

DISCUSSÃO DO USO DE DOIS MÉTODOS EVOLUTIVOS MULTI-OBJETIVO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

RODRIGO KARINI LEITZKE¹; MAURÍCIO DORNELES CALDEIRA BALBONI²;
EDUARDO GRALA DA CUNHA³

¹Universidade Federal de Pelotas – rodrigokarinileitzke@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – mdcbalboni@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – eduardogralacunha@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

No que diz respeito ao desempenho térmico das edificações, algumas variáveis interferem diretamente no balanço energético do edifício. Além das fontes internas de calor, o envelope opaco e os fechamentos transparentes regulam os fluxos de calor entre os contextos interior e exterior. O Fator Solar do vidro, o percentual de abertura de janelas, o controle de radiação solar, são variáveis que interferem diretamente nos ganhos térmicos. No caso dos fechamentos opacos, a absorvância, a transmitância térmica e a capacidade térmica são variáveis importantes nas trocas de calor do edifício com o meio.

Diante desse cenário, a simulação computacional termoenergética surge como uma estratégia para avaliar o impacto destas variáveis no comportamento do edifício. Para realização das simulações o software *EnergyPlus* (EP) é a ferramenta mais difundida em trabalhos com esta finalidade (SOUSA, 2012). Embora o EP apresente uma vasta gama de possibilidades e estratégias de configurações para os modelos que serão simulados, parte significativa dos estudos com o seu uso tem se direcionado para análises paramétricas, evolucionárias e multi-objetivo, utilizando por vezes recursos de inteligência artificial (IA) para aumentar a complexidade das análises.

Nas análises multi-objetivo busca-se definir um conjunto de resultados satisfatórios considerando duas ou mais funções-objetivo que possam auxiliar nas inferências e análises comportamentais sobre o objeto de estudo (MIETTINEN, 2012). Geralmente Algoritmos evolutivos (AE) são utilizados como alternativa para o tratamento e análise dos dados em um estudo multi-objetivo (DEB, 2001).

Este trabalho tem por objetivo apresentar o processo de desenvolvimento de duas soluções evolutivas multi-objetivo para edificações residenciais na cidade de Pelotas-RS. As soluções apresentadas fazem parte da dissertação de mestrado que está sendo desenvolvida pelo autor. Para tal foram realizadas simulações termoenergéticas computacionais com o software *EnergyPlus* v. 8.7 (U.S. Department of Energy, 2018) em combinação com a linguagem de programação de computadores Python (SANNER et al., 1999), afim de avaliar o desempenho de uma edificação residencial quanto ao nível de conforto térmico e o consumo de energia elétrica para 10 gerações de cada um dos algoritmos propostos.

2. MÉTODO

O trabalho foi dividido em cinco etapas. Na primeira delas buscou-se uma revisão sobre trabalhos relacionados com a temática da análise multiobjetiva para simulações termoenergéticas computacionais utilizando o software EP e as estratégias utilizadas na literatura para o desenvolvimento deste tipo de análise. Em seguida, foi definido o modelo de edificação utilizado para avaliação no estudo. Na terceira etapa foram definidas as variáveis e os intervalos de valores utilizados para análise evolutiva multiobjetiva. A quarta etapa diz respeito à elaboração dos dois algoritmos utilizados

no estudo, bem com as diferenças entre as suas estratégias de implementação. Por fim, na quinta e última etapa, foi realizada uma análise dos resultados obtidos.

Definiu-se como modelo de edificação para avaliação dos algoritmos propostos por este estudo uma habitação de interesse social unifamiliar desenvolvida no trabalho de Oliveira (2012). A residência possui 45,86m², com dois dormitórios, sala de estar e cozinha integradas e um banheiro. Para modelagem tridimensional da edificação foi utilizado o software Sketchup Make 2017 com o uso do plugin Euclid 0.93. Quanto aos ganhos internos por uso/ocupação, iluminação e equipamentos, bem como os equipamentos de condicionamento artificial de ar utilizados na simulação foram configurados de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012). A partir da composição inicial do modelo de edificação utilizado, torna-se necessário definir as variáveis que serão alteradas na análise multiobjetivo e seus respectivos intervalos. As variáveis utilizadas neste trabalho e seus intervalos podem ser visualizados na Tabela 1, as capacidades térmicas (CT) foram fixadas nos valores do modelo base, tanto na cobertura quanto para as paredes externas, sendo 347,24 kJ/(m².K) para cobertura e 296,84 kJ/(m².K) para as paredes. Os valores utilizados como limites da análise basearam-se no que preconizam o RTQ-R, a NBR 15220, a NBR 15575, e o trabalho de Silva e Ghisi (2013) que apresenta a sensibilidade dos valores termofísicos para o processo de simulação.

Tabela 1 - Intervalos utilizados para geração da população inicial

| Variável | Limite inferior | Limite superior | Iteração |
|--|-----------------|-----------------|----------|
| Transmitância térmica da parede (W/(m ² .K)) | 0,3 | 2,5 | 0,01 |
| Transmitância térmica da cobertura (W/(m ² .K)) | 0,3 | 2,3 | 0,01 |
| Transmitância térmica do piso (W/(m ² .K)) | 1,0 | 4,1 | 0,01 |
| Absortância da parede externa | 0,2 | 0,9 | 0,1 |
| Absortância da cobertura | 0,2 | 0,9 | 0,1 |
| Orientação (°) | 0 | 315 | 45 |

Fonte: Autores (2019).

