

Simulação de Desempenho Ambiental na Tomada de Decisão no Atelier

Aplicação da Metodologia de Projeto Ambiental Integrado na Prática de Ensino na Pósgraduação

Thiago Montenegro Góes

Universidade de Brasília

Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, CEP: 70842-970

thiago.montenegro@aluno.unb.br

Ayana Dantas

Universidade de Brasília

Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, LACAM-FAU, CEP: 70842-970

ayana@aluno.unb.br

Renata Maciel

Universidade de Brasília

Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, LACAM-FAU, CEP: 70842-970

renatafau@gmail.com

Cláudia Naves David Amorim

Universidade de Brasília

Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, LACM-FAU, CEP: 70842-970

clamorim@unb.br

Caio Frederico e Silva

Universidade de Brasília

Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, CEP: 70842-970

caiosilva@unb.br

Código del manuscrito: 09_003

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumo

A busca por edificações de alto desempenho ambiental é aspecto essencial ao desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável. Nesse sentido, ferramentas de simulação do desempenho ambiental possuem papel importante, pois possibilitam quantificar os ganhos e desenvolver um design baseado em evidências. Para isso, a formação de arquitetos mais aptos a desenvolverem análises quantitativas, com familiaridade com ferramentas de simulação, é essencial. Este artigo apresenta o desenvolvimento da atividade de atelier no nível de pós-graduação para realização de *retrofit* e obtenção de balanço energético nulo com enfoque na incorporação do uso de ferramentas de simulação. Especificamente, busca-se avaliar como a simulação auxiliou na tomada de decisão e como os participantes compreenderam seu papel no processo. Para isso, utilizou-se um questionário semântico lexical, uma análise da importância do papel da simulação na obtenção dos resultados, assim como uma discussão da própria atividade desenvolvida em atelier. Os resultados indicam que a obtenção do balanço energético nulo está atrelada a uma análise

quantitativa, o que demonstra a relevância das ferramentas de simulação. Os participantes do atelier compreenderam a relevância do papel da simulação no processo com importante (47%) ou imprescindível (53%). Contudo, a falta de diversidade dos participantes limitou a aplicação da metodologia de projeto integrado. Além disso, o estudo suscita o debate sobre o responsável pela simulação no desenvolvimento de projeto, o projetista simulador ou o consultor externo, e as consequências disto no ensino de simulação nos cursos de arquitetura.

Palavras-chaves: Ensino de simulação; Simulação de desempenho ambiental; Projeto integrado; Prática de atelier; Desempenho ambiental

Abstract

The pursuit of high-performance buildings is essential aspect to the development of a sustainable architecture. In this sense, environmental performance simulation tools have an important role, because they enable to quantify the benefits and to develop an evidence-based design. To this purpose, university needs to form architects able to better develop quantitative analysis, with familiarity with building simulation tools. This paper presents the development of a design studio activity at graduate and doctoral level to perform a retrofit to achieve zero energy building, with emphasis in the building simulation tools' incorporation. The aim is to evaluate how simulation aided decision making and how the participants understood its role in the process. For that, it was carried a lexical semantic survey, an analysis of the simulation importance in obtaining the results, as a discussion of the design studio activity itself. The results point out that the achievement of the zero-energy building is connected to the quantitative analysis, which demonstrates the building simulation tools' relevance. The design studio participants understood the relevance of the building simulation role in the process as important (47%) or indispensable (53%). However, the lack of participants diversity limited the application of the integrated design methodology to its fullest. Furthermore, the research evokes a debate about the architect relationship with building simulation, whether the architect should be the one carrying the simulations or should it be an external consultant, and all the consequences of it related to building simulation education at university level.

Keywords: Building simulation education, Building environmental performance simulation; integrated design; Design studio; Environmental performance.

Introdução

A indústria da construção civil tem grande relevância nos impactos provenientes da ação antrópica, já que é responsável pelo consumo de em torno de 50% de toda matéria-prima extraída da natureza (JOHN, 2000, RUUSKA; HÄKKINEN, 2014). Na fase de operação, é responsável pelo consumo de $\frac{1}{3}$ de toda energia produzida, o que equivale a $\frac{1}{4}$ de toda geração de CO₂ no mundo. (IPCC, 2007). Além disso, é agente no contexto de mudanças climáticas, no esgotamento de estoques de combustíveis fósseis, nas expectativas de conforto ambiental e bem-estar dos usuários (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Dessa forma, há uma crescente consciência da importância de diminuir o impacto das edificações no meio natural.

Nas últimas décadas cresce o emprego de certificações ambientais de terceira parte na indústria da construção (REICHARDT et al., 2012). Isso contribui na busca por edificações mais sustentáveis, o que em grande parte significa construções com melhor desempenho – que façam uma boa gestão dos recursos – em que a questão energética é uma das mais relevantes. Com essa finalidade, é necessário que seja incorporada medidas de eficiência energética e conservação energética, assim como de geração de energia, especialmente a partir de fontes renováveis (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Assim, desde o início do século XX, há metas ambiciosas como o conceito de edificações de balanço energético nulo (TORCELLINI et al., 2006), inclusive com compromissos internacionais para atingir tais metas na Europa e nos EUA, como o *2030 Challenge* e *Zebra 2020* respectivamente.

Contudo, mais do que melhorar o desempenho de novas edificações, há necessidade de melhorar as edificações existentes, visto o tamanho do parque construído e seu alto potencial de contribuição para a redução de emissões de gases de efeito estufa e desperdício de energia (MMA, 2014), por meio de *retrofit* energético. Isso implica no aprimoramento dos projetos, atualização e alterações para atender aos requisitos do usuário, podendo ser definido como uma melhoria de capital que redefine a vida útil do prédio, melhora seu desempenho em termos de consumo de energia e torna seu uso mais previsível.

Entretanto, as tradicionais abordagens de desenvolvimento de projetos têm limitações para avaliar, ou mesmo lidar, com as diversas questões apresentadas. Tipicamente, são monodisciplinares, orientadas para soluções restritas, com escopo limitado e baseiam-se em um fluxo linear, onde as diversas expertises pouco interagem ou, quando ocorre, se dá de modo segmentado. São frequentemente baseadas em métodos analíticos, que em grande parte fornecem uma solução exata de uma visão muito simplificada da realidade (HENSEN, LAMBERTS, 2011). Dessa forma, aproveita-se pouco da sinergia entre os diversos processos existentes nas edificações.

