UMA FERRAMENTA BIM DE PROJETO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

OLIVEIRA, Fernando
Universidade Federal de Sergipe, e-mail: fernandomarcio@hotmail.com
BITTENCOURT, Leonardo
Universidade Federal de Alagoas, e-mail: lsb54@hotmail.com
DÓRIA, David,
Autônomo, e-mail: arq.david.doria@outlook.com

RESUMO

O grau de eficiência energética das construções depende das decisões iniciais de projeto. No entanto, a maioria dos softwares usados para avaliar os edifícios quanto à eficiência energética exige informações geralmente disponíveis nos estágios finais do processo de projeto da edificação. A tecnologia BIM permite que o projetista realize diferentes tipos de simulação e projete um modelo parametrizado, permitindo simulações ágeis do desempenho do edifício, possibilitando a construção de edifícios mais eficientes. O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta de suporte nas fases iniciais do processo de projeto, denominada IDEEA - Integrando Desempenho Energético em Arquitetura, para projetistas estimarem a eficiência energética de habitações unifamiliares nos estágios iniciais do desenvolvimento do objeto arquitetônico usando a tecnologia BIM. A ferramenta IDEEA foi concebida como um sistema baseado na metodologia *Design Science*, em um processo iterativo, e considera o desempenho energético desde as fases iniciais do processo de projeto, com suporte para tomada de decisão, e os resultados encontrados, permite acreditar que o objetivo da pesquisa foi contemplado, contribuindo para o desenvolvimento de edifícios com melhor desempenho energético. A validação da ferramenta ocorreu em um *workshop* realizado na universidade, através de ensaios e estudos-piloto, comparando os resultados obtidos com os existentes na literatura.

Palavras-chave: Fase inicial, Eficiência energética, Processo de projeto, RTQ-R; BIM.

ABSTRACT

Building energy efficiency degree depends upon early design decisions. Nevertheless, most of software used to evaluate buildings the energy efficiency requires information generally available at final stages of building design process. The BIM technology allows the designer to perform different types of simulation and design a parameterized model, allowing agile simulations of building performance, enabling the construction of more efficient buildings. The objective of this work is to describe the development of a support tool for design process in early stages called IDEEA - Integrating Energetic Performance in Architecture, for designers to estimate the energy efficiency of single family dwellings in the early stages of the development of the architectural object using BIM technology. The IDEEA tool has been conceived as a system based on the Design Science methodology, in an iterative process, and considers energy performance from the early phases of the design process, with support for decision making, and the results found, allows us to believe that the objective of the research was contemplated, contributing to the development of buildings with better energy performance. The validation of the tool occurred in a workshop carried on at the university, through trials, and pilot studies, comparing the results obtained with those existing in the literature.

Keywords: *Early stage, Energy efficiency, Design process, RTQ-R; BIM.*

OLIVEIRA, F.; BITTENCOURT, L.; DÓRIA, D. Uma ferramenta BIM de projeto para avaliação de desempenho energético. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 821-831. DOI https://doi.org/10.14393/sbqp19076.

1 INTRODUÇÃO

O processo de projeto é marcado pela contínua ocorrência de dilemas arquitetônicos, bem como do posicionamento do arquiteto frente a eles. Esses dilemas, se materializam como conflitos entre as demandas oriundas dos diferentes condicionantes arquitetônicos: caráter da obra; configuração do partido arquitetônico; demandas bioclimáticas; forma, orientação e topografia do terreno; vistas e vegetação a serem preservadas; definição do sistema construtivo; localização, dimensionamento e tipologia das aberturas; colorido do edifício; entre outras demandas (BITTENCOURT; MONTEIRO; YANNAS, 2015).

Do ponto de vista intelectual e técnico, o projeto de edifícios pode ser sintetizado como um processo cognitivo que transforma e cria informações, mediado por uma série de faculdades humanas, pelo conhecimento e por determinadas "técnicas", sendo orientado à concepção de objetos e à formulação de soluções, de forma a antecipar um produto e sua obra (FABRICIO, 2002).

Uma das principais características dos projetos contemporâneos de edifícios é o fato de a complexidade crescente dos empreendimentos exigir a montagem de equipes de projeto maiores e a mobilização de conhecimentos mais especializados, caracterizando um processo multidisciplinar em que nenhum profissional, isoladamente, detém os conhecimentos e qualificações necessários para exercer um controle sobre a totalidade do processo de projeto (FABRICIO; MELHADO, 2011).

