

NATÁLIA KOKUMAI NAKAMURA E JOYCE CORRENA CARLO

Introdução ao uso de sistemas BIM (building information modeling) para simulação termo-energética

Introduction to the use of systems BIM (building information modeling) for thermal energy simulation

Natália Kokumai Nakamura é Mestranda no Programa de Arquitetura, Tecnologia e Cidade da UNICAMP. Graduada em Arquitetura e Urbanismo (UFV). Realiza pesquisa na área de sustentabilidade e inserção de novas tecnologias no modo de projetar.

E-mail: natalianakamura.arq@gmail.com

Joyce Correna Carlo é graduada em Arquitetura e Urbanismo, Especialista em Análise Urbana (UFMG), Mestre e Doutora em Engenharia Civil (UFSC). Pós-doutorado (UFSC) e Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (UFV).

E-mail: joycecarlo@ufv.br

Resumo

O consumo de energia representa um dos maiores custos ao longo da vida útil de uma edificação. No Brasil, a questão da eficiência energética ganhou relevância na última década, como leis e regulamentos técnicos publicados no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica por parte dos edifícios comerciais, públicos e residenciais. Com o advento de novas tecnologias, o processo projetual está sofrendo grandes mudanças. Dentre estas novas tecnologias, desenvolveu-se a plataforma BIM (*Building Information Modeling*), que está sendo amplamente difundida pelo mundo. Com o objetivo de aliar as facilidades proporcionadas pela Plataforma BIM às perspectivas atuais de redução do consumo de energia de edificações, esta pesquisa visa a estudar a possível interoperabilidade entre um programa da Plataforma BIM, ArchiCad, e dois programas de simulação termo-energética, EnergyPlus e Daysim. Duas metodologias diferentes foram utilizadas para esta análise, por meio de dois projetos de edifícios para o clima de Viçosa - MG. A partir de referências e estudos, verificou-se quais os dados de entrada do ArchiCad que poderiam alimentar o EnergyPlus e que variáveis do EnergyPlus poderiam re-alimentar a modelagem no ArchiCad. Deste modo, constatou-se o potencial de 70% dos dados básicos de entrada do EnergyPlus que são passíveis de interagir diretamente com o programa ArchiCad. Em outro momento, analisou-se a possível interoperabilidade entre o programa ArchiCad e Daysim por meio da importação direta de um modelo para simulação no Daysim. A partir da comparação entre os resultados de um mesmo modelo importado do Sketchup (método convencional) e do ArchiCad, verificou-se a não existência de significativas diferenças entre eles. Deste modo, conclui-se que a interoperabilidade entre os programas de simulação energética e a Plataforma BIM, ainda que necessite de ajustes, possui grande potencial.

Palavras-chave: BIM. Eficiência Energética. Interoperabilidade.

Abstract

Energy consumption is one of the largest costs over the lifetime of a building. In Brazil, the subject of energy efficiency became relevant in the last decade, as laws and technical regulations published in the Brazilian Labeling Program (PBE) of INMETRO in order to reduce the electricity consumption by Commercial, Public and Residential buildings. The rise of new technologies brought many changes in the design process. The BIM software was developed among these new technologies, and it was quickly widespread throughout the world. In order to combine the facilities afforded by BIM to the perspectives of reducing energy consumption of buildings, this research aims to study the possible interoperability between BIM softwares and thermal and energy simulation softwares, focusing on EnergyPlus and Daysim. Two different methodologies were used for the analysis, using two building models with the climate of Viçosa - MG. The literature and the performed simulations identified which input data of ArchiCad could be inserted in EnergyPlus and which EnergyPlus outputs could be inserted in ARCHICAD model. Thus, it was found that 70% of the basic input data of EnergyPlus can be directly inserted in the thermal model using ArchiCAD modeling. Later, the potential of interoperability between ArchiCAD and Daysim was analyzed by importing an ArchiCAD model in Daysim. The comparison of a model created in Sketchup (conventional method) and an identical model created in ArchiCad showed no significant differences in their results. Therefore, it is concluded that the interoperability between energy simulation softwares and BIM is possible, although it still requires some adjustments.

Keywords: BIM. Energy Efficiency. Interoperability.

Introdução

Atualmente, os profissionais das diversas áreas já perceberam a necessidade preeminente da redução do consumo de energia. Com isso, diversos órgãos criaram regulamentos e leis a fim de reduzir o consumo de energia por todo o mundo.

Em 2009, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) em parceria com o governo federal, publicou o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C (BRASIL, 2010a) e posteriormente, em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, o RTQ-R (BRASIL, 2012), com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica por parte dos edifícios comerciais, públicos e residenciais.

