma construção residencial brasileira com o foco na fase de operação, analisando tipologias de paredes para a melhoria da sustentabilidade das edificações. Através do desenvolvimento e análise do desempenho energético de um modelo BIM no Autodesk® Formit®, Revit® e Insight®, respetivamente, são recolhidas as informações necessárias à ACV na fase operacional do edifício no Tally®. Além de avaliar e promover a aplicabilidade do BIM para ACV e as análises de sustentabilidade como: radiação e sombreamento, os resultados e métodos desta investigação permitem fornecer informações valiosas para a tomada de decisão dos projetistas em fases iniciais de projeto para o desenvolvimento de construções mais sustentáveis e de menor consumo energético.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor da construção é um dos principais responsáveis por grandes impactos ambientais (Raizen e Santos, 2019). Com isso, as autoridades, comunidade científica e sociedade em geral têm exigido edifícios mais sustentáveis (Carvalho et al., 2020). A construção sustentável é a solução para o setor da construção civil alcançar os objetivos definidos para o desenvolvimento sustentável Brundtland (1987). Portanto, a implementação da sustentabilidade na construção é um dos contributos fundamentais para a satisfação das necessidades da população atual sem comprometer o futuro.

Os impactos ambientais que envolvem a edificação estão, principalmente, associados a decisões preliminares tomadas na fase inicial de concepção de projeto, tais como a definição de materiais, sendo assim extremamente importante o estudo inicial do projeto (Basbagill et al., 2013). Pesquisadores afirmam a importância das etapas iniciais de projeto para a redução dos impactos ambientais e construções mais sustentáveis (Azhar, 2010). Segundo Eleftheriadis et al. (2017), além de reconhecerem que a fase inicial de projeto é momento em que se podem obter os maiores benefícios, também mostram que é onde o custo das decisões é menor, podendo ser mais eficaz nas escolhas e diretrizes do projeto. Assim sendo, com o objetivo de obter este equilíbrio e aumentar a sustentabilidade na construção, é necessário tomar decisões acertadas nesta fase inicial do ciclo de vida das construções. Deste modo, é essencial atentar e estudar os condicionantes climáticos da região para fazer as escolhas corretas dos materiais para a construção, materiais de elevada durabilidade, eco eficientes e recicláveis; atentar ao aspeto económico, minimização dos custos de ciclo de vida; gestão eficiente de recursos; garantir condições de higiene e segurança no trabalho. Portanto, é fundamental trabalhar com análises de sustentabilidade, como por exemplo, análise de sombreamento, radiação e avaliação do ciclo de vida (ACV), nas etapas iniciais para tomar melhores decisões com o objetivo de uma construção mais sustentável e assim reduzir os impactos causados por ela. Dessa forma, o recurso às tecnologias informáticas de modelagem da informação da construção Building Information Modeling (BIM) ajudam a otimizar o processo de desenvolvimento e análise dos projetos, pois as ferramentas BIM pode conter diferentes dados multidisciplinares em um único arquivo, tornando se um método útil para a comparação e introdução de medidas sustentáveis em vários estágios do projeto, especialmente nas fases iniciais de concepção da edificação (Azhar, 2011). Diante da oportunidade de avaliar a edificação, o objetivo deste estudo é estabelecer uma metodologia de projeto na fase inicial de concepção, baseada em BIM, para desenvolver edifícios mais sustentáveis para uma edificação residencial unifamiliar brasileira.

Os resultados da pesquisa serão estabelecer um fluxo de trabalho para a avaliação e análise de sustentabilidade onde inclui o ACV do modelo BIM na fase inicial de concepção de projeto avaliando o ciclo de vida da operação da edificação a fim de promover uma edificação mais sustentável, além de otimizar o processo de projeto para a tomada de decisões de forma mais assertiva.

2. ESTADO DA ARTE

Existem inúmeros métodos e ferramentas para avaliar as edificações em relação ao desempenho ambiental. Entre eles, os amplamente utilizados destaca-se a avaliação do ciclo de vida (ACV) do edifício (Santos et al., 2019). A combinação destas análises fornece dados para os projetistas tomarem decisões, através da comparação de diversas soluções, resultando assim em construções de alto desempenho (Carvalho et al., 2020).