A busca pela eficiência energética em edificações depende em grande parte do projeto arquitetônico que, orientado por princípios bioclimáticos, pode dispensar o uso de condicionamento artificial do ar, ou reduzi-lo sensivelmente. Embora, em tese, a abordagem do conforto ambiental seja inerente ao processo de projeto, a produção arquitetônica que se vê nas cidades mostra que muitas questões relacionadas ao desempenho térmico dessas edificações não são contempladas, o que indica a falta de preocupação de muitos arquitetos com essas questões, ou mesmo o desconhecimento em lidar com todas as variáveis (FREIRE; AMORIM, 2013).

De modo geral, os edifícios consomem 20% a 40% do total de energia produzida; percentual este que está acima dos valores da indústria e dos transportes (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008; HOJJATI; WADE, 2012).

1.1 Etiquetagem

No Brasil, as edificações são identificadas como a principal demanda de eletricidade do país, sendo responsáveis pelo consumo de cerca de 50% do total (MME, 2018). Avalia-se que o setor residencial tem uma previsão de crescimento em torno de 23% até 2030, refletindo as hipóteses de crescimento do nível de renda e de sua maior distribuição, como aconteceu nos anos de 2005 a 2014. Estima-se que o consumo de eletricidade residencial per capita, cujo valor atual é de apenas 38 kWh/mês/hab, possa chegar, em 2030, a 99 kWh/mês/hab, que ainda é um valor inferior aos parâmetros internacionais, porém teríamos um impacto significativo no consumo (LAUSTSEN, 2008).

A partir de 2009 no Brasil, uma parceria entre INMETRO e Eletrobrás viabilizou a implantação dos Regulamentos para o Nível de Eficiência Energética de

Edificações (PROCEL, 2012), baseados nos quais seriam outorgadas etiquetas que mostrassem o desempenho das edificações examinadas em relação à eficiência energética (UMAKOSHI, 2014).

O nível de eficiência energética, avaliado mediante a aplicação da metodologia descrita nos Regulamentos Técnicos da Qualidade (RTQ-R), consiste em uma etiqueta, semelhante às emitidas pelo INMETRO para equipamentos e eletrodomésticos. São avaliados a envoltória da construção e o sistema de aquecimento de água. A classificação é apresentada na forma de níveis de consumo, cuja categorização varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). No caso das edificações, existem dois tipos de etiquetas: uma para o projeto e outra para a edificação construída (PROCEL, 2012).

A avaliação do nível de eficiência energética é feita mediante a aplicação de métodos descritos nos Regulamentos Técnicos da Qualidade (RTQ), sendo para edificações comerciais, de serviço e público usa-se o RTQ-C, e para edificações residenciais, utiliza-se o RTQ-R. Neste último são avaliados o envelope (ou envoltória) da construção e o sistema de aquecimento de água (PROCEL, 2012).

1.2 Processo de projeto

Na elaboração do projeto, o arquiteto depara-se com um conjunto de possibilidades para definição do partido arquitetônico, desde os esboços iniciais até o projeto executivo. As definições e ajustes inerentes a cada etapa do projeto afetam seu desempenho energético e, por sua vez, sugerem adaptações que precisam ser implementadas, como o uso de protetores solares em determinadas fachadas, por exemplo (FERREIRA, 2015; MOHAMED, 2012).

O resultado é que o número de informações torna-se excessivamente grande e difícil de ser gerenciado de modo analógico (ANDRADE, 2012). A fim de superar esse obstáculo, uma nova abordagem que utiliza um processo de projeto integrado deve ser introduzida na indústria de construção (ALAWINI *et al.*, 2013).

Em um processo tradicional para elaboração de projetos arquitetônicos, o fluxo de trabalho localiza as avaliações de desempenho do projeto nas etapas mais avançadas do processo, onde o projeto encontra-se bastante desenvolvido. Nesse momento, caso o desempenho não seja favorável, será preciso retornar às definições iniciais, revisando os conceitos básicos adotados. Tal fato produz um grande retrabalho no processo como um todo.

Os custos de implantação dessas modificações também poderão ser maiores, reforçando que as fases iniciais do processo são as mais adequadas e menos dispendiosas para ajustar os projetos na busca por uma melhor eficiência energética (DAVIS, 2017). Na Figura 1, verifica-se que um projeto arquitetônico se torna cada vez mais difícil de alterar à medida que o desenvolvimento avança para as fases finais do processo.