Com o advento de novas tecnologias, o processo projetual do edifício também tem sofrido grandes modificações, da tinta e papel que eram utilizadas antigamente, passou-se para as ferramentas computacionais em 2D e, atualmente, já se utilizam ferramentas computacionais em 3D, que permitem maior rapidez no processo projetual, uma vez que o edifício já é pensado como um todo e a planta-baixa, cortes, fachadas e a volumetria do edifício são projetadas simultaneamente.

Uma das ferramentas projetuais desenvolvidas e que está em voga atualmente é a plataforma computacional BIM. Muitas empresas e construtoras do Brasil e do mundo já estão utilizando esta ferramenta de modo a facilitar o processo projetual.

A fim de aliar essa facilidade que a Plataforma BIM fornece ao processo projetual e aliando às perspectivas atuais de redução do consumo de energia de edificações, este artigo visa mostrar a interoperabilidade entre um programa da Plataforma BIM e programas de simulação de desempenho ambiental, tanto termo-energético quanto de iluminação natural, pois, desse modo, o projetista pode criar o projeto sob os critérios avaliação de desempenho, um dos objetivos do processo de projeto BIM.

Revisão da Literatura

Avaliação de desempenho

A redução do consumo de energia é um tema amplamente discutido na atualidade. A necessidade da redução do consumo de energia já se tornou consensual não só entre os estudiosos e especialistas, como também para a população em geral. Desse modo, a presença de arquitetos que estejam preocupados com a questão da sustentabilidade e do uso de energia é imprescindível, pois pequenas decisões de projeto podem afetar de maneira significativa o consumo de energia de um edifício (HETHERINGTON et al., 2011).

No Brasil, a questão da eficiência energética se intensificou em 2001, quando foi sancionada uma primeira lei federal que visa alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2001). E em 2009, o PBE Edifica foi lançado como o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), atualmente Requisitos Técnicos (BRASIL, 2010a), como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, seguindo o exemplo de vários outros países.

Desde então, muitos programas destinados à construção civil com foco na economia de energia do edifício estão em desenvolvimento ou já em uso (MITCHELL, 2011). Como exemplos para avaliação de desempenho pelo PBE Edifica, citam-se os programas abordados por Mendes, Lamberts e Neto (2001), tais como Energy Plus, e a análise realizada por Ramos e Ghisi (2010), com o mesmo programa.

O EnergyPlus é um programa que simula o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação e que são relevantes no seu desempenho, tais como climatização (resfriamento, aquecimento e ventilação), iluminação, cargas internas, propriedades térmicas de materiais e outros elementos que participam das trocas térmicas (CARLO, 2008).

Como exigido pelo RTQ-C, o EnergyPlus é aprovado pelo método BESTEST da Standard 140 (ASHRAE, 2004). Disponibiliza ferramentas e opções de simulação que permitem uma flexibilização da metodologia de acordo com os objetivos da simulação e seus recursos podem facilitar as análises posteriores devido ao grande número de dados de saída (CARLO, 2008).

Pedrini et al. (2010) mostraram, por meio de simulações, que a classificação da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C pode deixar de contemplar soluções arquitetônicas de comprovada eficiência energética devido à padronização das variáveis que influenciam o consumo energético decorrente da envoltória de edificações. Também citaram a potencialidade do método de simulação computacional como ferramenta de análise do consumo energético de edifícios para suprir as limitações do método prescritivo e salientaram a importância das recomendações bioclimáticas desde as fases iniciais do projeto, como forma de assegurar o bom desempenho térmico e energético do edifício.

Já o DaySim é um programa de simulação de iluminação, cujo objetivo é fornecer parâmetros de iluminação tais como automação do sistema de iluminação artificial e o Fator de Luz Diurna, em pontos e superfícies pré-determinados no interior do edifício. Deste modo, é possível verificar o nível de conforto visual dos ocupantes deste edifício, bem como estimular a redução do consumo de energia elétrica (REINHART, 2010).

De acordo com Ramos e Ghisi (2010), o Daysim/Radiance utiliza o método do raio traçado e o EnergyPlus, o método do fluxo dividido. Porém, como no método do fluxo dividido a parcela refletida é dividida igualmente pelo espaço, alguns pontos acabam recebendo uma parcela maior do que a que realmente ocorre. Desse modo, o programa EnergyPlus não é aconselhável para o cálculo das iluminâncias internas pelo uso da iluminação natural, pois resulta em valores bem maiores que os medidos, e o Daysim é geralmente usado para compensar essa limitação.

Plataforma BIM

O modelo de representação projetual de plantas, cortes e fachadas pouco mudou durante séculos, até que a segunda metade do século XX trouxe grandes mudanças ao processo projetual. A cada dia, novas tecnologias são introduzidas no mercado a fim de facilitar a troca de informações entre os profissionais de diversas áreas que atuam no projeto de um edifício. Dentre as novas tecnologias, desenvolveu-se a plataforma BIM (*Building Information Modeling*), cujo processo projetual viabiliza o chamado *performance based design*, projeto baseado no desempenho. Nesse processo, as características da edificação são decorrentes de uma avaliação sistêmica, cujos critérios incluem o desempenho ambiental - como térmico, luminoso, acústico - e estrutural, dentre outros.