A avaliação da sustentabilidade é realizada através de um sistema de certificação que avalia o edifício com uma pontuação sustentável e muitas delas englobam a ACV neste método. Segundo Mahmoud et al. (2019), nos últimos anos a ACV tem sido utilizada para avaliar os impactos ambientais gerais da construção. A ACV normalmente se concentra nos impactos ambientais dos materiais e dos elementos de construção ao longo da vida da construção.

2.1 *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM)

Building Information Modelling (BIM) é composto por um conjunto de políticas, processos e tecnologias, que resultam em uma metodologia de trabalho capaz de gerenciar o modelo 3D de um edifício ou estrutura com informações e dados do projeto durante o ciclo de vida desse edifício ou estrutura (Sucar, 2009).

O BIM tornou-se uma ferramenta importante no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção Civil (AEC) fornecendo a oportunidade de colaborar com todos os *"stakeholders"* da construção desde os estágios iniciais do projeto (Santos et al., 2019). Ao usar o computador para auxiliar no processo de construção de projetos, a criação não foi enfraquecida; pelo contrário, com a ajuda da tecnologia digital, o projetista não é sobrecarregado por uma grande quantidade de trabalho repetitivo, podendo-se focar no design criativo e inovador, tendo a possibilidade de automatizar as análises de desempenho. Além disso, segundo Sous-Verdaguer et al. (2017), o BIM permite, a redução de erros de compatibilizações, a extração de quantidades e dados de diferentes disciplinas de forma que a avaliação de ciclo de vida possa ser realizada e interpretada. Dessa forma, revolucionando a visualização, a simulação de pré-construção, a análise do ciclo de vida e permitindo uma construção mais rápida, promovendo práticas integradas mais sustentáveis com um rico repertório de informações de construção disponíveis para a equipe de projeto (Hollberg et al., 2020).

No entanto, segundo Mahmoud et al. (2019), tanto o método BIM quanto as ferramentas existentes não alcançaram todo o seu potencial para construção sustentável e ainda possuem alguns problemas como a interoperabilidade entre os diferentes programas informáticos que precisa ser melhorada.

2.2 NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO DO MODELO BIM

No contexto da metodologia BIM, se faz necessário a modelagem virtual da construção com as informações da edificação. O desenvolvimento de um modelo BIM é diretamente impactado pelo nível de detalhamento empregado na modelagem geométrica dos elementos e informações inseridas no modelo BIM. De modo que há uma diferença grande em construir, por exemplo uma janela somente com a sua geometria básica e uma janela em que são inseridos até os perfis de fixação dos vidros. Portanto, precisa-se definir o nível de detalhamento do modelo BIM para que este seja descrito conforme as exigências do contratante e seu objetivo (Ricotta, 2016).

Segundo o Instituto Americano de Arquitetos (AIA), o nível de detalhamento da construção dos elementos BIM pode ser classificado em cinco categorias LOD - *Level of Development* (Nível de Desenvolvimento) - que caracterizam os requisitos mínimos para cada elemento modelado: 100 Conceitos; 200 Aproximação; 300 Precisão; 400 Fabricação; 500 *As Built*.

Rezaei et al. (2019) afirmam que a ACV deve ser aplicada na fase de projeto conceitual usando um LOD 100, para tomar as melhores decisões, diminuir seus impactos ambientais e reduzindo retrabalho. Sous-Verdaguer et al. (2017) confirmam que a ACV deve ser feita em cada etapa de projeto continuamente e que para se ter maior confiabilidade na análise dos impactos o LOD 300 é o mais apropriado durante a fase inicial de projeto.

2.3 BIM E SUSTENTABILIDADE

É crucial melhorar a sustentabilidade no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) para reduzir os impactos ambientais, sociais e económicos. Segundo Nunes et al. (2019) a maior parte da energia elétrica consumida no Brasil é para suprir a demanda em edificações. Afirmam ainda que o conhecimento e aplicação de materiais de construção adequados nas edificações podem possibilitar melhor desempenho térmico garantindo conforto no interior das construções, reduzindo o consumo de energia. Além disso, a Norma Brasileira de Desempenho NBR15575, elaborada pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil, foca as exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso. Dessa forma, se faz necessário uma análise da edificação a fim de reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

A sustentabilidade é considerada a sexta dimensão da BIM e permite prever o consumo de energia do projeto de construção nas etapas iniciais. Este novo processo de modelar e gerir empreendimentos apresenta melhorias expressivas, no planejamento e na integração das diferentes disciplinas dos projetos, o que permite reduzir incompatibilidades, fazer orçamentos precisos e o aperfeiçoamento dos prazos de execução visando a sustentabilidade na construção civil (Cabeza, 2014).