Burke e Keeler (2010) defendem que o projeto integrado é uma abordagem que norteia as tomadas de decisão no que tange o consumo de energia, recursos naturais e qualidade ambiental. Ao trabalhar de maneira integrada, as equipes de projeto caminham juntas nas tomadas de decisões avaliando o peso de cada uma delas e suas consequências para o projeto como um todo, considerando o conceito de visão holística. É imprescindível que os profissionais envolvidos estejam cientes de questões ambientais, bem como que compreendam os aspectos gerais do projeto, tornando a interação positiva (GONÇALVES, DUARTE, 2006).

A fim de melhorar o desempenho das edificações são necessárias ferramentas que possibilitem analisar e avaliar os diversos processos que ocorrem simultaneamente nas edificações. Mais do que se fundamentar em intuição ou na crença do projetista, há necessidade de tornar a tomada de decisão baseada em evidências, fundamentada em análises objetivas (HAMILTON, WATKINS, 2008, ATTIA et al. 2012). Hensen e Lamberts (2011) afirmam que a simulação computacional é uma ferramenta com potencial para reduzir do impacto ambiental das edificações, melhorar a qualidade e a produtividade do espaço interno, além de ser um facilitador para futuras inovações tecnológicas quanto a operação e manutenção do edifício.

Para Athienitis e O'Brien (2015) como poucas informações sobre o edifício são conhecidas na fase inicial de projeto torna-se difícil desenvolver um modelo detalhado com todos seus sistemas. Segundo os autores, as informações desta etapa que contempla não somente o consumo de energia da edificação, mas também os aspectos econômicos, ambientais e de conforto, podem ser alcançadas pelo uso das ferramentas de simulação de desempenho dos edifícios

e pelo envolvimento de todos os interessados no projeto, desde os proprietários, passando pelos profissionais de arquitetura e construção, até os usuários. Toda essa gama de conhecimento interdisciplinar no início do processo de projeto colabora na tomada de decisões. Tal abordagem se relaciona diretamente com o conceito de projeto integrado de Burke e Keeler (2010) ou processo integrativo (ANSI, 2012).

Nesse contexto, esse estudo apresenta o desenvolvido da atividade de atelier realizada na disciplina de Projeto Ambiental Integrado da Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PAI - PPG FAU UnB), com enfoque na incorporação do uso de ferramentas de simulação computacional em atividade de atelier proposta a turma. Busca-se avaliar como a simulação auxiliou a tomada de decisão e como os participantes enxergaram seu papel no processo. A esse fim realiza-se a aplicação de um questionário semântico lexical com os integrantes do atelier. Além disso, também é utilizado como parâmetro de avaliação da ferramenta o resultado de desempenho ambiental alcançado no projeto. Por último, é apresentada uma reflexão sobre os potenciais e limitações encontrados no desenvolvimento dessa atividade.

Estado da Arte

Projeto Ambiental Integrado e o Emprego da Simulação em Atelier

O conceito de projeto integrado está relacionado à prática de projetar com foco na sustentabilidade de uma edificação. Esse processo resulta em uma abordagem que norteia a tomada de decisão no que tange variáveis como consumo de energia, recursos naturais e qualidade ambiental. É uma questão de tanto o resultado, mas como de processo. Dentro do contexto atual da sustentabilidade, projeto integrado é uma metodologia consolidada para a obtenção de projetos sustentáveis. Desta forma, uma edificação integrada é uma edificação sustentável (KEELER; BURKE; 2010, YUDELSON, 2013).

Por meio de uma abordagem colaborativa, o processo de projeto integrado se baseia na união de esforços de equipes que caminham juntas nas tomadas de decisões, em que se avalia o peso de cada uma delas e suas consequências para o desenvolvimento do objeto como um todo, por meio de um conceito de visão holística. É imprescindível que os profissionais envolvidos estejam cientes de questões ambientais, bem como que compreendam os aspectos gerais do projeto, com uma interação positiva (GONÇALVES, DUARTE, 2006).

O projetista deve estar ciente de um conjunto mais amplo de impactos, como aspectos estéticos, energéticos, ambientais, da experiência do usuário (KEELER; BURKE; 2010). Se o objetivo do projeto integrado for reduzir o consumo energético do edifício, se comparado às edificações de mesma natureza, a demonstração do cumprimento dessa meta merece ser feita, para além de uma lista de estratégias bioclimáticas, por exemplo, com a utilização de um *software* de simulação computacional que valide as decisões de projetos.

Nesse sentido, o emprego de ferramentas computacionais tem o potencial de auxiliar bastante na tomada de decisão de forma quantitativa, baseada em evidência, como também favorecer a colaboração entre os agentes. Contudo, apesar destes avanços, o sistema BIM (*Building Information Modeling*) assim como simulação de desempenho ambiental, ainda não é muito difundido na prática profissional (MACHADO, 2017). Mesmo nos países desenvolvidos ainda há grandes barreiras, e mesmo lá a prática menos colaborativa e comunicativa e mais fragmentada de “*design-bid-build*” - em que o proprietário assume o gerenciamento integral e contrata separadamente os serviços - ainda é a mais empregada (KENT, BECERIK-GERBER, 2010, HELLMUND et al., 2009). No Brasil, os relatos são escassos e com maior enfoque ainda a nível mais acadêmico (SALGADO, 2009) e poucos relatos aplicados a casos práticos (FIGUEIREDO, DA SILVA, 2012).

Isso decorre em parte da falta de fomento tanto da metodologia de projeto integrado, de conteúdos tecnológicos da ciência da edificação, assim como de ferramentas de simulação dentro das disciplinas das universidades. Diversos estudos no campo da educação de arquitetura apontam na direção de um processo menos linear, que equacione melhor as diversas demandas existentes no processo de projetar, inclusive as demandas relacionadas às questões de

conforto e desempenho ambiental e energético (KOWALTOWSKI et al., 2006, TIBÚRCIO et al., 2016). Contudo, ainda existem grandes barreiras a melhor incorporação de conteúdos de tecnologia, inclusive de conforto e desempenho ambiental e energético, mesmo em países desenvolvidos, onde esses temas já são mais difundidos (DOE, 2013). Especificamente as publicações sobre a incorporação de análises de desempenho ambiental por meio de simulação nas práticas educacionais ainda é bastante limitada, e tem ganho maior atenção nos últimos anos.