Os custos dessas decisões para execução também poderão ser maiores. Impactos positivos dos ajustes na qualidade do projeto tendem diminuir à medida que o processo evolui, reforçando as fases iniciais do processo como as mais adequadas e menos dispendiosas para se definir o melhor desempenho do edifício.

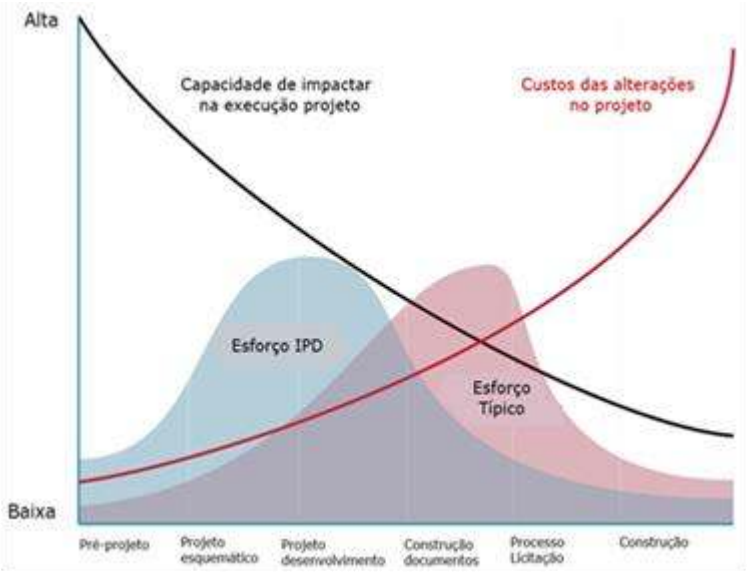


Figura 1 – Nível de impacto e custos em função das fases e modelo do processo de projeto -
Fonte: DAVIS (2017)

Portanto, as fases iniciais do projeto são as mais adequadas (e menos dispendiosas) para se definir o desempenho do edifício. Tal afirmação reforça a necessidade de se avaliar, comparativamente, o impacto exercido por diferentes configurações arquitetônicas no nível de eficiência energética da edificação.

1.3 Projeto integrado e digital

O Processo de Projeto Integrado (IDP – Integrated Design Process) sugere uma abordagem colaborativa na operação nas fases iniciais do projeto, e define a equipe de projeto composta de atores, onde os atores referem-se a todos os participantes que tem uma relevante influência no conteúdo e curso da concepção e realização do projeto. Isso determina a necessidade de um modelo integrado por várias contribuições, incluindo arquitetos e engenheiros (NEGENDAHL, 2015).

Desenvolvimentos tecnológicos e metodológicos nos anos recentes têm permitido a mudança do foco do projeto digital, valorizando o desempenho como uma questão fundamental do processo de projeto. Estas mudanças visam à incorporação do desempenho na geração, avaliação e otimização da forma arquitetônica já nas etapas iniciais do processo de projeto, de modo a contribuir para a melhoria da eficiência do projeto (ANDRADE, 2012).

Os avanços nos sistemas computacionais para o projeto arquitetônico têm possibilitado um sofisticado nível de precisão e controle, não somente na fabricação, mas também na simulação e na mediação de forças ambientais e estruturais (UMAKOSHI, 2014).

O projeto do edifício requer disciplinas diferentes da engenharia e arquitetura para trabalhar e colaborar em um processo de projeto. A equipe tradicional hierárquica de projeto evoluiu para uma equipe de projeto integrada, devido à necessidade de adotar um processo mais eficiente. Com o intuito de simplificar o processo de projeto ponto a ponto, reconhecido pela maioria das partes envolvidas no projeto de construção, a simulação de desempenho de

construção é usada mais extensivamente para reduzir a iteração do projeto. No entanto, uma revisão de software e entrevistas com profissionais de projeto confirmaram a hipótese de que as ferramentas de simulação de desempenho do edifício (BPS – *Building Performance Simulation*) de última geração não atendem às necessidades dos profissionais durante os estágios iniciais do projeto (HOPFE; HENSEN, 2006).

O modelo BIM permite mais facilmente que o processo de projeto possa ocorrer de forma mais integrada e compartilhada, como demonstrado na Figura 2, que apresenta um modelo de processo tradicional (esquerda) e uma integrado (direita).

