CALIBRAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO[1]

LOPES, F. S. D., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: felipelopes.arq@gmail.com;
SILVA, V. L., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: v157453@g.unicamp.br;
LABAKI, L. C., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: lucila@fec.unicamp.br

ABSTRACT

The seek to supply the world energy demand has stimulated not only the search for alternative sources but also energy efficiency of existing systems. As buildings have a great impact on energy consumption, simulation tools can help select the most suitable strategies towards environmental comfort and energy efficiency. The objective of this research was to calibrate the Rhinoceros-Grasshopper parameterization platform for energy efficiency and thermal comfort study for office buildings. This platform was linked to EnergyPlus for thermal-energetic simulations of the designed model. For calibration, BESTEST Case 600 was simulated, and the model adjusted to validate the test. The results were compared to those accepted from ASHRAE 140-2014. Results showed energy demand for cooling of 6.342 kWh and for heating of 4.089 kWh, this last one close to the test limit but out of the minimum value required. Thus, the calibrated model demonstrated that the Rhinoceros-Grasshopper parametric software can aid in the design decisions regarding issues of thermal comfort and energy saving, in addition to increasing the possible number of satisfactory solutions for architects and engineers.

***Keywords**: Energy efficiency. Parametric simulation. Office buildings. BESTEST 600.*

1 INTRODUÇÃO

A partir da crise energética da década de 1970, o conceito de sustentabilidade surgiu com a finalidade de proteger os resquícios do patrimônio ambiental e prover qualidade de vida para a população mundial e as gerações futuras (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009). Em relação ao consumo de energia, no Brasil as edificações são responsáveis por 51% da demanda de eletricidade, sendo que os edifícios comerciais respondem por 34% desta porcentagem (BRASIL, 2017). Isto demonstra a importância de analisar o desempenho termoenergético de edificações associado ao processo de projeto arquitetônico, buscando minimizar o consumo de energia e os impactos ambientais associados.

Neste sentido, o pensamento crítico sobre a análise energética, permite ao arquiteto ter consciência e autonomia ao projetar um novo edifício ou reabilitar um existente a fim de alcançar a eficiência (CELANI, 2012). Como ferramenta nesse processo, as simulações computacionais auxiliam na seleção de estratégias que respondam da melhor maneira às condições ambientais (ATTIA et al., 2012; EVINS, 2013; KIRIMTAT et al., 2016). A ferramenta computacional não é apenas um instrumento de representação gráfica, sendo parte do processo de design, pois auxilia a seleção de soluções ótimas

[1] LOPES, F. S. D.; SILVA, V. L.; LABAKI, L. C. Calibração de um modelo preditivo para eficiência energética em edifícios de escritório In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

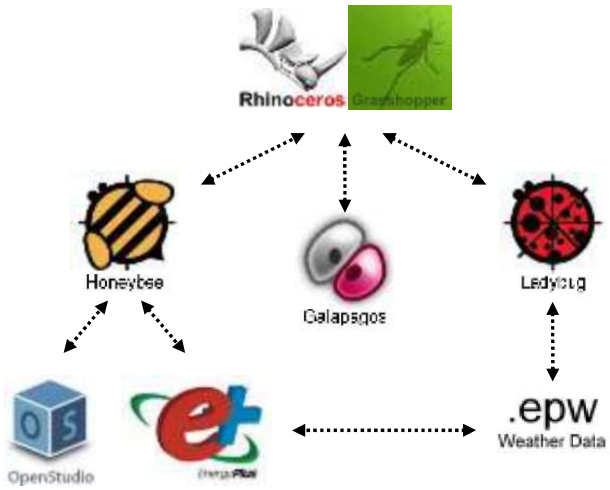
para o projeto arquitetônico (NEGENDAHL; NIELSEN, 2015; PICCO; LOLLINI; MARENGO, 2014).