Segundo Corrêa e Ruschel (2010), os três aspectos fundamentais do BIM são a modelagem paramétrica para desenvolvimento do “modelo único”, a interoperabilidade para integração e colaboração e troca de informações dos envolvidos e a possibilidade de gestão e avaliação sistêmica do projeto em todo o seu ciclo de vida. Deste modo, tem-se uma ampliação da percepção do problema e da elaboração de imagens para possíveis soluções.

A plataforma BIM é um sistema de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, o qual gera uma base de dados que contém tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, cálculo energético e previsão das fases da construção, entre outras atividades. Para realizar funções específicas e complementares ao programa principal, alguns pesquisadores criam extensões de programas, ou *plug-ins*, que podem ser instalados gradativamente no programa base (MENEZES, 2011). Em geral, são decorrentes de estudos referentes à interoperabilidade entre a Plataforma BIM e o programa que avalia o desempenho, realizados com o objetivo de facilitar o processo de criação projetual por incluir o processo de determinação dos critérios de desempenho. Dentre os critérios, destaca-se neste artigo a eficiência energética da edificação segundo o PBE Edifica que, segundo Menezes (2011), é ainda incipiente. Apesar de as promessas do BIM em termos de desenvolvimento do modelo completo de análise energética divulgada pelos fabricantes, a interoperabilidade entre os programas ainda é problemática. Portanto, se a implementação for possível, há ainda muito por fazer.

Mitchell (2011) apontou, como o principal problema, a questão da criação das zonas térmicas na Plataforma BIM, base de modelagem e análise pelo programa EnergyPlus. Os sistemas de ventilação natural também são considerados de difícil modelagem devido à sua complexidade. Hetherington et al. (2011) também aborda a questão das zonas térmicas e o fato da plataforma BIM focar prioritariamente a geometria do edifício. Quanto ao uso da edificação, sejam os padrões de horas ou dados de ocupação, luz etc. é possível inseri-los com facilidade com o recurso IFC (*Industry Foundation Classes*)¹.

Muitas pesquisas têm sido realizadas e alguns programas desenvolvidos a fim de melhorar a interoperabilidade entre os programas, como o *IFCtoIDFProgram*, desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) no período entre 1999 a 2004 com o apoio da *US Department of Energy* (USDOE) (MITCHELL, 2011). E a extensão, *gbXML* desenvolvida para transformar a informação que a simulação energética necessita (HETHERINGTON et al., 2011).

Além disso, diversas organizações internacionais, como a *International Alliance for Interoperability* (IAI), *building SMART Alliance* e *building SMART International* (BUILDINGS-MART, 2011), têm sido criadas a fim de implementar o uso do *Building Information Modeling* (BIM), por meio da integração entre os softwares utilizados por profissionais das diversas áreas (MITCHELL, 2011).

Objetivo

O objetivo deste artigo é apresentar o potencial de interoperabilidade entre um programa computacional baseados na plataforma BIM e os programas de simulação energética, EnergyPlus e DaySim.

1. Arquivo de saída de programas que adotam a Plataforma BIM que, segundo Mitchell (2011), é rico em classes de informação da representação geométrica.

Método de Pesquisa

O método adotado constou de definição do modelo computacional a ser analisado, modelagem, simulação e processamento e análise dos resultados.

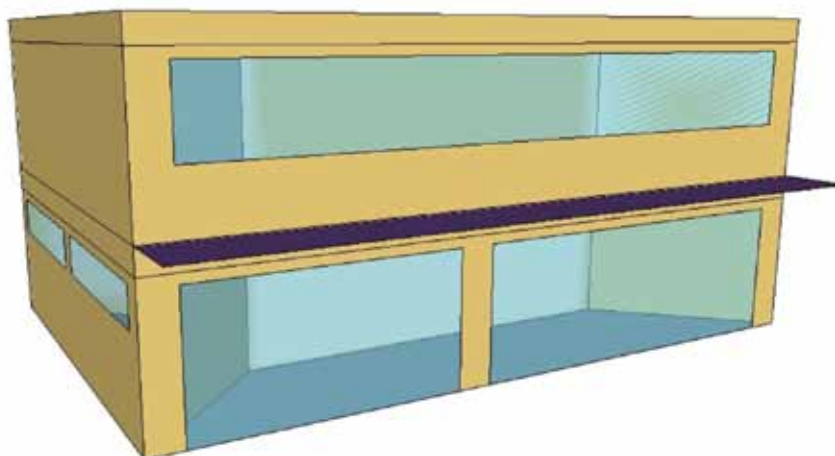
Para efeito de análise, foram utilizados dois edifícios fictícios para a cidade de Viçosa - MG: um banco condicionado artificialmente e uma loja condicionada naturalmente, com ventilação cruzada entre ambientes. O banco ainda tem potencial para economia de energia do sistema de iluminação por automação, o que também foi explorado. O primeiro consiste no modelo padrão de um banco (Figura 1) constituído por três ambientes principais, o autoatendimento e o atendimento interno, localizados no piso térreo, e a administração localizada no segundo pavimento. O modelo possui cinco aberturas externas, sendo três janelas que permitem apenas a entrada de iluminação no ambiente e duas portas automáticas. Os ambientes são resfriados através de um sistema de ar-condicionado central, que alimenta dois plenums de altura de 39 cm, localizados acima de cada pavimento (FRIAS, CARLO e PAIXÃO, 2012).