Desde o final da década passada alguns trabalhos têm demonstrado como as ferramentas de simulação de desempenho ambiental são incorporadas no ensino. Desde o início, professor Reinhart tem se envolvido nessa área de investigação. Wasilowski e Reinhart, (2009) realizaram uma atividade de calibração do uso de energia elétrica de um modelo referente a um prédio do campus universitário com os alunos de mestrado com o *software EnergyPlus* por meio da interface gráfica *DesignBuilder*. Reinhart et al. (2012) apresentam a atividade desenvolvida no atelier para o ensino de simulação termoenergética com o uso do mesmo *software* e interface gráfica. Para isso, realizou-se um *workshop* para apresentação preliminar do *software* e posteriormente a realização de uma competição entre os alunos para obtenção do menor consumo energético para uma edificação comercial em Boston. A atividade se mostrou bastante positiva, visto que todos os estudos obtiveram reduções superiores a 20%. Posteriormente, em outra publicação, Reinhart et al. (2015) apresentou atividade similar, desenvolvida em *workshop*, porém com proposta mais robusta, com a incorporação junto ao *EnergyPlus* do *Radiance* para análises de iluminação. Ao invés do uso da interface gráfica *DesignBuilder*, utilizou-se o *Rhinoceros 3D* com a interface de programação visual *Grasshoppers* e seus *Add-ons*. Entretanto, nesta atividade de atelier, os estudantes de graduação e mestrado necessitavam avaliar o consumo energético e a pegada de carbono incorporada. Além disso, para melhor explorar o universo de soluções, se beneficiaram de ferramentas de paramétrica durante a atividade.

Beausoleil-Morrison e Hopfe (2015) investigaram a necessidade do ensino além da prática de manuseio das ferramentas de simulação, mas também sobre questões de fundamentação teórica. No artigo, os autores apresentam não só um currículo com atividades desenvolvidas, além de pontos cruciais que dificultam especialmente a obtenção de resultados mais fidedignos. Posteriormente, Beausoleil-Morrison (2019) aprofunda a teoria no conceito de espiral de aprendizagem, em que os alunos precisam ter um posicionamento crítico e reflexivo quanto a atividade de simulação, de forma a compreenderem como os resultados correspondem às expectativas preexistentes e construir um conhecimento em sob a luz dessas novas perspectivas adquiridas com os resultados das simulações. Ainda quanto a forma de ensino de simulação, Mendes e Mendes (2019) apresentam um modelo de design instrumental para ensino a distância de ferramentas de simulação.

Além de compreensão do ensino de ferramentas de simulação, outros autores têm questionado qual seria a melhor forma de colaboração entre os diversos atores envolvidos no desenvolvimento de projetos com o uso de simulação para a obtenção de edificações com melhor desempenho. Isso repercute diretamente na maneira formação do arquiteto, visto que o nível de profundidade de conhecimento de determinados aspectos depende do papel que este executa, se é o projetista o responsável completo pela simulação ou se ele depende de um consultor para auxiliá-lo no processo de análise de (ALSAADANI, BLEIL DE SOUZA, 2019).

Metodologia

Para avaliação de como o uso de ferramentas de simulação auxiliam no desenvolvimento do processo de projeto ambiental integrado, utilizam-se três abordagens: 1) A avaliação dos resultados obtidos sob a luz de como isso; 2) a aplicação de questionário semântico lexical aos participantes do atelier; e 3) uma discussão do potencial e limitações encontradas durante a realização da atividade.

A seguir, apresenta-se em linhas gerais a atividade de projeto ambiental integrado desenvolvida dentro da disciplina, assim como a estrutura do questionário semântico lexical aplicado ao final da disciplina.

Atividade de Projeto Ambiental Integrado

A atividade do projeto integrado de um *retrofit* aplicado ao edifício do Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília (CDT/UnB) fez parte da disciplina de Projeto Ambiental Integrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG FAU/UnB). A disciplina tem como foco a aplicação da metodologia de processo de projeto integrado para obtenção de edificações de alto desempenho, mais especificamente edifícios de balanço energético nulo.

Localizado no Parque Científico e Tecnológico da Universidade de Brasília - campus Darcy Ribeiro, o CDT abriga empresas incubadas e setores administrativos da própria Universidade. A edificação compreende uma área de aproximadamente 4.000 m² e sua composição atual se desenvolveu com a construção do edifício em 2 etapas: primeiro a construção do edifício que abriga as empresas e o setor administrativo do CDT, e a segunda referente a ampliação para sediar o Decanato de Pesquisa e Extensão da UnB.

A metodologia do estudo está dividida em 3 etapas: levantamento e análise de dados da edificação existente, desenvolvimento de proposta de possíveis cenários e avaliação das propostas. No levantamento e análise de dados, coletaram-se informações referentes às condições construtivas existentes e caracterizado seu estado atual. Posteriormente, elaboraram-se propostas embasadas em literatura específica a fim de obter cenários de melhoria do consumo energético, bem com avaliado o potencial de melhoria de cada um. Por fim, avaliaram-se as estratégias propostas de conservação e eficiência energética de forma quantitativa, assim como o potencial de geração de energia da edificação.

Para maior aprofundamento nas questões específicas de cada campo de conhecimento, dividiram-se os alunos em quatro equipes: Envoltória, Consumo e Produção de Energia, Ventilação e Modelagem e Simulação Computacional. Essa divisão é uma adaptação de Athienitis e O'Brien (2015), porém aglutina todos os sistemas passivos referentes a envoltória translúcida e opaca em uma equipe, os sistemas ativos em outra e ventilação em outra. A quarta equipe de modelagem e simulação atua como suporte às demais.

Nas etapas de análise da edificação existente e na avaliação das propostas de intervenção, a equipe de Modelagem e Simulação foi responsável pelos dados de desempenho para melhor compreender o objeto e melhor fundamentar a tomada de decisão. O diagrama na Figura 1 apresenta a interação entre os grupos e sintetiza o papel central e aglutinador do grupo de Modelagem e Simulação.



Figura 1. Diagrama da integração das equipes de trabalho e processo de projeto.