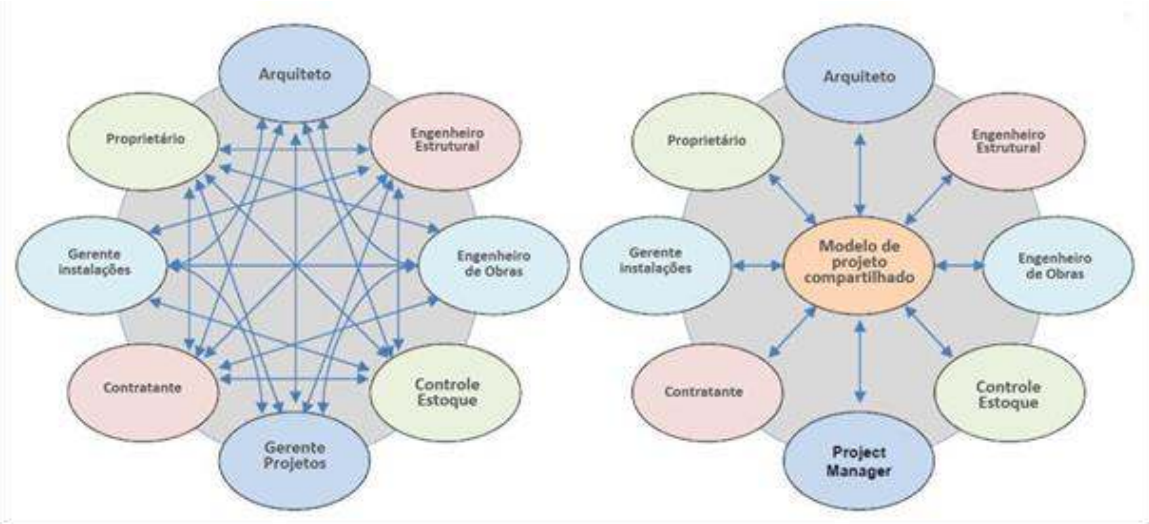


Figura 2 – Diagrama comparativo entre um processo tradicional e um processo integrado -
Fonte: FERREIRA (2015)

Por conta de transformações e exigências atuais no processo de projeto, o BIM passou a ser mais usado, não apenas como meio de armazenar e gerenciar informações sobre o edifício, mas também para contribuir para a transformação e a geração de novas soluções de projeto (EASTMAN *et al.*, 2011).

O Building Information Modeling (BIM) baseia-se num conjunto inter-relacionado de processos, tecnologias e políticas de gerenciamento do fluxo da informação digital na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) (SUCCAR, 2009). Como processos, o BIM envolve o projeto, a construção, a fabricação, o uso e a manutenção do edifício. Como tecnologia, relaciona-se com o desenvolvimento e suporte de sistemas e aplicativos de comunicação, servidores de modelo, e tecnologias de banco de dados. Como política, engloba as melhores práticas, focadas em diretrizes, regulamentações, padronizações e pesquisas (ANDRADE, 2012).

Diante dessa problemática, este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma ferramenta, que forneça resultados de eficiência energética, obtidos simultaneamente ao andamento do projeto em elaboração no programa de modelagem virtual BIM. Deste modo, a ferramenta vai informando ao projetista o desempenho do edifício, nas fases iniciais do projeto arquitetônico de habitações unifamiliares. Como objetivos específicos, pretende-se (i) contribuir para o aperfeiçoamento do processo projetual, a partir da integração do desempenho energético ao projeto arquitetônico, como

também, (ii) simplificar o desenvolvimento de edificações com melhor desempenho energético.

2 METODOLOGIA

Além de uma ampla revisão da literatura relacionada à problemática abordada, a metodologia adotada baseia-se na Design Science Research Metodology (DSRM), proposta por Peffers (2006).

É um método que fundamenta e operacionaliza a condução de pesquisas quando o objetivo a ser alcançado é um artefato, que permita soluções satisfatórias aos mais diversos problemas práticos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Uma característica fundamental dessa metodologia de pesquisa é ser orientada à solução de problemas específicos, não necessariamente buscando a solução ótima, mas a solução satisfatória para uma determinada situação e, em nosso caso, consiste de 3 partes:

a) Definição das etapas do projeto onde serão realizadas avaliações de eficiência energética almejados, bem como dos critérios e padrões referenciais adotados;

b) Integração do desempenho energético ao projeto arquitetônico, apresentando os algoritmos e procedimentos utilizados para avaliação dos níveis de eficiência energética nos modelos virtuais;

c) Realização de experimento no formato de *workshop* para avaliação da usabilidade da ferramenta, bem como identificação das limitações e potencialidades da mesma, tendo em vista seu uso durante a elaboração de um projeto residencial.