O edifício é considerado de uso comercial, com horário de funcionamento das 10 às 18 horas, sem intervalo para almoço e lanches.

Figura 1

Vista da maquete eletrônica do modelo do banco, desenvolvido com o Legacy Open Studio para Sketchup.

Fonte: Frias, Carlo e Paixão (2012).

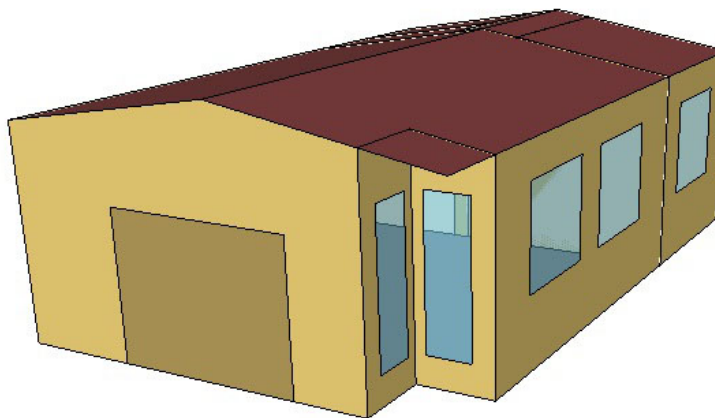


O segundo consiste no modelo de uma loja (Figura 2) que possui três ambientes principais: o atendimento, os banheiros e a copa, interligados por um corredor, em pavimento único. Possui 11 aberturas externas, sendo que uma é a porta automática, as demais são janelas que permitem a entrada tanto de iluminação quanto de ventilação natural. Internamente, a ligação entre os ambientes é feita através de portas simples. A edificação possui o seu piso em contato com o solo.

Figura 2

Vista da maquete eletrônica do modelo da loja desenvolvido com o Legacy Open Stucio para Sketchup.

Fonte: Elaborado pela própria autora.



A interoperabilidade dentre os programas ArchiCad 15, desenvolvido pela Graphisoft, EnergyPlus versão 7.2 e DaySim versão 2.1 foi avaliada, com auxílio dos plug-ins OpenStudio e o programa Sketchup. A Erro: Origem da referência não encontrada mostra os modelos utilizados em cada análise.

Figura 3

Tabela 1: Metodologia de análise utilizada na pesquisa.

Fonte: Elaborado pela própria autora.

	Metodologia de análise	
	Programa EnergyPlus	Programa Daysim
Modelo utilizado	Banco e Loja	Banco
Programa de modelagem	ArchiCad e Sketchup com plugin Open Studio, EnergyPlus	ArchiCad e Sketchup
Programa de simulação	EnergyPlus 7.2	DaySim 2.1
Análise	Dados de saída do ArchiCad; dados de entrada para o EnergyPlus; dados de saída do Energy Plus; dados de entrada para o ArchiCad. (análise cíclica)	Dados de saída do ArchiCad; dados de entrada do DaySim. Dados de saída do ArchiCad; dados de entrada do DaySim. (análise paralela)

Método de análise para o programa EnergyPlus

O Energy Plus abrange uma série de dados e informações necessários a sua simulação (CRAWLEY et al., 2008). Para esta pesquisa, dados básicos que viabilizam uma simulação no EnergyPlus foram selecionados a fim de permitir uma avaliação típica do desempenho de edificações comerciais ao longo do desenvolvimento de um projeto. Eles são: localização, padrão de uso, materiais, janelas, geometria, ocupação, iluminação, equipamentos elétricos, ventilação natural, ar-condicionado e infiltração de ar. Portanto, sistemas geradores de energia local (eólica e fotovoltaica), sistemas complexos de condicionamento de ar (central com ciclo economizador, bancos de gelo, torres de resfriamento), cogeração ou trigeração (radiação, vapor, energia elétrica), materiais inovadores (PCM – *Phase Change Materials* – materiais de mudança de fase), métodos de cálculo avançados (tais como diferenças finitas), são alguns exemplos de recursos adicionais que não foram testados. O banco foi utilizado para simulação de ambientes condicionados artificialmente e a loja, para simulação de ambientes condicionados naturalmente pelo modelo de ventilação de rede do EnergyPlus (GU, 2007).