Dentre as ferramentas de simulação, o Rhinoceros (Rhino) é um software de modelagem tridimensional que trabalha com Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS), ou curvas e superfícies geradas a partir de funções paramétricas, permitindo maiores variações de forma (MCNEEL EUROPE, 2017). Para aprimorar as variáveis da função paramétrica que condicionam o modelo, incorpora-se ao Rhino o plugin Grasshopper, que gera algoritmos integrados ao software através de uma interface acessível para a programação (MARTINO, 2015; ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2016).

Além do Grasshopper, o plugin Honeybee conecta o modelo com softwares de simulação termoenergética (EnergyPlus e Openstudio). Já o plugin Ladybug permite a importação de arquivos de dados climáticos (EPW) no Grasshopper, gerando diagramas de insolação, ventilação, entre outros (ROUDSARI; PAK, 2013), como apresentado na Figura 1.

Para selecionar as melhores soluções de projeto, a partir dos dados de entrada no Grasshopper, as ferramentas Galapagos e Octopus permitem a utilização de algoritmos genéticos (AG) para otimização dos resultados. Este método é baseado na teoria evolutiva das espécies de Darwin, incorporando a ideia da herança genética, a variação aleatória em uma população e a simulação de uma seleção natural para a obtenção da próxima geração (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014; YU et al., 2015).

Figura 1 – Interação do *Rhinoceros/Grasshopper* com outros *softwares*



Fonte: os autores

Pesquisas recentes têm utilizado análise paramétrica para avaliação do desempenho termoenergético em edificações. Elbeltagi et al. (2013) propuseram uma abordagem para visualizar dados de consumo energético como forma de auxiliar a tomada de decisão nas fases inicias de projetos residenciais. Zhang, Zhang e Wang (2016) utilizaram modelos dinâmicos em simulações com o Rhinoceros/Grasshopper para aproveitar o máximo de radiação solar em edifícios localizados em climas frios. Já Zani et al. (2017)

determinaram as melhores soluções para elementos de sombreamento em edifícios de escritório na Itália através de modelagem paramétrica e otimização através de algoritmos genéticos.

Após estas considerações, este trabalho propõe a utilização de ferramentas de modelagem paramétrica para obter projetos arquitetônicos com soluções satisfatórias às exigências de eficiência energética e de conforto térmico específicas de cada localidade.

2 OBJETIVO

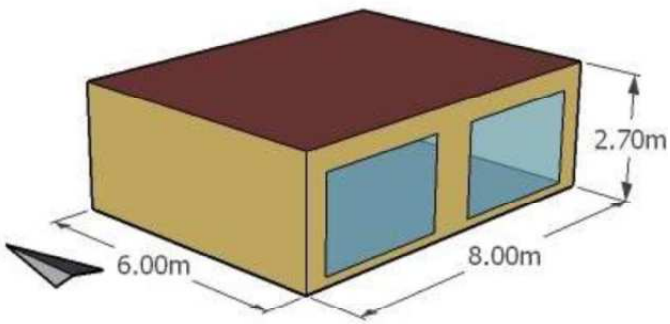
O objetivo deste trabalho é calibrar um código em software de análise paramétrica para posterior estudo de eficiência energética e conforto térmico em edifício de escritórios.

3 METODOLOGIA

Este trabalho corresponde à calibração de um modelo para validar a simulação termoenergética em edifícios de escritório. A metodologia aqui apresentada foi dividida em três etapas principais: I – seleção do modelo, II – configuração dos materiais e padrões de uso e ocupação e por fim, III – avaliação dos resultados simulados através dos softwares utilizados.

O modelo adotado para a calibração do modelo foi o Caso 600 do BESTEST (Building Energy Simulation Test), método desenvolvido nos Estados Unidos pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL), como um teste para rodar e corrigir algoritmos específicos com os dados de entrada em programas de simulação computacional (ASHRAE, 2014). O caso 600 consiste em um ambiente de 48,0 m² (8,0 m x 6,0 m), com um pé-direito de 2,70 m, e duas janelas na fachada sul de 6,0 m² cada (Figura 2).