3 A FERRAMENTA IDEEA

Como resultados dessa investigação, a ferramenta foi desenvolvida e denominada IDEEA – Integrando Desempenho Energético na Arquitetura, cuja sigla será usada ao longo do texto para designá-la.

Com o auxílio da ferramenta (esquematizada na figura 3) na fase de desenvolvimento do projeto residencial, simulações necessárias podem ser feitas para se obter um desempenho energético mais eficiente, de acordo com os critérios de desempenho adotados do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), padrão de referência brasileira para o tema, e que visa estabelecer as condições para a classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais a fim de possibilitar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) (ELETROBRÁS *et al.*, 2012).

A estrutura teórica da IDEEA baseia-se na integração de BIM, modelagem paramétrica (Autodesk Revit), e programação visual (Dynamo), por um lado, e a interação entre projetistas, por outro. Na Figura 4, pode ser observado as etapas de implantação da ferramenta, que segue um fluxo de trabalho com o objetivo de fornecer suporte para uma melhor tomada de decisão, visando um melhor desempenho energético do edifício.

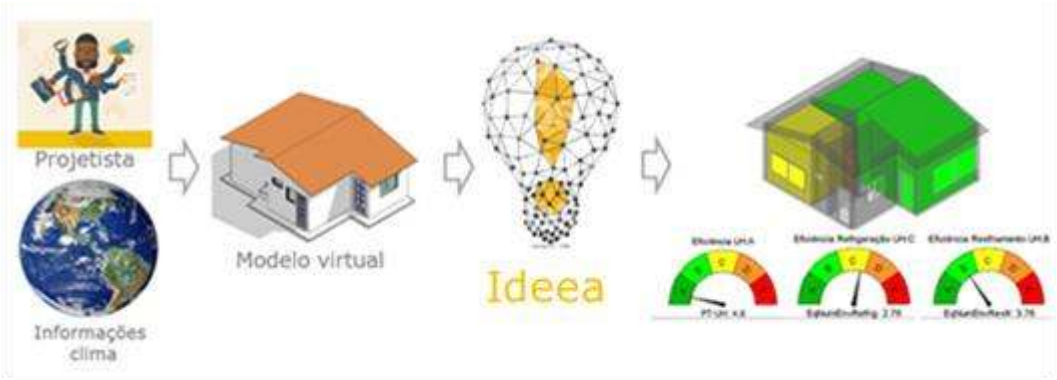


Figura 3 – Esquema geral do fluxo de trabalho da ferramenta -
Fonte: Autores (2018)