Os dois projetos foram modelados no programa ArchiCad e as suas ferramentas foram exploradas a fim de se verificar quais os dados de entrada do EnergyPlus que poderiam ser inseridos ainda durante o processo projetual de um edifício.

Eles também foram desenvolvidos inicialmente no programa Sketchup com plugin Open Studio (geometria e materiais) e, posteriormente, simulados no programa EnergyPlus (restante da modelagem e simulação). As variáveis de saída obtidas pela simulação foram analisadas a fim de se verificar quais poderiam realimentar o programa ArchiCad, tornando o processo ainda mais completo.

Portanto, foram analisadas quais variáveis do ArchiCad poderiam alimentar o EnergyPlus e quais variáveis do EnergyPlus poderiam re-alimentar a modelagem no ArchiCad, o que se configura em um processo cíclico (Figura 4).

Figura 4

Desenho esquemático do processo de avaliação cíclico entre o ArchiCad e EnergyPlus.

Fonte: Elaborado pela própria autora.



Método de análise para o programa DaySim

Reinhart (2010) mostra que é possível inserir um modelo no DaySim como uso de três programas diferentes: o Sketchup, o Ecotect e o AutoCad, nos quais é possível salvar no formato 3ds. Além disso, sabe-se que o programa ArchiCad também permite salvar o projeto no formato 3ds. A fim de verificar a confiabilidade deste procedimento, realizou-se a simulação do mesmo projeto por meio da modelagem em dois programas diferentes: o Sketchup e o ArchiCad. O edifício utilizado foi o modelo padrão do banco, pois tal tipologia apresenta maior potencial de aproveitamento da luz natural por automação, o que é um dos recursos do Daysim.

Na modelagem do Sketchup foram levadas em consideração as espessuras das paredes, pisos e forros, uma vez que o ArchiCad também as considera. Mesmo que o Daysim não necessite necessariamente desta informação para a simulação, pois a modelagem pode ser simplificada com a inserção das superfícies apenas, assim foi realizado para uniformizar a geometria representada no ArchiCad com a geometria do Sketchup. Utilizou-se o arquivo climático de Viçosa - MG, do tipo TMY (GUIMARÃES e CARLO, 2011) com passo de tempo de cálculo de 15 minutos para ambas as simulações. A malha de pontos utilizada para obtenção dos dados de saída foi a mesma para ambos os arquivos.

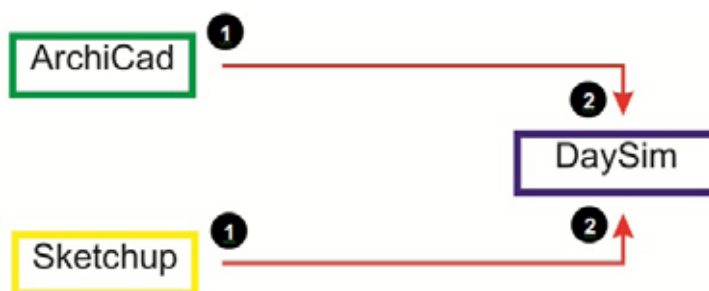
Na modelagem no programa ArchiCad foi levada em consideração apenas a geometria do edifício e a diferença entre as refletâncias dos materiais dos diversos elementos.

Os dados analisados visavam identificar possíveis distinções entre os resultados de saída do DaySim decorrentes do uso de diferentes métodos de modelagem. Como visto, esse método se configura em um processo paralelo entre o ArchiCad e o Sketchup, e ambos lineares com o DaySim (Figura 5).

Figura 5

Desenho esquemático do processo de avaliação paralelo entre o ArchiCad e Sketchup com o Daysim.

Fonte: Elaborado pela própria autora.



Resultados

ArchiCad x EnergyPlus

O Quadro da Figura 6 dispõe de dados de entrada básicos do programa EnergyPlus para simulação e mostra aqueles que são possíveis de exportar diretamente, aqueles com potencial de exportação, mas com necessidade de adequações, e aqueles em que não é possível a exportação até o presente momento (fevereiro de 2013). Tais informações podem subsidiar a criação de um plugin do ArchiCad para o EnergyPlus e vice-versa.

O arquivo climático da cidade, importante para a simulação no EnergyPlus, não é possível de ser inserido no programa ArchiCad, tampouco os dados climáticos em separado. É possível inserir apenas altitude, latitude e longitude da cidade onde o edifício a ser analisado está inserido.