Figura 2 – BESTEST Caso 600 (geometria)



Fonte: Adaptado de ASHRAE (2014)

3.1 Características climáticas e propriedades do modelo simulado

Para efeitos de validação, o BESTEST é sempre simulado para a cidade Denver/CO, nos Estados Unidos. Para tanto é utilizado o arquivo climático

"Denver-Stapleton"[2] em formato "EnergyPlus Weather File" (EPW), compatível com o EnergyPlus e suas plataformas.

Os materiais de construção das paredes, piso, teto e janelas são descritos na Tabela 1, sendo que a emissividade de todos os materiais é constante em 0,9 e a absortância à radiação solar é 0,6.

Tabela 1 – Propriedades dos materiais de construção

Elemento	Materiais	[U] (W/m²-K)	[R] (m²-K/W)	FS
Paredes	Gesso acartonado (12mm) + Fibra de vidro (66mm) + Madeira (9mm)	0,514	1,944	-
Piso	Assoalho de madeira (25mm) + Isolamento térmico (1m)	0,039	25,374	-
Cobertura	Gesso acartonado (10mm) + Fibra de vidro (111mm) + Madeira (19mm)	0,318	3,147	-
Janelas	Vidro (3,175mm) + Camada de ar (13mm) + Vidro (3,175mm)	3,0	-	0,787

Fonte: Os autores

Quanto às propriedades termofísicas, o sistema de condicionamento de ar (considerado 100% eficiente) fornece carga térmica para aquecimento (quando a temperatura da sala é menor que 20 °C) e resfriamento (quando a temperatura é maior que 27 °C). A taxa de infiltração é de 0,5 trocas de ar por hora, e é considerado um ganho de calor sensível de 200 W, constante, sendo 60% de carga radiante, e 40% convectiva. A temperatura do solo é mantida à 10 °C durante todo o ano.

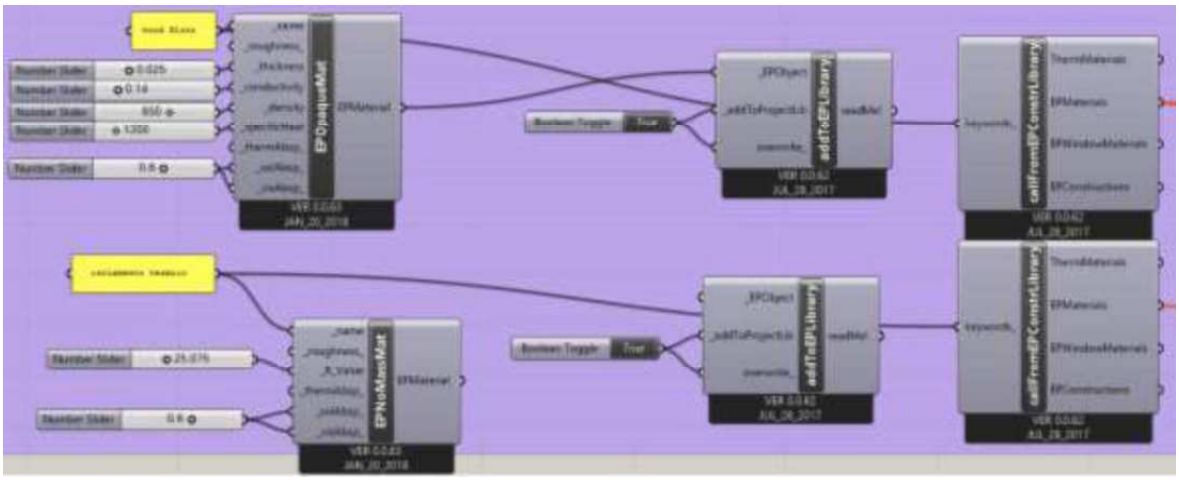
3.2 Configuração do código no Grasshopper

O Caso 600 foi modelado no Grasshopper, e com o plugin Honeybee foi realizada a simulação termoenergética da edificação, através da conexão com a interface gráfica OpenStudio do software EnergyPlus. Para utilizar as informações climáticas foi utilizado o plugin Ladybug, facilitando a compreensão de cartas psicrométricas e dados associados ao conforto térmico (NABONI, 2014). A Figura 3, Figura 4 e Figura 5 mostram partes da configuração dos materiais, sistemas e geometria do modelo.