Além disso, segundo Machado et al. (2017), o BIM pode aprimorar os instrumentos de Avaliação Pós-Ocupação (APO) do ambiente construído, fazendo simulações e

análise lumínica da edificação. Machado et al. (2017), confirmam que o modelo BIM favorece os instrumentos de APO por auxiliar tanto no checklist e na visualização 3D da edificação como nas simulações computacionais; soluções contemplando a iluminação natural que almejam conforto visual e redução do consumo de energia e o uso de elementos de proteção solar móveis em fachadas de incidência de radiação solar direta; e evidencia que a iluminação natural deve ser solucionada em adequação com os requisitos funcionais da edificação considerando seu diálogo com sistemas de iluminação artificial.

A capacidade de armazenamento multidisciplinar de dados do BIM e as suas capacidades de interoperabilidade também permitem a recolha e transferência de dados para outras análises de sustentabilidade. Exemplos dessas análises são análises de sombreamento, radiação e escolha coerente dos materiais, dentre outras. Segundo Eleftheriadis et al. (2017), a integração do BIM e ACV se torna um método indispensável para projetos de construção civil para trazer padrões de sustentabilidade para edifícios e ambiente construído. Apesar de todas as aplicações, ainda existem algumas limitações na relação entre BIM e ACV, como questões de interoperabilidade, propensão para erro humano, custos de licença e o fato de que o modelo BIM não pode armazenar dados ACV (Soust-Verdaguer et al. 2017).

A implementação da avaliação de impacto ao longo do ciclo de vida na área da arquitetura e construção civil pode levar à redução dos impactos ambientais. A avaliação do ciclo de vida da edificação quantifica e examina o fluxo de energia, consumo de material, resíduos e emissões liberadas, avaliando alternativas de melhoria ambiental ao longo do ciclo de vida (Cabeza, 2014).

No entanto, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2014), não existe uma forma única de aplicação da ACV, pois cada organização adapta a análise aos critérios estabelecidos no escopo e de acordo com suas estratégias e objetivos.

3. METODOLOGIA

O objetivo deste estudo é estabelecer uma metodologia de projeto na fase inicial de concepção, baseada em BIM, para desenvolver edifícios residenciais unifamiliares mais sustentáveis. Assim, a metodologia adoptada para este estudo consiste, em primeiro lugar, na seleção dos programas informáticos adequados à modelação BIM e às subsequentes análises de sustentabilidade e de ciclo de vida, conforme ilustrado na Figura 1. A escolha dos programas é justificada pelo fácil acesso das soluções da Autodesk®, tanto à academia quanto ao mercado de trabalho. Eleftheriadis et al. (2017) revela que 73% dos estudos realizados nos meios académico e empresarial utilizam o Autodesk® Revit®. Dessa forma, serão escolhidos o Revit® e o Formit® por serem os mais utilizados para concepção do modelo BIM. Além de terem boa interoperabilidade entre arquivos, há a possibilidade de realizar as análises de radiação e sombreamento no Formit®. O Insight® será usado, pois possui conexão direta com o Revit® e o Formit® e, além disso, consegue simular escolhas

de soluções construtivas de forma simples e dinâmica, obtendo as informações de energia operacional de acordo com as definições do projeto.