A partir da análise do Quadro da Figura 6, pode-se perceber que os dados referentes aos materiais opacos e translúcidos, como tipo de material, propriedades e localização, podem ser facilmente inseridos no programa ArchiCad sem remodelagem no EnergyPlus.

Em relação aos sistemas de ventilação natural e ar-condicionado, devido à sua complexidade, o ArchiCad não dispõe de campos para inserção de todas as informações necessárias. Apenas dados básicos, como características das aberturas, fluxo de ar e alguns dados referentes ao clima, são possíveis de serem inseridos. Em relação ao ar-condicionado, no sistema simples², é possível apenas especificar a sua localização, a potência e o fluxo de ar que passa por ele.

Quanto à ocupação, iluminação e equipamentos elétricos, o ArchiCad possibilita especificar a sua localização (em qual zona se encontra) e a potência total. No caso da ocupação, é possível declarar o número de pessoas por zona térmica desde a modelagem no ArchiCad.

As informações referentes ao padrão de uso de pessoas, iluminação e equipamentos elétricos, que consiste na quantidade de horas que haverá atividade em determinado ambiente, não são possíveis de serem inseridas. O ArchiCad não fornece um campo para este tipo de detalhamento.

Em relação às zonas térmicas, o ArchiCad permite a criação de zonas, bem como a

² O sistema simples de condicionamento de ar refere-se àquele que utiliza um equipamento independente para realizar o condicionamento do ambiente.

especificação de sua altura. Porém, acredita-se que os programas fazem leituras diferentes do que entendem por zonas. O ArchiCad representa a zona como o espaço arquitetônico delimitado por fechamentos como paredes, teto e piso. Enquanto que a modelagem no EnergyPlus tem como consequência a mesma definição, ou seja, a criação de zonas térmicas é delimitada por paredes ou divisórias, tetos e pisos. No entanto, uma zona térmica representa um ou mais espaços térmicos submetidos às mesmas condições de balanço térmico e não dependem da existência de fechamentos. Deste modo, embora seja possível simular o modelo do ArchiCad como um modelo arquitetônico com os fechamentos originais, essa opção pode aumentar o tempo de modelagem e simulação e inviabilizar as vantagens de interoperabilidade entre os programas. Tal condição depende do edifício modelado e de seus sistemas. Portanto, há necessidade de adequação e maior compatibilidade entre os programas ou uma reflexão e interferência ativa do simulador.

Figura 6

Quadro 1 – Dados básicos de entrada do programa EnergyPlus e sua interoperabilidade com o programa ArchiCad

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Localização	Latitude	Longitude	Altitude	Arquivo climático		
Padrão de Uso	Horários de funcionamento					
Materiais	Espessura	Densidade	Calor específico	Absortância Térmica	Absortância Solar	Transmitância Térmica
Janelas	Material	Espessura	Transmitância	Refletância		
Constructions	É possível especificar as camadas de materiais de cada elemento					
Geometria	Zonas					
Edifício	Paredes	Material	Localização			
	Cobertura	Material	Localização			
	Piso	Material	Localização			
	Janelas	Material	Localização			
	Portas	Material	Localização			
Ocupação	Localização	Padrão de Uso	Número	Fração Radiante	Tipo de Atividade ou Metabolismo	
Iluminação	Localização	Padrão de Uso	Potência Total (W)	Fração Radiante	Fração Visível	
Equipamentos Elétricos	Localização	Padrão de Uso	Potência Total (W)	Fração Latente	Fração Radiante	Fração Perdida
Ventilação Natural	Coefficientes de pressão	Direção dos coeficientes	Nós externos	Características de abertura	Padrão de uso janelas e portas	Localização janelas e portas
	Volume do Fluxo de Ar	Massa de Ar	Temperatura	Umidade	Pressão	Coefficiente de Descarga
Ar condicionado	Sistema simples	Sistema complexo				
Infiltração	Taxas de infiltração por zona					

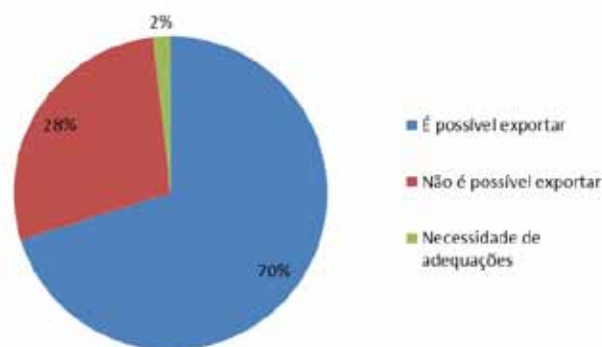
Legenda

ArchiCad para EnergyPlus	
	é possível exportar diretamente
	há necessidade de adequações
	não é possível exportar; é necessário a entrada manual de dados no EnergyPlus

Figura 7

Discriminação da porcentagem de dados possíveis ou não de se exportar para o EnergyPlus.