Após a configuração do código, definidos todos os parâmetros de entrada, o modelo foi simulado e obtidos os dados de saída. Foram analisadas as demandas anuais de resfriamento e aquecimento para o Caso 600 do BESTEST, e os valores comparados com os limites aceitos pelo teste a partir da Standard 140 (ASHRAE, 2014).

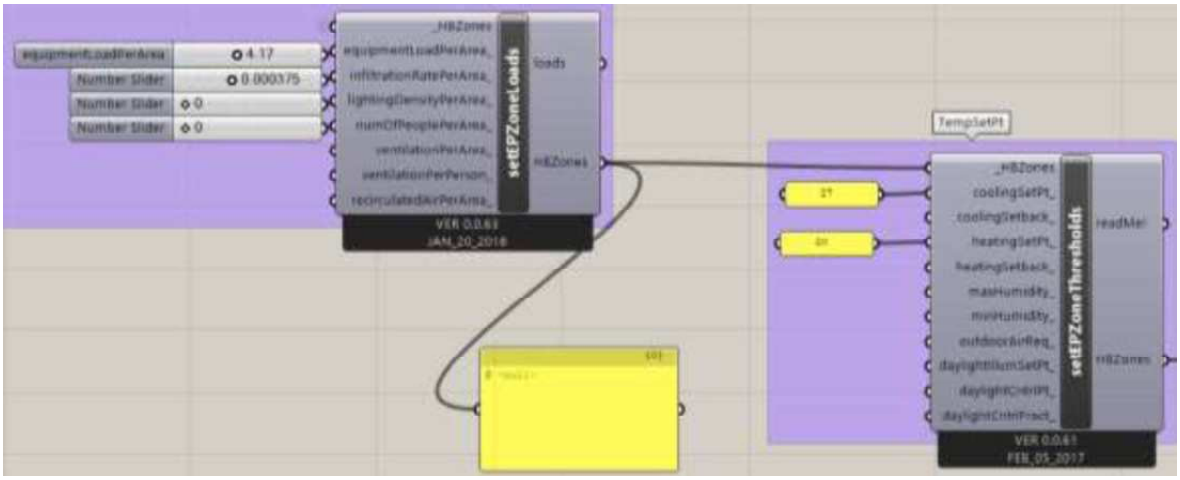
Figura 3 – Configuração do piso do modelo no *Grasshopper*

[2] O arquivo EPW para a cidade de Denver foi obtido em: https://energyplus.net/weather-location/north_and_central_america_wmo_region_4/USA/CO/USA_CO_Denver-Stapleton.724690_TMY