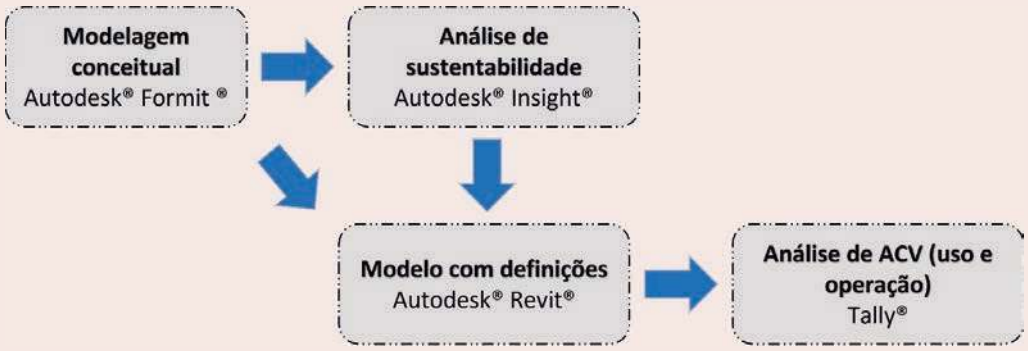


Figura 1. Metodologia utilizada no estudo de caso.

A modelagem conceitual será elaborada no Autodesk® Formit®. Antes da modelagem, serão inseridas as informações de localização da edificação, tamanho do terreno, posicionamento e sua orientação geográfica. Após esta etapa, será modelada a volumetria da edificação e definidos os níveis com as alturas. Neste modelo, já será possível a extração de informações importantes da construção, como por exemplo: a área dos pavimentos, área de paredes e de cobertura.

Após o estudo de concepção da volumetria da residência será exportado o arquivo para o Autodesk® Insight®. Nesta etapa, serão definidas as escolhas projetuais para a edificação a fim de se ter uma edificação com melhor desempenho energético e testar soluções diferentes para a envolvente exterior. Desta forma, será obtido o valor da energia operacional da edificação com a escolha e teste das diferentes soluções construtivas para a envolvente. Na sequência, o modelo do Formit® será importado para o Revit® e será criado um modelo com as definições das soluções construtivas simuladas e testadas no Insight®.

Em seguida, o Tally® será usado através de uma "Application Programming Interface" (API) do Revit®, para carregar as informações do modelo, conforme se apresenta na Figura 2. Primeiro, será escolhida a categoria do elemento, no caso a parede, e após a verificação dos materiais, serão escolhidas as características de tipo, expectativa de vida e extração do quantitativo, respectivamente. Para finalizar e obter os resultados, as informações serão inseridas no Tally® para apresentação do relatório, área útil, localização, expectativa de vida do edifício e inclusão de preços operacionais de energia e gás.

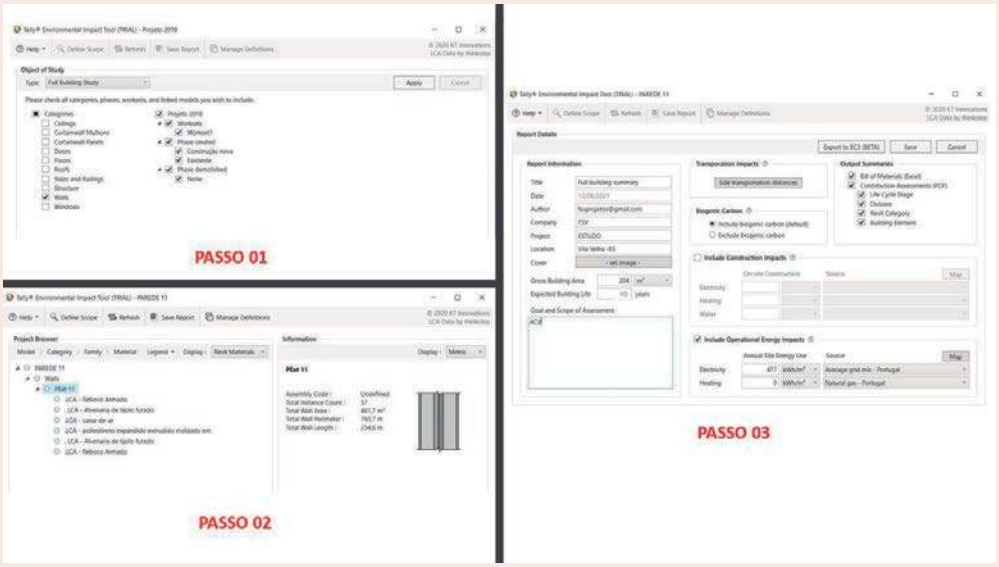


Figura 2. Uso do Tally®.