Fonte: Elaborado pela própria autora.



A partir da Figura 7, percebe-se que o percentual de dados possíveis de se exportar ao EnergyPlus é predominante (70%) em comparação àqueles em que não é possível a exportação (28%). Deste modo, acredita-se que, caso já exista o modelo no ArchiCad, há benefícios de economia de tempo de modelagem do edifício no EnergyPlus com a exportação do modelo; o mesmo vale para caso ainda não se tenha desenvolvido o projeto. A escolha do ArchiCad poderá viabilizar uma simulação em tempo menor do que se o projeto for representado bi-dimensionalmente.

Posteriormente, outra análise foi realizada considerando os dados de saída do EnergyPlus que poderiam realimentar o ArchiCad. A partir das simulações dos modelos do banco e da loja, verificou-se a existência de 288 variáveis de saída possíveis, porém destes, apenas 29 são possíveis de realimentar o programa ArchiCad, ou seja, apenas 10% das variáveis de saída do EnergyPlus. Na Tabela da Figura 8 verificam-se as principais variáveis.

Figura 8

Tabela 2 – Dados básicos de saída do Programa EnergyPlus.

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Dados climáticos	Umidade					
Ocupação	Número	Carga Térmica				
Iluminação	Potência Total	Carga Térmica				
Equipamentos Elétricos	Potência Total	Carga Térmica				
Aberturas Translúcidas	Transmitância Solar	Carga Térmica				
Zonas	Temperatura do Ar	Umidade	Temperatura do Termostato	Carga Térmica		
Ar Condicionado	Potência Total Produzida	Fluxo de Ar	Umidade	Pressão	Entalpia	Temperatura de bulbo úmido
Ventilação Natural	Fluxo de Ar					

ArchiCad x DaySim

Em um primeiro momento, houve a tentativa de importar o arquivo 3ds salvo no ArchiCad diretamente para o Daysim, porém este não conseguiu reconhecer o arquivo. Desse modo, o arquivo no formato 3ds do ArchiCad foi importado primeiramente para o Sketchup, alterando apenas a escala do modelo, e logo após, salvo novamente no formato 3ds. Em seguida, foi possível importá-lo para o DaySim, e o programa re-

conheceu o arquivo normalmente. Foi verificado, portanto, que, apesar do programa ArchiCad salvar o arquivo em 3ds, o DaySim não o lê diretamente, sendo necessário o Sketchup como uma “ponte” entre as interfaces.

Os valores de refletância e transmitância dos elementos do edifício foram inseridos manualmente de acordo com a Tabela da Figura 9. Ela mostra também as cores para cada componente utilizado como elemento no programa. A linguagem foi mantida como listado pelo programa.

Figura 9

Tabela 3 – Relação entre materiais, elementos e seus valores de refletância e transmitância.

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Relação refletâncias e materiais					
Tipo		Refletância	Transmitância	Sketchup	ArchiCad
Parede		0,8	1,937	Cor D04	Paint 01
Piso		0,3	2,998	Cor F21	Surf-Concrete Dark
Janela	Vidro	0,075	0,837	Cor Translucent Glass_Blue	Glass_Clear
	Esquadria	0,85		Wood_Board_Cork	Wd_Pine Horizontal
Forro		0,3		Cor 000	Surf-Stucco
Cobertura		0,3	3,585	Cor A11	Roof-Tile Dutch
Brise		0,8444		Cor J11	Mtl-Aluminium

Embora tanto a simulação do modelo do banco proveniente do Sketchup e quanto a proveniente do ArchiCad foi realizada, foi observado que aquela que foi originada do ArchiCad consumiu mais tempo do que a originada do Sketchup. A Tabela 4 da Figura 10 mostra os resultados resumidos provenientes das duas simulações .

Os resultados entre ambas as simulações foram muito semelhantes (Figura 10). Assim, pode-se concluir que o arquivo importado do programa ArchiCad possui a mesma veracidade de informações que o arquivo importado do Sketchup. Desse modo, a análise de iluminação no programa DaySim de um edifício modelado na plataforma BIM é possível sem grandes dificuldades e os resultados são confiáveis. Deve-se lembrar, no entanto, que o Sketchup é necessário para *ajustar* o modelo 3ds do ArchiCad – o que pode ser responsável pelas pequenas diferenças – embora o trabalho seja menor que modelar novamente o edifício no Sketchup.

Figura 10

Tabela 4 – Médias entre os resultados, diferença absoluta e percentual das médias.

Fonte: Elaborado pela própria autora.