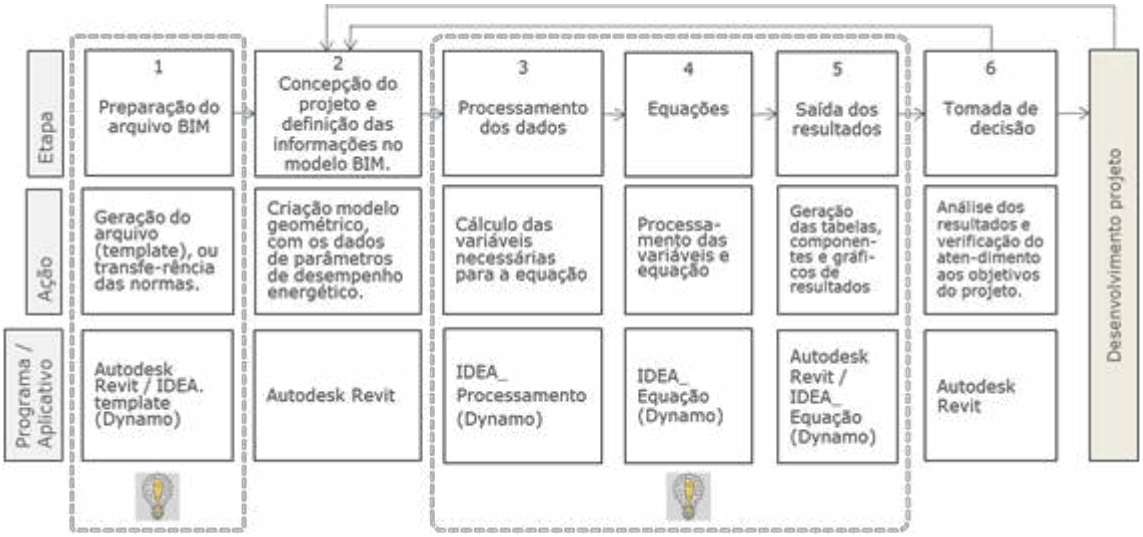


Figura 4 – Processo de implantação das etapas e ações no fluxo de trabalho IDEEA -
Fonte: Autores (2018)

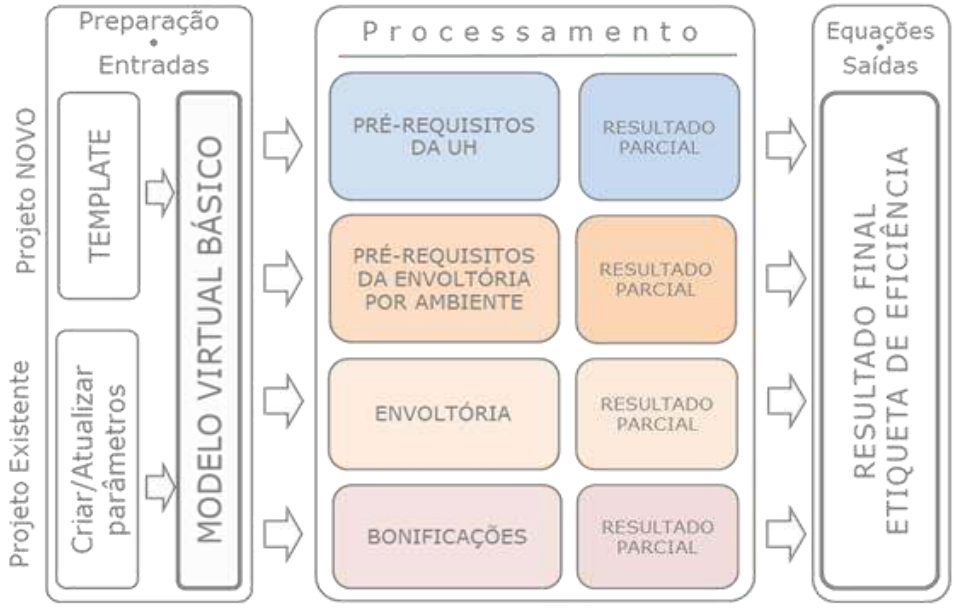


Figura 5 – Fluxograma geral da ferramenta IDEEA -
Fonte: Autor (2018)

Essa estrutura é desenvolvida dentro de um programa de modelagem BIM amplamente utilizado, Autodesk Revit 2019, com linguagem de programação Dynamo 1.3 e Python, para integrar a informação armazenada no modelo virtual paramétrico e simular a eficiência energética do edifício, fornecendo respostas de desempenho mais acessível no processo de projeto.

O fluxograma geral da IDEEA está caracterizado em 03 fases, ilustrado na Figura 5.

1ª Fase - Preparação do modelo virtual e entrada de dados – nessa fase são inseridas as informações necessárias para o processamento dos dados através de um software de modelagem BIM (Autodesk Revit Architecture). O modelo virtual deve conter as variáveis de entrada do processo:

a) Informações de projeto: Zona Bioclimática, Região geográfica, Equivalente numérico de Aquecimento de Água (EqNumAA), e outros;
b) Características térmicas dos componentes: paredes, cobertas, forros, portas e janelas;
c) Ambientes: tipo, variáveis do partido arquitetônico, equipamentos e iluminação artificial eficientes, e outras;
d) Geometria: forma arquitetônica.

2ª Fase - Processamento dos dados – para processar as informações inseridas, e cálculo das variáveis do processo, foi desenvolvido o programa IDEEA_Processamento, que executa a captura dos dados no modelo do projeto no Revit, filtrando, processando e organizando as informações e salvando no mesmo arquivo os resultados processados.