A NBR 15575 define a Vida Útil de Projeto (VUP) como o período estimado para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos para cada elemento. Esta norma estabelece que a vida útil da vedação vertical externa deve ser igual ou superior a 40 anos, portanto, este estudo utilizará 40 anos como a expectativa de vida útil.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é de um projeto conceitual de um edifício residencial unifamiliar localizado em Vila Velha – Espírito Santo, Brasil, composta por dois pavimentos e totalizando em 204 metros quadrados de área construída, conforme Figura 3. Primeiramente o modelo BIM estava definido com um LOD 100, que se caracteriza por ser uma volumetria simples que ainda não contém parâmetros relacionados a materiais. Apesar disso, já podem ser extraídas informações como área do 3D e fazer avaliações com a geometria, como por exemplo analisar a radiação incidente e o sombreamento. Após as análises feitas no Formit® e Insight® definiram-se as tipologias de paredes com os materiais e suas características. Assim o modelo BIM evoluiu para o LOD 300, onde se tem uma precisão maior em relação a geometria espacial dos elementos e informações que vão além das áreas, como os materiais aplicados, os fabricantes, o custo e outros parâmetros para análises mais precisas.



Figura 3. Planta baixa do térreo e pavimento superior da residência unifamiliar.

5. RESULTADOS

O estudo de caso analisado possibilitou extrair resultados que ajudam o projetista a tomar decisões durante a elaboração do projeto. Porém, para obter uma efetiva avaliação da construção, foi preciso fornecer algumas informações, a primeira informação configurada no Fomit® foi a localização geográfica da edificação. Em seguida, foi elaborada a concepção arquitetônica com o volume da construção no LOD 100. Ainda no desenvolvimento da volumetria no Formit®, é possível estudar e analisar a incidência da radiação solar e obter o sombreamento que é produzido pela edificação, conforme se mostra, a título de exemplo, nas Figuras 4 e 5, onde se pode visualizar o sombreamento produzido de manhã num dia de verão e num dia de inverno, respetivamente.

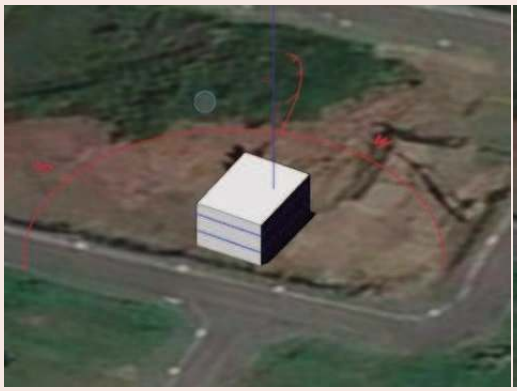


Figura 4. Estudo solar de verão, manhã, Formit®, 2021.

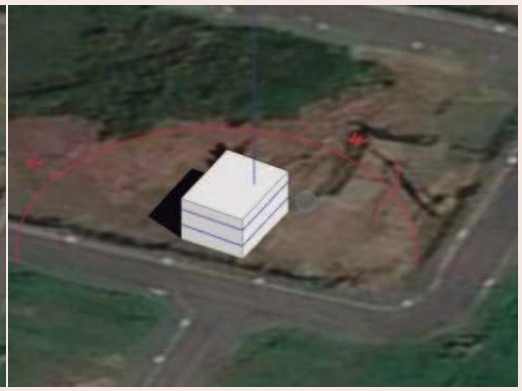


Figura 5. Estudo solar de inverno, manhã, Formit®, 2021.

Pode-se observar a importância da análise para a concepção e tomadas de decisão do projeto, pois a mesma volumetria, em épocas do ano diferente e na mesma localidade, possui sombreamento diferente. Além disso, a análise permite ao projetista reforçar e defender a escolha da orientação geográfica do edifício perante o cliente.