Para a realização das análises por meio de simulação computacional utilizou-se a interface gráfica do *DesignBuilder* versão 5.4, com o *software Radiance* para iluminação natural e *EnergyPlus* para análises termoenergéticas. Já para a simulação do potencial de geração de energia elétrica utilizou-se o *PVSyst*. Realizou-se a modelagem a partir dos dados obtidos por meio do projeto executivo e outros levantamentos realizados in loco. Para a avaliação do desempenho termoenergético das propostas, realizou-se uma avaliação individual das medidas de efficientização e conservação energética para cada uma das propostas.

A partir do levantamento e análise de dados da edificação 11 intervenções foram elaboradas para avaliar o potencial de redução do consumo energético da edificação. Oito delas são relacionadas à elementos da envoltória, quatro à ventilação e duas aos sistemas ativos (Tabela 1). Eventualmente são agrupadas, como no caso da ventilação, e assim são definidos diferentes cenários.

Tabela 1. Resumo dos cenários e estratégias avaliados.

Cenário	Estratégia
C1	E1 Implantação de brise vertical ao final do brise horizontal (na parte final do edifício)
C2	E2 Conexão do brise do térreo com o brise do 1º andar
C3	E3 Proteção horizontal conectando o brise do 1º andar com a fachada (onde não tem cobertura)
C4	E4 Janela com veneziana
C5	E5 Proteção controlável (persiana interna)
C6	E6 Colaboração de película nas janelas que não possuem (Decanato)
C7	E7 Proteção de um brise horizontal na janela para as salas em que o uso se inicia às 07:30h
C8	E8 Acrescentar uma camada de 4 cm de poliestireno no telhado metálico
C9	V1 Ventilação entre o forro e a laje
	V2 Mudanças na abertura
	V3 Implantação de bandeiras volantes sobre as portas
	V4 Automatização e controle de processos
C10	PC1 Substituição dos equipamentos de iluminação (lâmpadas)
C11	PC2 Substituição dos equipamentos de condicionamento de ar

A Figura 2 apresenta o gráfico com a redução de consumo energético por cenário estudado, assim como para a aplicação de todas as estratégias concomitantemente. Há um potencial de redução superior a 50%. Somente a melhoria da eficiência do sistema de iluminação corresponde a 43,3%, o que pode estar atrelado ao fato do edifício já ter um sistema de ventilação híbrida e não possuir sistema de ar condicionado em todos os ambientes. Contudo a redução da carga térmica com o emprego de persianas (20,9%) e emprego de ventilação seletiva (11,4%) também apresentaram melhorias significativas. Além disso melhorias pontuais na envoltória também representaram melhorias, especialmente a diminuição da transmitância da cobertura (9,9%).

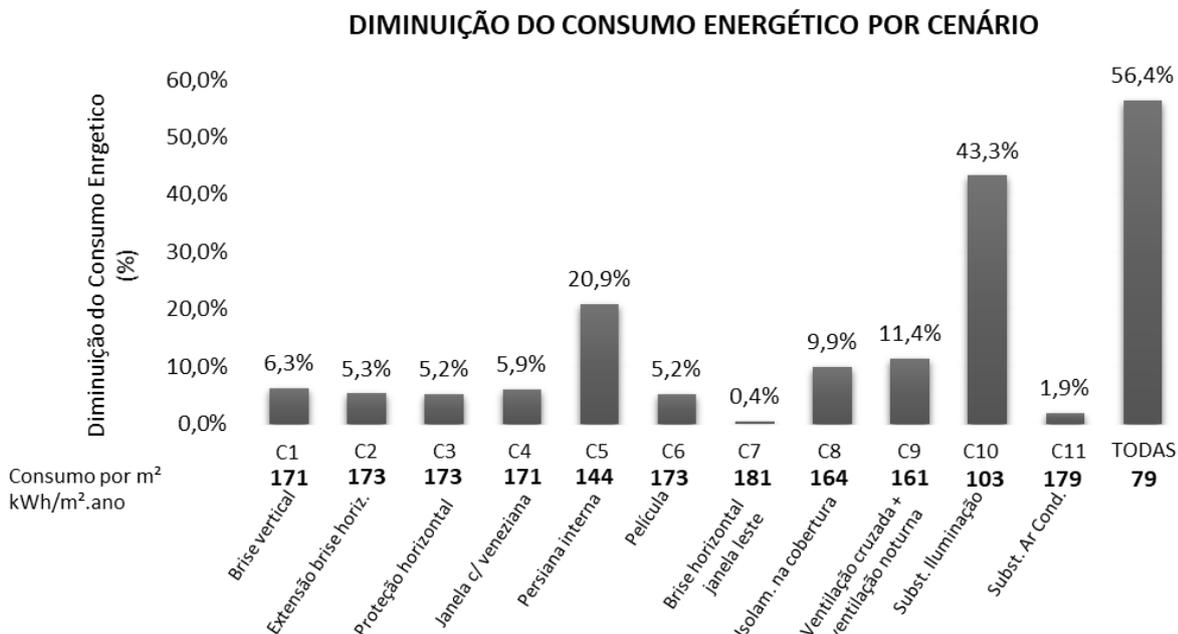


Figura 2. Gráfico da diminuição do consumo por cenário.

Questionário

Para a avaliação da percepção dos alunos envolvidos na atividade de atelier, aplicou-se um questionário semântico lexical de forma *online*, por meio da ferramenta *Google Forms*. O questionário está estruturado em quatro etapas distintas:

- i. Caracterização do participante;
- ii. Avaliação das soluções de projeto;
- iii. Avaliação do processo de projeto integrado;
- iv. Avaliação do emprego da simulação na atividade;

A primeira etapa busca-se identificar o perfil dos participantes por meio de perguntas que exigem uma categorização, especificamente quanto a área de formação e o tempo de formado. Já nas demais etapas, as questões buscam averiguar a opinião dos participantes sobre as soluções desenvolvidas, o processo empregado e o papel da simulação.

Há predominantemente nessas três etapas o uso de questões em escala de Likert, uma escala linear de 1 a 5, em que cada polo há conceitos opostos. Dessa forma, as notas entre esses dois polos representam uma gradação, em um espectro. Em específico o conceito 3 representa um grau intermediário, um sentido de neutralidade entre os conceitos. A Figura 3 apresenta um exemplo de uma questão deste tipo a respeito da coesão do processo de projeto. Em que em um polo (nota 1) há o conceito segmentado, enquanto que no polo oposto (nota 5) há o conceito coeso. A nota 3 representa um conceito neutro, nem coeso nem segmentado, enquanto que as notas 2 e 4 são notas que que representem parcialmente o conceito do polo de que estão mais próximas.