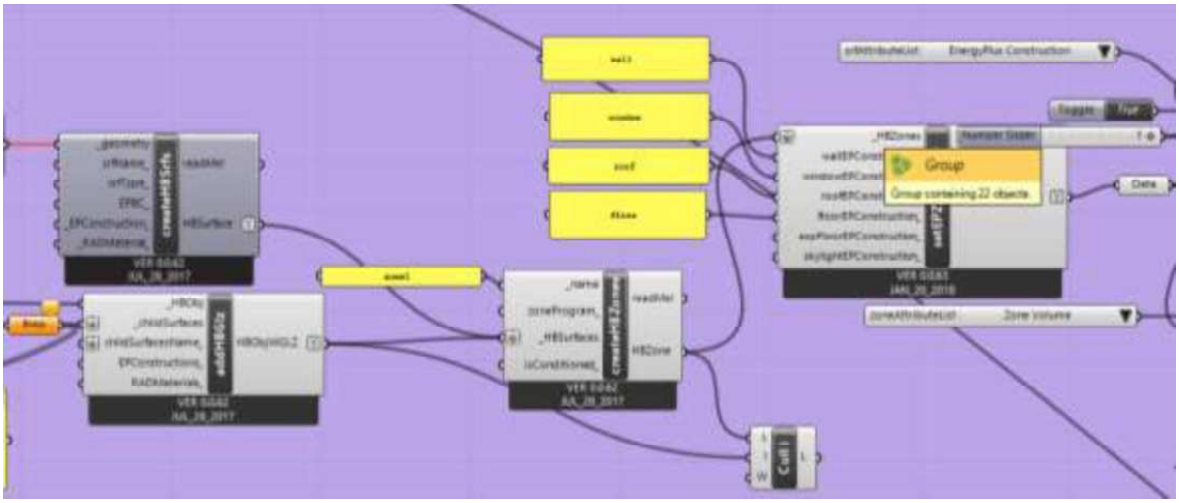
Fonte: Os autores

Figura 4 – Definição das cargas internas do modelo



Fonte: Os autores

Figura 5 – Configuração dos materiais no *Grasshopper*



Fonte: Os autores

A partir da simulação inicial, o processo de calibração seguiu as seguintes etapas para ajuste do modelo:

- I – Ajuste das propriedades termofísicas dos materiais;
- II – Ajuste nas cargas internas do modelo;
- III – Ajuste nas definições de uso e ocupação.

Os resultados, apresentados a seguir, também foram comparados com simulação do BESTEST diretamente no editor raiz de EnergyPlus Input File (IDF), arquivo de dados de entrada do EnergyPlus.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização da simulação computacional na plataforma Rhinoceros-Grasshopper (GH), os resultados de consumo energético para aquecimento e resfriamento foram obtidos. A Tabela 2 traz os valores iniciais e após os três ajustes do modelo para o Caso 600 do BESTEST.

Tabela 2: Dados de consumo energético simulados no Rhinoceros/Grasshopper

Indicador	Simulações			
	Inicial	1º ajuste	2º ajuste	3º ajuste
Demanda de energia anual para resfriamento (kWh)	9.496	4.432	5.963	**6.342**
Demanda de energia anual para aquecimento (kWh)	8.426	3.494	3.914	**4.089**

Fonte: Os autores

Após o terceiro ajuste no modelo simulado, percebe-se que os resultados da simulação no Rhino/GH ficaram dentro dos limites mínimos para resfriamento (6.342 kWh). Já os resultados para aquecimento ficaram próximos, porém abaixo do limite mínimo aceito (4.089 kWh). Tais resultados foram então comparados com aqueles obtidos no editor raiz do EnergyPlus (Tabela 3).

Tabela 3: Comparação dos resultados no Rhino/GH e EnergyPlus

Indicador	Simulações		Limites BESTEST		
	Rhino/GH	EPlus	Mínimo	Média	Máximo
Demanda de energia anual para resfriamento (kWh)	**6.342**	**7.187**	6.137	7.053	8.448
Demanda de energia anual para aquecimento (kWh)	**4.089**	**4.375**	4.296	5.046	5.709

Fonte: Os autores

Os valores simulados no EnergyPlus ficaram dentro dos limites aceitos para resfriamento (7.187 kWh) e para aquecimento (4.375 kWh). Analisando os dados dos dois softwares, apenas a demanda de aquecimento no Rhino/GH não ficou dentro dos limites exigidos. Entende-se que o editor raiz do EPlus possui maior flexibilidade de parâmetros de entrada do que o Honeybee (HB), plugin que conecta o Rhino/GH com o EPlus (KARSSIES, 2017).

No código escrito para o BESTEST no Rhino/GH, o HoneyBee determina como parâmetro inicial a tipologia da edificação simulada a partir dos modelos definidos pela Standard 90.1 (ASHRAE, 2013). Dessa forma foi escolhida a

tipologia de escritório, e as definições de uso e ocupação (schedules) foram ajustados para os dados de entrada do Caso 600. Ainda assim, a simulação é feita com alguns schedules padrão do HB.

Ainda assim, o HB demonstrou precisão na modelagem da geometria do modelo, facilidade na interação dos elementos de construção, padrões de uso e ocupação e definição dos sistemas mecânicos. O editor IDF do Eplus possui uma interface menos amigável para construir o modelo, apesar da maior precisão na definição dos parâmetros de simulação.