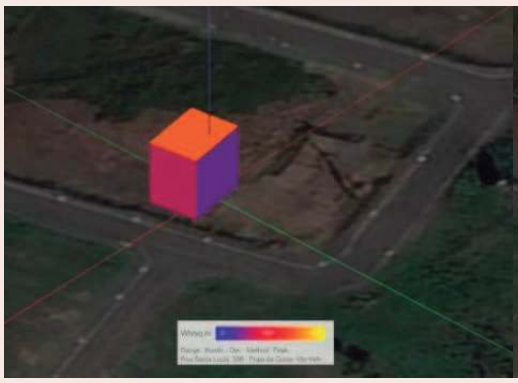


Figura 6. Estudo radiação na fachada no verão, Formit®, 2021.

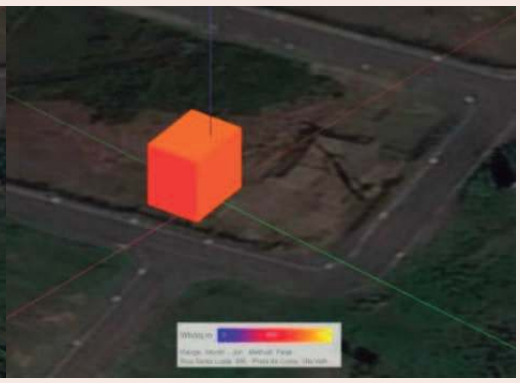


Figura 7. Estudo radiação na fachada no inverno, Formit®, 2021.

No estudo da volumetria no Formit®, foi analisada a radiação das superfícies das fachadas e cobertura em diferentes momentos. Observa-se nas Figuras 6 e 7 diferentes índices de radiação nas fachadas de acordo com a época do ano. Isto é importante para a escolha do material da envoltória da edificação, nem todas as fachadas devem ter o mesmo tipo de material já que nem todas recebem a mesma radiação. Estas analises também permitem que o arquiteto aproveitar a luz solar para definir aberturas para o aproveitamento da iluminação natural, definições de brises e estudos luminotécnicos mais assertivos. Com o estudo da radiação pode se ainda verificar a viabilidade técnica de instalação de painéis fotovoltaicos para a redução de consumo energético da edificação.

Existem outros estudos e avaliações que podem ser trabalhadas com o modelo BIM, como por exemplo análise de ventos e acústica.

Após trazer o modelo BIM do Formit® para o Insight®, formataram-se as configurações brasileiras para as taxas de custo de energia do Estado do Espírito Santo e o valor em metros cúbicos do gás. Com estes dados juntamente com a volumetria, pode-se simular e fazer comparação sobre diversos indicadores e assim tomar as decisões projetuais na fase preliminar. Com o objetivo de avaliar a solução construtiva da envoltória, foi testado o uso de duas paredes diferentes com suas estruturas definidas conforme a Figura 8, evoluindo o modelo BIM para o LOD 300. Dessa forma, conseguiu-se extrair a informação da energia operacional da edificação analisando a volumetria e definições da envoltória.

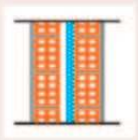
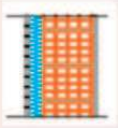
Solução 01		Parede dupla com um pano exterior em alvenaria de tijolo furado de 11 cm e um pano interior em alvenaria de tijolo furado de 11 cm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar com 4 cm de espessura, parcialmente preenchida com isolante térmico em placas – poliestireno expandido extrudido – com 4 cm de espessura e fixado ao pano interior. Os paramentos, interior e exterior, encontram-se revestidos com reboco tradicional com espessura de 2cm.
Solução 02		Parede simples com elemento de suporte em alvenaria de tijolo furado com 22cm de espessura. O isolante térmico é em placas de poliestireno expandido moldado com 6 cm de espessura. O revestimento exterior é em reboco armado com 2 cm de espessura.

Figura 8. Composição das soluções de paredes utilizadas no estudo de caso.

A energia operacional necessária para manter as condições conforto do edifício ao longo do ano pode ser extraída do Insight®. Assim, para uma envoltória vertical constituída pela solução 01 obtém-se uma energia operacional de 477 kWh/m².ano e para a solução 02 uma energia operacional de 483 kWh/m².ano. Observa-se que a escolha de materiais influencia diretamente na energia de uso da edificação durante o ano. Apesar da solução 02 ser mais espessa, 34 cm de espessura, do que a solução 01, a solução 01 conseguiu ser mais eficiente em termos da energia operacional anual, por ter dupla camada de alvenaria, camada de ar, além do isolante térmico de poliestireno.