3.3 Com relação à coesão do PROCESSO de projeto, você o classifica como: *

	1	2	3	4	5	
Segmentado	<input type="radio"/>	Coeso				

Figura 3. Exemplo de questão com a escala de Linkert.

Em virtude do tamanho reduzido da amostra não há pretensão de se realizar uma análise estatística e os resultados servem somente para melhor compreender a atividade de atelier.

Resultados e Discussão

Avaliação dos Resultados Obtidos no *Retrofit* para Edifício de Balanço Energético Nulo

A atividade de *retrofit* para obtenção de balanço energético nulo desenvolvida no atelier conseguiu demonstrar a viabilidade de um edifício de balanço energético nulo, e também demonstrou o potencial para obtenção de um balanço energético positivo. Essa avaliação só foi possível graças a quantificação do desempenho por meio das ferramentas de simulação computacional. A abordagem de avaliação individualizada das propostas (medidas de conservação e eficiência energética) se mostrou adequada para compreensão do potencial de cada proposta, o que possibilitou melhor tomada de decisão. Em parte, pode-se entender que a essa avaliação quantitativa e pormenorizada só foi possível em virtude do emprego de ferramentas de simulação, o que demonstra o potencial do uso desses recursos na formação de profissionais aptos a desenvolverem projetos com melhor desempenho, um viés mais quantitativo, uma forma de projetar baseada em evidências.

Questionário Semântico Lexical

Quanto ao perfil dos participantes da atividade desenvolvida no atelier, primeiramente é importante apontar que dos 20 alunos matriculados na disciplina, 15 participaram efetivamente da pesquisa e responderam o questionário, o que representa 75% da turma. O levantamento apresenta a predominância de arquitetos urbanistas envolvidos na atividade, como 13 participantes (87%). Há somente um engenheiro civil e outro electricista (6,5% cada). Isso demonstra uma excessiva homogeneidade dos participantes. Além disso, a grande maioria dos participantes tem menos de 10 anos de formado, com 86,7% dos participantes formados entre 2 e 10 anos.

Os participantes demonstraram em linhas gerais satisfação quanto as soluções desenvolvidas e as diretrizes tomadas na atividade dentro do atelier. Tanto quanto a qualidade assim como à eficiência das soluções desenvolvidas os participantes avaliaram positivamente, com somente notas 4 e 5, o que representa o espectro mais positivo, uma tendência a ótimo ou eficiente. Gráfico da Figura 4 apresenta os resultados quanto a eficiência das soluções desenvolvidas. Já quanto a estética do projeto final, assim como à relevância das diretrizes desenvolvidas, a maioria dos resultados também estão no espectro positivo (com notas 4 e 5) com exceção de uma resposta, o que equivale a 6,7%, com nota 3, o que denota neutralidade. Mesmo assim há tendência à avaliação positiva.

Com relação às soluções apresentadas, como você classifica a eficiência do projeto desenvolvido?

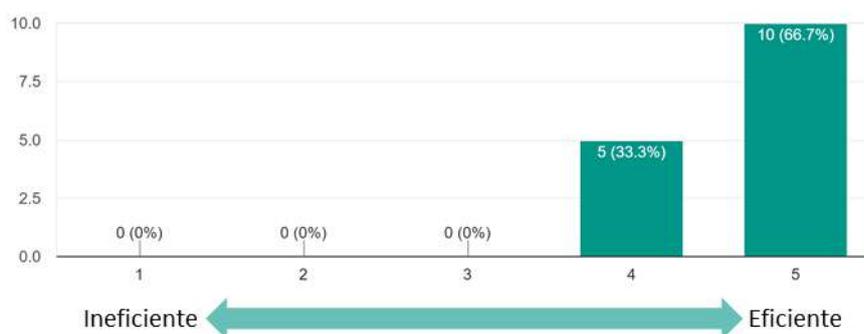


Figura 4. Gráfico de barras das notas para a eficiência das soluções adotadas.

Já com relação ao processo empregado, a percepção dos participantes foi mais divergente. Quanto a agilidade do processo, a nota mais comum foi 3, com 46,7% das respostas, mesmo valor encontrado para o somatório das notas 4 e 5 que indicam a percepção de rapidez do processo. Isso mostra que apesar de uma grande proporção dos participantes entenderem o processo como rápido, praticamente metade dos participantes não acharam nem rápido nem devagar. Uma tendência a neutralidade quanto a esse aspecto. Padrão de neutralidade similar também é encontrado quanto a coesão. Apesar de 40% dos participantes avaliarem com nota 4 (mais próximo de coeso), outros 53,4% avaliaram com notas 2 e 3, o que aponta para essa ambiguidade entre a percepção de coesão e fragmentação do processo empregado. Por outro lado, as respostas dos participantes à complexidade do processo são muito dispersas, sem um padrão ou tendência claras. Notas 1, 3 e 4, cada uma recebeu 26,7% dos votos. Isso indica uma compreensão e/ou familiaridade do processo bem heterogênea entre os participantes do atelier.

Em relação ao papel do emprego da simulação tanto das propostas analisadas, assim como para a avaliação das mesmas os participantes entenderam-na como essencial. Para o desenvolvimento das propostas, 73,3% dos participantes avaliaram com notas 4 e 5, no espectro da essencialidade da simulação. Já para a avaliação das propostas, um número ainda maior, de 93,3% avaliou a simulação como essencial, também com notas 4 e 5. Isso fica claro no gráfico a respeito do papel da simulação no processo (Figura 5), em que todos os participantes entendem que a simulação cumpriu um papel imprescindível (53,3%) ou pelo menos importante (46,7%).



No geral, como você classifica o PAPEL DA SIMULAÇÃO no processo de projeto desenvolvido?