Nessa fase são calculados para os ambientes de permanência prolongada:

i. Atendimento aos pré-requisitos da UH - unidade habitacional - medição individual de água e energia, ventilação cruzada e banheiros com ventilação;
ii. Atendimento aos pré-requisitos da envoltória - paredes, cobertura, iluminação e ventilação natural;
iii. Características térmicas das paredes e coberturas e espaços.

3ª Fase - Equações e saídas – No programa IDEEA_Equação são realizados cálculos das variáveis que determinam a eficiência dos ambientes de permanência prolongada, da envoltória e da Unidade Habitacional. Nesse momento são coletadas as informações geradas na fase anterior, e alimentadas nas devidas equações de acordo com a sua zona bioclimática (ZB), junto com uma relação de constantes que compõem a equação.

Buscando facilitar a leitura e interpretação dos resultados calculados, estes são apresentados em diferentes formatos, como gráficos, tabelas de dados e componentes usados de acordo com a preferência dos projetistas, e utilizadas vistas e plantas com esquemas de cores, e componentes de anotação criados (Figura 6).

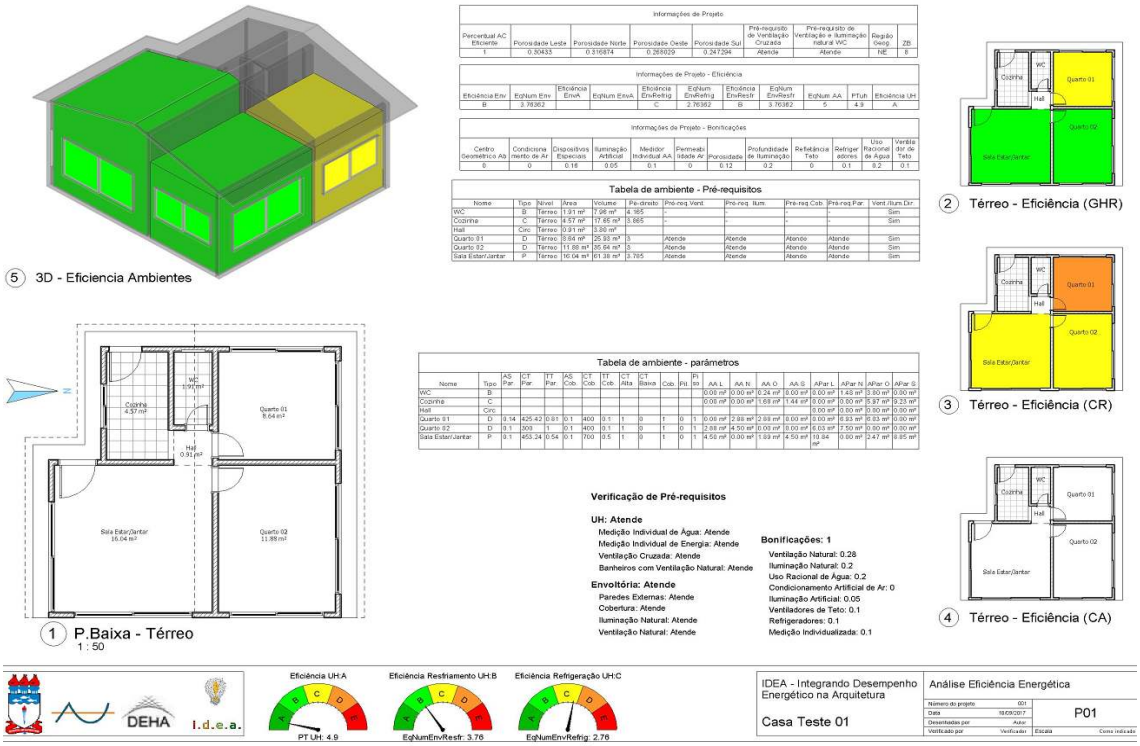


Figura 6 – Prancha modelo com os resultados calculados pela ferramenta -
Fonte: Autor (2018)

4 SIMULAÇÕES E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

No processo tradicional de cálculo da eficiência energética, pode ser utilizada a planilha de cálculo disponibilizada pela Eletrobrás, formato Excel, onde as informações são alimentadas manualmente com base nos desenhos técnicos d0 projeto. A planilha está disponibilizada no site do PROCEL Edifica.

Para a validação dos resultados encontrados pela ferramenta IDEEA, as variáveis de entrada e inseridas manualmente na planilha, e conferidos os resultados das variáveis de saída

Os resultados apresentados pela ferramenta IDEEA foram os mesmos valores encontrados na planilha da Eletrobrás, demonstrando que a ferramenta consegue extrair as variáveis e processa os resultados exatamente igual ao processo manual.