Os valores dos impactos ambientais podem ser obtidos pelo Tally®, após a inserção das informações da energia operacional associada a cada uma das soluções estudadas anteriormente.

Os resultados, apresentados na Figura 9, mostram a contribuição de cada uma das soluções de paredes para cada categoria de impacto ambiental. Tal como esperado, o Tally® revelou que a solução de parede 01 possui menor impacto ambiental na fase de utilização e operação da edificação, uma vez que esta solução construtiva é a que conduz ao menor consumo energético do edifício.

Os resultados obtidos do Tally® são tão mais precisos quanto mais precisa e detalhada for a informação de input associada aos materiais que foram utilizados no modelo BIM. Assim se ilustra a importância do input correto e estruturado por tipos, famílias e objetos para uma adequada avaliação dos diversos parâmetros.

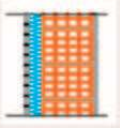
Solução 01		Parede dupla com um pano exterior em alvenaria de tijolo furado de 11 cm e um pano interior em alvenaria de tijolo furado de 11 cm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar com 4 cm de espessura, parcialmente preenchida com isolante térmico em placas – poliestireno expandido extrudido – com 4 cm de espessura e fixado ao pano interior. Os paramentos, interior e exterior, encontram-se revestidos com reboco tradicional com espessura de 2cm.
Solução 02		Parede simples com elemento de suporte em alvenaria de tijolo furado com 22cm de espessura. O isolante térmico é em placas de poliestireno expandido moldado com 6 cm de espessura. O revestimento exterior é em reboco armado com 2 cm de espessura.

Figura 9. Valores dos impactos ambientais obtidos pelo Tally®, 2021.

6. CONCLUSÕES

Neste estudo foi avaliado o fluxo de trabalho utilizando os softwares Autodesk® Formit®, Revit®, Insight®, e Tally®, para explorar as suas potencialidades para auxiliar arquitetos e engenheiros durante o processo de elaboração de projeto de edificações. Para isto, foi avaliado um estudo de caso de uma edificação residencial unifamiliar. Comprovou-se que a utilização do BIM proporcionou recursos para a coleta de dados, análises de sustentabilidade e tomadas de decisões a respeito de escolhas do projeto. Essas vantagens do BIM foram demonstradas na fase inicial de projeto, mas também podem ser aplicadas nas outras etapas de projeto com a evolução da construção do modelo BIM. Observou-se que Autodesk® Formit® possui potencial para analisar a área de sombreamento e a radiação solar incidente nas fachadas e na cobertura, possibilitando assim uma escolha melhor das tipologias da envoltória e definições ainda na etapa inicial de volumetria. Dessa forma, constatou-se que a edificação tem umas fachadas com mais radiação que outras, dependendo da localização e posicionamento, sendo assim possível pensar-se em ter paredes com composições diferentes para melhorar o conforto térmico de acordo com a incidência da radiação solar.

No estudo foi possível analisar o plug-in Insight® que pode ser integrado ao Autodesk® Revit® ou utilizado diretamente na exportação do Formit®. Ele possibilita a análise de eficiência energética do modelo BIM com base no mecanismo de simulações vinculadas a uma ampla rede de dados sobre desempenho energético. Nele são apresentados os resultados iniciais já alcançados pela edificação, mas pode-se testar e simular o desempenho em todo o ciclo de vida da edificação com base em definições projetuais que podem ser escolhidas em tempo real. Também proporciona que o usuário faça diferentes simulações que são baseadas na comparação de *benchmarks*, uma metodologia adotada nacionalmente e acreditada pelo DEO (Desempenho Energético Operacional em Edificações) e o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) como indicador e parâmetro de etiquetagem energética na fase operacional dos edifícios de diversas tipologias e com características e usos semelhantes. Apesar disto o Insight® não possibilita alterar tipologias construtivas diferentes, mas utilizar apenas as já formatadas no sistema e a ferramenta faz o relatório apenas de energia operacional. Constatou-se que o Tally® está focado para a utilização das normas europeias de ACV para edificações. A versão teste mostrou algumas limitações graves, como a impossibilidade de configurar as distâncias de transporte e o uso do banco de dados GABI, não existindo banco de dados para o padrão brasileiro. Apesar disso, o plug-in se mostra eficaz na extração automática de quantitativos do projeto, quantitativo dos impactos ambientais dos materiais e etapas do ciclo de vida do projeto de edificações, entre outros, avaliados a partir de um checklist.