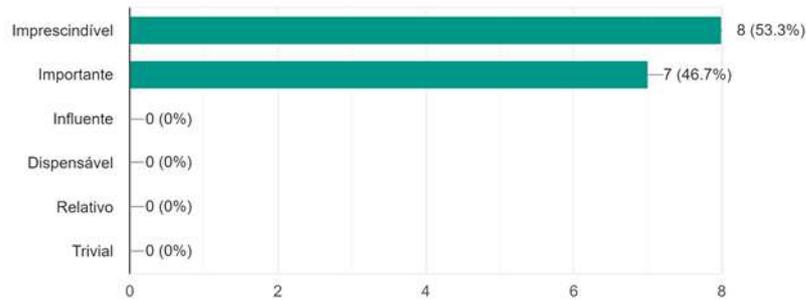


Figura 5. Gráfico de barras sobre a opinião dos participantes a respeito do papel da simulação.

O entendimento do modelo virtual pelos participantes é mais variado, heterogêneo, e se aproxima de uma distribuição normal com um viés para a alto entendimento do modelo virtual (Figura 6). Os participantes também apresentam alto grau de confiança aos resultados, visto que 80% dos participantes conferiram nota 4, (Figura 7). Contudo, nenhum dos participantes atribuiu total confiança, nota 5, aos resultados, o que demonstra compreensão das incertezas que podem ocorrer no processo, especialmente em virtude da dificuldade de acesso aos dados de entrada.

Como você avalia O SEU grau de entendimento do modelo virtual desenvolvido para realização da simulação?

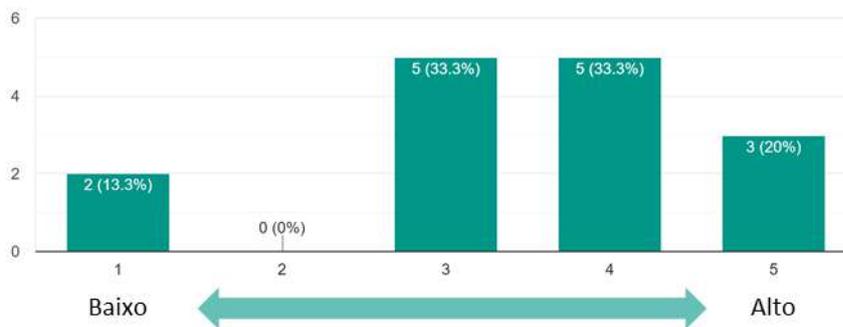


Figura 6. Gráfico de barras sobre o entendimento dos participantes do modelo virtual empregado.

Na sua opinião, qual é o grau de confiança dos resultados obtidos por meio de simulação são confiáveis?

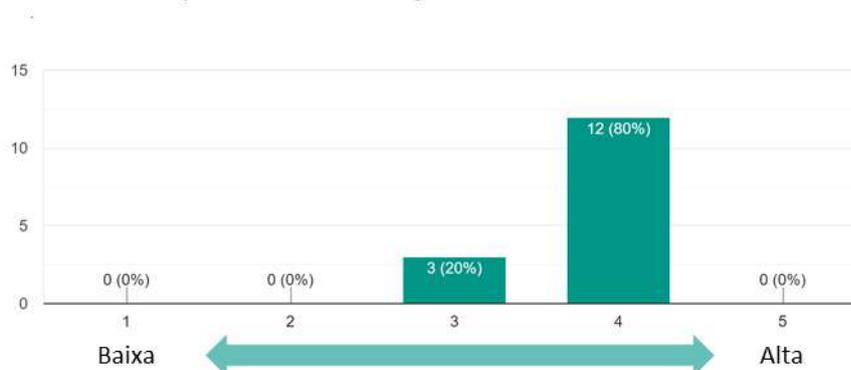


Figura 7. Gráfico de barras sobre a opinião a respeito da confiabilidade dos resultados obtidos por meio de simulação.

Quanto a divisão de trabalho com um grupo exclusivo à simulação, a grande maioria (73,3%) dos participantes consideraram que essa divisão não fragmentou o processo (Figura 8). Já quanto à inviabilização da avaliação de alguma proposta em virtude do emprego da simulação, a maioria entendeu que não houve prejuízo (53,3%), como mostra a Figura 9. Contudo, 40% dos participantes entenderem que em algum momento o emprego da simulação não foi apto a responder o desempenho de determinada proposta.

Você considera que a divisão em um grupo exclusivo de simulação fragmentou o processo de projeto integrado?

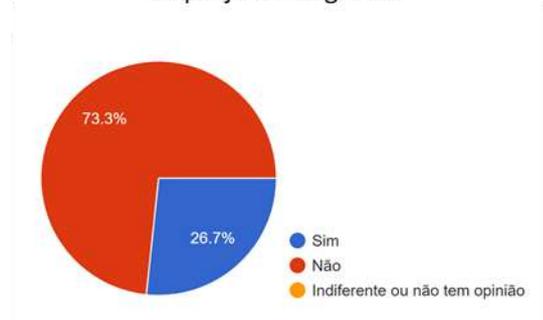


Figura 8 gráfico de pizza sobre se a divisão de um grupo exclusive de simulação fragmentou o proceso

Houve alguma proposta que VOCÊ gostaria que fosse avaliada, mas acredita que o método de simulação inviabilizou essa avaliação?

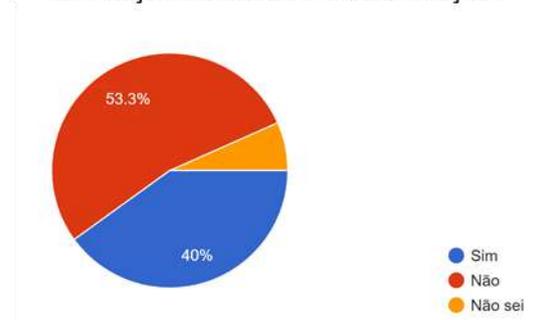


Figura 9 gráfico de pizza a respeito da inviabilização de alguma proposta em virtude da simulação

Discussão do Potencial e Limitações da Atividade

A atividade de atelier desenvolvida dentro da disciplina atingiu diversos objetivos, desde o objetivo mais prático de desenvolver um *retrofit* com balanço energético nulo, como também em um nível mais didático, possibilitou o

aprofundamento sobre a compreensão dos aspectos de desempenho ambiental na prática de projeto, assim como os desafios a sua implementação. Nesse contexto, a abordagem de projeto ambiental integrado apoiado no uso de ferramentas de simulação de desempenho ambiental contribui de duas formas. Uma pelo método de projeto ambiental integrado desenvolvido em atelier, que propicia um ambiente de emprego prático dos conceitos de desempenho ambiental. A outra forma diz respeito diretamente ao uso de ferramentas de simulação, que possibilitam uma certa validação dos conhecimentos teóricos e dessa forma são capazes de aprofundar o conhecimento sobre o tema e passar de uma análise qualitativa para uma análise quantitativa, fundamentada em evidências. Isso inclusive possibilita uma abordagem mais estratégica, em que as diferentes propostas formuladas podem ser avaliadas de forma mais concreta. Isso fomenta, de certa maneira, a formação de profissionais com maior embasamento técnico e mais aptos a dialogarem com diferentes agentes da cadeia produtiva da construção civil.