Entretanto, um valor encontrado distingue-se daqueles obtidos através dos cálculos gerados pela planilha e os encontrados pela ferramenta em decorrência do pré-requisito relacionado à ventilação natural, que determina caso não seja atendido os valores mínimos, seja determinado o nível máximo "C" de eficiência para a UH.

Isto ocorreu por uma regra do RTQ-R, que consta na IDEEA, não foi inserida na planilha Eletrobrás, provavelmente por conta das limitações desta. Para esclarecer a diferença, foram alterados a forma de processamento na ferramenta, alinhando ao cálculo da planilha Eletrobrás, e os resultados resultaram idênticos à planilha. Porém, na ferramenta manteve-se o processamento original por estar sendo realizado conforme o que disposto no RTQ-R (ELETROBRÁS et al., 2012).

As UHs devem atender aos pré-requisitos de ventilação natural, tendo aberturas para ventilação com áreas mínimas correspondentes a determinado percentual em relação à área dos ambientes de permanência prolongada. O não atendimento a qualquer pré-requisito implica na obtenção de, no máximo, 3 para o EqNum no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr). Tal situação corresponde ao nível C de eficiência energética quanto a esse quesito. A planilha adotada pela Eletrobrás não tem esse limitador, o que gerou a diferença nos resultados.

5 CONCLUSÕES

Esse artigo teve como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta computacional denominada IDEEA, capaz de realizar simulações do comportamento energético de edificações ainda em fase de elaboração do projeto arquitetônico.

O objetivo proposto foi alcançado: apresentar uma ferramenta de suporte que possibilite ao projetista avaliar a eficiência energética para residências unifamiliares, fazendo análises e simulações simultaneamente ao desenvolvimento da proposta arquitetônica.

A pesquisa está tendo continuidade para poder executar o cálculo de edificações residenciais multifamiliares, além de adequação da ferramenta a nova versão do RTQ-R que segundo informações das instituições responsáveis, está em fase final de desenvolvimento. A intenção é que a ferramenta também incorpore outras tipologias como comerciais, de serviço e institucionais (RTQ-C).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo apoio por meio da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

ALAWINI, A. *et al.* Technology Adoption: Building IT. In: DAIM, T.; OLIVER, T.; KIM, J. (Org.). . **Research and Technology Management in the Electricity Industry**. London: Springer London, 2013. p. 213–228.

ANDRADE, M. **Projeto Performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual.** 2012. 472 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Campinas, 2012.

BITTENCOURT, L. S.; MONTEIRO, L.; YANNAS, S. Conforto Ambiental e as possibilidades do Modelo Adaptativo. **Edifício Ambiental**. São Paulo: [s.n.], 2015. p. 27–35.

DAVIS, D. **The MacLeamy curve**. Disponível em: <http://www.danieldavis.com/macleamy/>. Acesso em: 10 jan. 2017.

DRESCH, A.; LACERDA, D.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. **Design Science Research, Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

ELETROBRÁS *et al.* **Manual para Aplicação do RTQ-R - 4.2**. [S.l: s.n.], 2012. (Versão 1).

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. O processo cognitivo e social de projeto. **Processo de Projeto em Arquitetura**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. p. 57–63.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. Universidade de São Paulo, 2002.

FERREIRA, P. A. P. **A metodologia BIM enquanto ferramenta no projecto de arquitectura**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

HOPFE, C.; HENSEN, J. An approach to use building performance simulation to support design optimization. 2006, [S.l: s.n.], 2006.

MOHAMED, A. S. Y. Sustainable Design and Construction: **New Approachs towards Sustainable Manufacturing**. 2012, [S.l.]: Bhzad Sidawi, 2012. p. 241.

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. **Automation in Construction**, v. 54, p. 39–53, jun. 2015.

PEFFERS, K. *et al.* The design science research process: a model for producing and presenting information systems research. 2006, [S.l.]: sn, 2006. p. 83–106.

PROCEL. *RTQ-R_* **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. [S.l.]: Procel/Eletrobras.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, maio 2009.

UMAKOSHI, E. **Avaliação de Desempenho Ambiental e Arquitetura Paramétrica Generativa para o projeto do edifício Alto**. 2014. 253 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.