Conclui-se assim, que a utilização desses softwares tem o potencial para serem usados como ferramentas importantes para a difusão do BIM, ACV e análises de sustentabilidade no processo de criação dos projetos de edificações. Destaca-se que a metodologia aplicada pode ser replicada para outras edificações, no entanto, requer algumas melhorias e adaptações para atender as tipologias brasileiras. Por fim, é importante ressaltar que, como quaisquer outras aplicações informáticas, os

softwares e plugins referidos neste artigo passam naturalmente por atualizações ao longo da sua vida, as quais podem superar, ou não, algumas das limitações verificadas neste estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azhar, S.; Brown, J.W.; Sattineni, A. (2010). A Case Study of Building Performance Analyses Using Building Information Modeling. In Proceedings of the 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC-27), Bratislava, Slovakia, pp. 213–222.

Azhar, S.; Carlton, W.A.; Olsen, D.; Ahmad, I. (2011). Building Information Modeling for Sustainable Design and LEED® Rating Analysis. Autom. Constr. 20, 217–224.

Basbagill, J.; Flager, F.L.; Lepech, M.; Fischer, M. (2013). Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts. Build. Environ. 60, 81–92.

Brundtland, G, H. (1987). Report of the World Commission on environment and development." our common future.": UN.

Carvalho, J.P.; Alecrim, I.; Bragança, L.; Mateus, R. (2020). Integrating BIM-Based LCA and Building Sustainability Assessment. Sustainability.

Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., and Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29, 394–416. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.037.

Eleftheriadis, S.; Mumovic, D.; Greening, P (2017). Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Outlooks Based on BIM Capabilities. Renew. Sustain. Energy Rev. 67, 811–825.

Hollberg, A.; Genova, G.; and Habert, G. (2020). "Evaluation of BIM-based LCA results for building design," Autom. Constr., vol. 109, p. 102972.

Li, Y.; Chen, X.; Wang, X.; Xu, Y.; Chen, P.-H (2017). A Review of Studies on Green Building Assessment Methods by Comparative Analysis. Energy Build. 146, 152–159.

Machado, F.; Mota, P.; Stehling, M.; Bernardi, N.; Bertoli, S.; Ruschel, R (2017). APO visando Iluminação Natural com o auxílio do BIM. V Simpósio Brasileiro De Qualidade Do Projeto No Ambiente Construído.

Mahmoud, S.; Zayed, T.; Fahmy, M (2019). Development of Sustainability Assessment Tool for Existing Buildings. Sustain. Cities Soc. 44, 99–119.

Nunes,Gustavo Henrique, Miotto, José Luiz (2019). Desempenho termoenergético do sistema ICF em residências em Maringá-PR: Análise comparativa do ICF e de sistemas de vedação convencionais.

Rezaei, F.; Bulle, C.; Lesage, P (2019). Integrating Building Information Modeling and Life Cycle Assessment in the Early and Detailed Building Design Stages. Build. Environ. 153, 158–167.

Santos, R.; Costa, A.A.; Silvestre, J.D.; Pyl, L (2019). Integration of LCA and LCC Analysis Within a BIM-Based Environment. Autom. Constr. 103, 127–149.

Succar, B (2009). "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," Autom. Constr., vol. 18, no. 3, pp. 357–375.

Sous-Verdaguer, B.; Llatas, C.; García-Martínez, A. (2017). Critical review of BIM-based LCA method to buildings. Energy Build. 136, 110–120.

Documento eletrônico:

AIA. Instituto Americano de Arquitetos. Document What is this thing called LOD? https://network.aia.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=6a27a32c-93e0-4ebc-8ec1-f31c52cf71a4.pdf (acessado 12 de agosto de 2021).

Norma técnica:

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR** Norma Brasileira de Desempenho NBR15575:2013.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve o apoio da Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia, através do Programa Operacional Regional do Norte, referência SFRH/BD/145735/2019.