Os resultados práticos da atividade demonstram o grande potencial que as ferramentas de simulação computacional podem conferir ao desenvolvimento de projetos com melhor desempenho, com uma abordagem quantitativa, baseada em evidências. Isso vale tanto para a análise do clima ou da edificação existente no caso de *retrofits*, como também para a avaliação de propostas a serem implementadas. Sem esse tipo de instrumento qualquer análise fica prejudicada. Entretanto, o questionário apresenta que os participantes da atividade depositam grande confiança em tais ferramentas, contudo compreendem suas limitações, especialmente vinculadas às incertezas dos dados de entrada.

Especificamente essa falta de informações dos dados de entrada, especialmente pela falta de informações técnicas no projeto executivo demonstra prejudica o desenvolvimento de um modelo virtual fidedigno, mas também deixa claro a falta de uma abordagem mais técnica, uma preocupação maior quanto ao desempenho ambiental por parte dos projetistas. É uma questão tanto do produto final, da edificação, mas como de processo, de projeto. Isso demonstra a necessidade de uma melhor incorporação desses conteúdos e práticas nas universidades, especificamente nos ateliers. Nesse sentido, é importante refletir sobre o processo, de forma menos linear, e almejar algo mais itinerante, como um processo de exploração de soluções, como uma investigação. A metodologia empregada na atividade que se baseia na realização de uma análise, do desenvolvimento de um diagnóstico e conseqüentemente de propostas, para posteriormente a realização de uma avaliação dessas propostas possibilita uma compreensão melhor do desempenho ambiental, mas também quebra esse raciocínio linear do processo de projeto, já que a cada etapa novos dados surgem que exigem revisão das etapas anteriores.

Entretanto o processo de projeto integrado apresentou algumas limitações ficaram explícitas. A homogeneidade do perfil dos participantes se mostrou um empecilho ao desenvolvimento de um grupo mais múltiplo e diverso, mais adequado a um ambiente mais colaborativo permeado de diversas expertises, característico de um processo de projeto integrado. Isso em parte está atrelado ao próprio formato segmentado dos programas, cursos e disciplinas dentro da estrutura curricular das universidades. Isso acarreta em algumas questões práticas de falta de aprofundamento devido a da limitação de múltiplos saberes. Por exemplo, apesar da realização de um estudo de medidas de conservação e eficiência energética que possibilite uma análise pormenorizada das propostas, a falta de participantes com maior conhecimento orçamentário inviabilizou a realização de uma análise de viabilidade financeira e um estudo de *payback*, algo que melhora o diálogo e a tomada de decisão no nível de gestão.

Por último, apesar da avaliação positiva sobre o processo, resultados e papel da simulação pelos participantes da atividade de atelier, algumas questões merecem atenção. Primeiro, que apesar dos participantes entenderem como importante ou imprescindível o papel da simulação e da alta confiança nos seus resultados, há um menor entendimento do modelo, que decorre dos diferentes níveis de conhecimentos sobre o processo de modelagem, contudo o que não impossibilita a compreensão da importância deste processo para obtenção dos resultados. Outro ponto é sobre a não avaliação de determinadas propostas, o que ocorreu especificamente com determinada proposta de ventilação, porque demandavam mais tempo e conhecimento específicos do grupo de simulação. Essa abordagem em que o grupo de simulação atua como aglutinador e principal facilitador, por um lado deixa-o muito centralizador, o que pode acarretar em algum sobrecarregamento. Isso demonstra, que mesmo em um ambiente com profissionais com maior ênfase em desempenho ambiental, ainda há uma falta de um viés mais quantitativo de análise. De certa

forma, isso exemplifica o debate sobre a responsabilidade da realização das análises ambientais por meio de simulação no processo de projeto: de um consultor externo, de forma mais centralizada, ou do próprio projetista, de forma mais horizontal. De qualquer forma, tanto para formação de consultores, como de projetistas simuladores, fica clara a necessidade de disciplinas com maior ênfase em conteúdos tecnológicos, especificamente em desempenho ambiental e especificamente quanto a prática de simulação de desempenho ambiental da edificação.

Conclusões

O estudo apresenta o desenvolvimento da atividade de atelier realizada na disciplina de projeto integrado com alunos de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília com enfoque na incorporação do uso de ferramentas de simulação. Especificamente, busca-se avaliar como a simulação contribuiu na tomada de decisão e como os participantes compreenderam seu papel no processo. Para isso, realizou-se um questionário semântico lexical com os participantes da atividade de atelier. Além disso, realizou-se uma análise da importância do papel da simulação na obtenção dos resultados, assim como uma discussão da própria atividade desenvolvida em atelier.

Os resultados apontam para uma grande relevância do papel da simulação no desenvolvimento da atividade realizada em atelier. A análise quantitativa alcançada por meio dos resultados das simulações se mostrou essencial para obtenção do balanço energético nulo. Essa conclusão é enfatizada pelos resultados obtidos pelo questionário semântico lexical, que apresenta que todos os participantes compreenderam o papel da simulação no processo com importante (47%) ou imprescindível (53%).