	Daylight Factor	Daylight Autonomy	Continuous Daylight Autonomy	Daylight Autonomy Máximo	Useful Daylight Autonomy <100	Useful Daylight Autonomy 100-2000	Useful Daylight Autonomy 1000-2000	Daylight Saturation Percentage	annual light exposure
	DF [%]	DA [%]	DA _{cont} [%]	DA _{max} [%]	UDI _{<100} [%]	UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ [%]	UDI ₁₀₀₀₋₂₀₀₀ [%]	DSP [%]	annual light exposure [luxh]
Médias do modelo gerado no ArchiCad	0,0	43,5	44,8	34,9	54,4	6,4	39,5	0,0	45819217,6
Médias do modelo gerado no Sketchup	0,0	43,5	44,8	34,9	54,4	6,4	39,5	0,0	45821628,1
Diferença absoluta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2410,5
Percentual das médias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Considerações Finais

A interoperabilidade entre os programas de simulação termo-energética e a Plataforma BIM possui grande potencial, mas ainda há a necessidade de estudos e pesquisas a fim de tornar este processo viável.

Na análise entre os programas ArchiCad e EnergyPlus verificou-se um grande potencial de interoperabilidade que poderá facilitar o trabalho dos projetistas que já desenvolverão seus projetos levando-se em consideração as questões de sustentabilidade e de redução do consumo de energia.

Porém, esta interoperabilidade, ainda que necessária, necessita de ajustes. A partir desta pesquisa, verificou-se o potencial de 70% dos dados básicos de entrada do EnergyPlus que são passíveis de serem inseridos diretamente com o programa ArchiCad, via um *plugin*. Vale salientar que esta pesquisa abrangeu apenas os dados básicos de entrada do EnergyPlus, dados específicos referentes, por exemplo, a painéis solares, não foram analisados e não foram contabilizados para o cálculo deste percentual. Portanto, este percentual, ainda que acima da média, pode-se reduzir ao considerar sistemas específicos da edificação.

Já em relação à interoperabilidade entre os programas ArchiCad e DaySim, verificou-se que ela é possível. A partir da comparação entre os resultados do processo já usual de importação do modelo do Sketchup para o Daysim e aquele importado do ArchiCad, não houve significativas diferenças entre eles, embora tenha havido no tempo de simulação.

A única adequação necessária a fazer seria alguma modificação no software do ArchiCad ou do DaySim de modo que seja possível a leitura direta do modelo originado pelo ArchiCad.

Deste modo, verifica-se o grande potencial que a Plataforma BIM tem a oferecer a fim de facilitar o processo projetual baseado na avaliação de desempenho. O uso crescente desta ferramenta computacional aliada aos programas de simulação termo-energética é muito promissor para as empresas e construtoras, que poderão otimizar seu tempo, adequando seus projetos aos ideais da sustentabilidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à instituição financiadora FAPEMIG.

Referências Bibliográficas

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE **Standard 55.2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2011.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade

para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC00_1599.pdf>. Acesso em: 01 out. 2010.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. Santa Catarina: UFSC, 2008, 196 f. [Tese] (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CORRÊA, M. V. G.; RUSCHEL, R. C. Tendências da Colaboração em Arquitetura, Engenharia, Construção. In: FABRÍCIO, M. P.; ORNSTEIN, S. W. (org). **Qualidade no projeto de edifícios**. 1 ed. São Carlos/Porto Alegre: Rima Editora/ANTAC, 2010.

FRIAS, F. T. C.; CARLO, J.C.; PAIXÃO, A. C. C. S. Título. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

GU, L. Airflow Network Modeling in EnergyPlus. In: **Proceedings...** of Building Simulation: IBPSA, Beijing, September 2007, p.964-971.

GUIMARÃES, I.B.B.; CARLO, J. C. Caracterização bioclimática da cidade de Viçosa, MG. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Rio de Janeiro: ENCAC & ELACAC, 2011.

HETHERINGTON, R.; LANEY, R.; PEAKE, S.; OLDHAM, D. INTEGRATED BUILDING DESIGN, INFORMATION AND SIMULATION MODELLING: THE NEED FOR A NEW HIERARCHY. In: **Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association**, 2011, Sydney.

MENDES, N; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Building Simulation in Brazil. In: **Proceedings...** of Building Simulation: Seventh International IBPSA Conference, 2001, Rio de Janeiro.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma Bim. In: **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v.18, n.22, 21º sem. 2011.

MITCHELL, J. BIM & BUILDING SIMULATION. In: **Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association**, Sydney, 2011.

NASCIMENTO, L. B. P.; BARBOSA, M. J. Análise da influência de variáveis construtivas e de variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, **Anais...** Natal: ANTAC, ENCAC, 2009.

PEDRINI, A. et al. Análise comparativa da eficiência energética de envoltórias segundo o regulamento de etiquetagem de edifícios. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais...** Canela: ANTAC, ENTAC, 2010.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa EnergyPlus. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 157-169,

abr./jun. 2010.

REINHART, C. F., **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.**
Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, MA 02138, USA, April 28,
2010.