Como explicado na metodologia deste trabalho, esta pesquisa corresponde à etapa de calibração da plataforma Rhinoceros/Grasshopper, e apesar do valor obtido para consumo por aquecimento ter sido diferente do limite aceito do Caso 600 do BESTEST, a plataforma é considerada confiável para modelagem e simulação termoenergética de edifícios comerciais, em particular de escritórios.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho faz parte de uma pesquisa em andamento de análise paramétrica para avaliar o desempenho termoenergético em edifícios de escritório através de otimização com algoritmos genéticos. Este artigo apresentou a etapa de calibração e validação da plataforma Rhinoceros/Grasshopper através dos plugins Honeybee e Ladybug através do Caso 600 do BESTEST para futuro estudo de eficiência energética em edifícios de escritório.

Concluída esta etapa da pesquisa, os resultados apresentados para demanda energética mostraram-se satisfatórios para o desenvolvimento das etapas seguintes. O Honeybee é confiável para modelar a geometria das edificações e conectar-se ao EnergyPlus para realizar as simulações do modelo. Apesar das diferenças nos resultados iniciais, foi possível ajustar o modelo realizando modificações nos padrões de uso e ocupação.

Em publicações futuras, serão apresentadas as próximas etapas da pesquisa, considerando a tipologia definida para edifício de escritório, definição dos parâmetros de geometria, materiais e orientação a serem variados na otimização através dos algoritmos genéticos e por fim, seleção dos melhores resultados com o modelo preditivo da eficiência energética e conforto térmico para a edificação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e à FAPESP, pelo auxílio financeiro nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Standard 90.1-2013**: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2013.

_____. **Standard 140-2014**: Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2014.

ATTIA, S. et al. Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 2–15, jun. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em 15 jan. 2018.

CELANI, G. Além da avaliação energética e ambiental nas etapas iniciais do processo de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 3, n. 2, p. 56–64, 2012.

ELBELTAGI, E. et al. Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 13, n. August, p. 127–136, set. 2017.

EVINS, R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 230–245, jun. 2013.

KARSSIES, W. W. (WOUTER). **Optimization workflow regarding daylighting, energy and glare, for performance assessment of new generation semi-transparent photovoltaic façades**. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2017.

KIRIMTAT, A. et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 23–49, jan. 2016.

MARTINO, J. A. **Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura**. 2015. 310 f. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

MCNEEL EUROPE. **Rhinoceros 5.0**, 2017. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/>

NABONI, E. Integration of Outdoor Thermal and Visual Comfort in Parametric Design. In: International PLEA Conference, 30, 2014, Ahmedabad. **Anais...** Ahmedabad: PLEA, 2014.

NEGENDAHL, K.; NIELSEN, T. R. Building energy optimization in the early design stages: A simplified method. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 88–99, 2015.

NGUYEN, A. T.; REITER, S.; RIGO, P. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. **Applied Energy**, v. 113, p. 1043–1058, 2014.

ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. Building simulations supporting decision making in early design – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 187–201, ago. 2016.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 3, p. 272–278, mar. 2009.

PICCO, M.; LOLLINI, R.; MARENGO, M. Towards energy performance evaluation in early stage building design: A simplification methodology for commercial building models. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 497–505, jun. 2014.

ROUDSARI, M. S.; PAK, M. Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design. In: Conference of International Building Performance Simulation Association, 13, 2013, Chambéry. **Anais...** France: IBPSA, 2013.

TOULOUPAKI, E.; THEODOSIOU, T. Energy performance optimization as a generative design tool for nearly Zero Energy Buildings. In: International High-Performance Built Environment Conference, 2016, Sydney. **Anais**... Sydney: iHBE, 2016.

YU, W. et al. Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 135–143, 1 fev. 2015.

ZANI, A. et al. Computational Design and Parametric Optimization Approach with Genetic Algorithms of an Innovative Concrete Shading Device System**. Procedia Engineering**, v. 180, p. 1473–1483, 2017.

ZHANG, L.; ZHANG, L.; WANG, Y. Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China. **Solar Energy**, v. 132, p. 38–50, jul. 2016.