A metodologia se mostrou adequada atividade desenvolvida em atelier, tanto pelo lado prático, por propiciar a realização do *retrofit* da edificação, com pelo viés didático, por estimular e familiarizar os participantes ao uso de ferramentas de simulação para o desenvolvimento de projetos de alto desempenho. Contudo, a atividade evidencia a falta de preocupação com questões de desempenho em projetos, assim como a necessidade de uma abordagem mais quantitativa na avaliação dos mesmos. Além disso, outra limitação foi a falta de diversidade do perfil dos participantes, predominantemente arquitetos especialistas em desempenho ambiental. Essa falta de diversidade limitou o aprofundamento de questões diversas ao desempenho ambiental, com por exemplo aspectos financeiros, no desenvolvimento da atividade de atelier. Isso suscita reflexões sobre a fragmentação e pouca interação nos ambientes universitários. Por último, a atividade de atelier expõe a necessidade de ponderações sobre o papel da simulação na prática de projeto – e conseqüentemente sobre o ensino de simulação nas universidades de arquitetura – e quem é responsável pela realização de análises de desempenho ambiental, o consultor externo ou o projetista simulador?

Agradecimentos

Agradecimentos a todos os alunos do programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília que participaram do desenvolvimento da atividade da disciplina de Projeto Ambiental Integrado no semestre de 2018.1 assim como a prefeitura do Campus Universitário da Universidade de Brasília, que forneceu projeto e diversas outras informações para o desenvolvimento da atividade de atelier da disciplina.

Referências

- ALSAADANI, S., BLEIL DE SOUZA, C. Performer, consumer or expert? A critical review of building performance simulation training paradigms for building design decision-making. *Journal of Building Performance Simulation*. Volume 12, Issue 3, 4 May 2019, Pages 289-307
- AMY J. HELLMUND, KEVIN G. VAN DEN WYMELENBERG & KENNETH BAKER. Facing the Challenges of Integrated Design and Project Delivery. *Energy Engineering Journal*. Volume 105, 2008 - Issue 6. Pages 36-47 | Published online: 10 Jul 2009
- ANSI. (2012). Integrative Process (IP): ANSI Consensus Standard Guide 2.0 for Design and Construction of Sustainable Buildings and Communities. Market Transformation to Sustainability & American National Standards Institute.

- ATHIENITIS, A.; O'BRIEN, W. Modeling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Ernst & Sohn GmbH & Co. ISBN 978-3-433-03083-7, p. 107-133, 2015.
- ATTIA, S, HENSEN, JLM., BELTRÁN, L., DE HERDE, A. Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects and Engineers Needs. *Journal of Building Simulation Performance*. V. 5 Issue 3. 2012
- BEAUSOLEIL-MORRISON, I. Learning the fundamentals of building performance simulation through an experiential teaching approach. *Journal of Building Performance Simulation*. Volume 12, Issue 3, 4 May 2019, Pages 308-325
- BEAUSOLEIL-MORRISON, I., HOPFE, C.J. Teaching building performance simulation through a continuous learning cycle. 14th International Conference of IBPSA - Building Simulation 2015, BS 2015, Conference Proceedings. 2015, Pages 2757-2764
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Estudo sobre o Estado da Arte dos mecanismos de contratação de serviços de eficiência energética em edificações no Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Programa da Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. Brasília: MMA, maio de 2014. 66 p.
- DAVID C. KENT, BURCIN BECERIK-GERBER. Understanding Construction Industry Experience and Attitudes toward Integrated Project Delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 136, Issue 8 (August 2010). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000188](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000188)
- Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski, Maria Gabriela Caffarena Celani, Daniel de Carvalho Moreira, Silvia Aparecida Mikami G. Pina, Regina Coeli Ruschel, Vanessa Gomes da Silva, Lucila Chebel Labaki, João Roberto D. Petreche. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006.
- FRANCISCO GITAHY DE FIGUEIREDO, VANESSA GOMES DA SILVA. Processo de Projeto Integrado e desempenho ambiental de edificações: os casos do SAP Labs Brazil e da Ampliação do CENPES Petrobras. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 97-119, abr./jun. 2012.
- GONÇALVES, J.; DUARTE, D. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81. ISSN 1415-8876, p. 51-81, 2006.
- HAMILTON DK., WATKINS, DH. Evidence-Based Design for Multiple Building Types. Wiley. 2008. ISBN: 978-0-470-12934-0
- HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. Building Performance Simulation for Design and Operation. Inglaterra: Spon Press, 2011.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Mitigation of Climate Change. Bangkok, 2007.
- JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, 2000.
- KEELER, M.; BURKE, B. Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis. Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- MACHADO, L. Processo de Projeto Integrado no Brasil. Monografia. Belo horizonte - UFMG, 2017.
- MENDES, E., MENDES, N. .An instructional design for building energy simulation e-learning: an interdisciplinary approach. *Journal of Building Performance Simulation*. Volume 12, Issue 3, 4 May 2019, Pages 326-342
- REICHARDT, A., FUERST, F., ROTTKE, N., ZIETZ, J. Sustainable Building Certification and the Rent Premium: A Panel Data Approach. *Journal of Real Estate Research*: V. 34, No. 1, 99-126. 2012
- Reinhart, C.F., Dogan, T., Ibarra, D., Samuelson, H.W. Learning by playing - teaching energy simulation as a game. *Journal of Building Performance Simulation*. Volume 5, Issue 6, 2012, Pages 359-368
- REINHART, C.F., GEISINGER, J., DOGAN, T., SARATSI, E. Lessons learned from a simulation-based approach to teaching building science to designers. 14th International Conference of IBPSA - Building Simulation 2015, BS 2015, Conference Proceedings. 2015, Pages 1126-1133
- RUUSKA, A., HÄKKINEN, T. Material efficiency of building construction. *Buildings* 4, 266-294; doi:10.3390/buildings4030266. Traduzido pelo autor, 2004.
- SALGADO, MÔNICA. PROJETO INTEGRADO – CAMINHO PARA A PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS: a questão dos Sistemas Prediais. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, volume 12. 2008



International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



- TIBÚRCIO, Túlio Márcio de Salles; BRÀZ, Zoleni Lamim; NATALINO, Maria Luiza Rodrigues. Relação entre o Espaço da Sala de Aula, as Novas Tecnologias e o Ensino de Projeto de Arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- TORCELLINI P., PLESS S., DERU M., CRAWLEY D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. 2006
- United States Department of Energy (DOE). Building America Building Science Education Roadmap. April 2013.
- WASILOWSKI, H.A., REINHART, C.F. Modelling an existing building in designbuilder/energyplus: Custom versus default inputs. IBPSA 2009 - International Building Performance Simulation Association 2009. 2009, Pages 1252-1259
- YUDELSON, JERRY. Projeto Integrado e Construções Sustentáveis. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.