A partir da seleção das variáveis e dos seus respectivos intervalos limítrofes, um conjunto amostral de dados Z com tamanho pré-definido pelo usuário é gerado aleatoriamente. Cada indivíduo desse conjunto é composto pelos valores sorteados para cada uma das variáveis com base nos limites estabelecidos inicialmente. Neste trabalho a maior amplitude entre as variáveis adotadas, sendo a transmitância térmica do piso, cujo valor de 310 possibilidades foi considerado para determinar o tamanho da população inicial, desta forma, em um cenário hipotético todas as variáveis podem ser sorteadas pelo menos uma vez. Para avaliação de cada indivíduo são considerados os valores referentes às funções-objetivo, neste trabalho foram utilizados a intensidade do uso de energia elétrica (EUI) (kWh/(m².ano)) e o percentual de desconforto térmico (%) com base no método de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2013). Os indivíduos relacionados com os seus resultados das funções-objetivo compõem a população inicial da análise. Para determinação das gerações seguintes duas abordagens foram utilizadas: Abordagem 1 (OR) e Abordagem 2 (AND).

Na abordagem 1 (OR), são selecionados os indivíduos que apresentem os 25% melhores resultados no eixo X ou no eixo Y do plano cartesiano de representação, ou seja, mesmo que um determinado indivíduo apresente funções-objetivo não satisfatórias para fazer parte do grupo de selecionados no objetivo do eixo X, este ainda pode ser considerado um indivíduo apto se apresentar resultados da sua função-

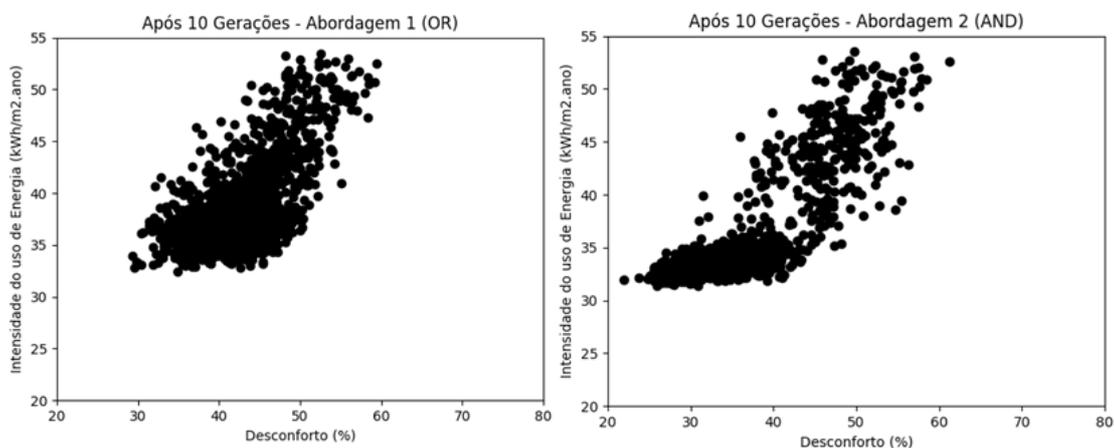
objetivo do eixo Y dentro do grupo de seleção (25% melhores). Essa estratégia é interessante à medida que não são descartados potenciais bons resultados por serem pouco representativos em um dos seus objetivos. Caso um indivíduo apresente bons valores em apenas um dos eixos, são utilizados operadores de mutação para que a alteração de parte das suas características colabore na busca por melhores resultados em suas funções-objetivo.

Na abordagem 2 (AND) são selecionados 25% dos indivíduos da geração que apresentaram os melhores resultados em ambos os objetivos, ou seja, serão selecionados apenas os 25% com menor EUI e menor desconforto térmico. Diferente da abordagem OR, a busca pelo elitismo é uma das características principais da abordagem AND, nela apenas os melhores indivíduos são selecionados. Esta situação influencia diretamente na convergência das gerações, visto que em poucas gerações é possível identificar regiões com resultados satisfatórios. Entretanto, o potencial exploratório de cada uma das funções-objetivo da abordagem OR não é considerado pela abordagem AND por conta da sua necessidade de rápida convergência, permitindo que haja o descarte de potenciais bons indivíduos caso estes não façam parte do grupo ótimo selecionado nas primeiras gerações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada uma das abordagens propostas (OR e AND) foram realizadas as simulações de dez gerações com tamanho inicial de 310 casos, considerando como funções-objetivo a intensidade do uso de energia elétrica (EUI) e o desconforto térmico. Um total de 6200 simulações foram realizadas.

Figura 1 – Resultados após a execução de 10 gerações do algoritmo



Fonte: Autores (2019).

Quanto aos resultados apresentados na Figura 2, em ambas as abordagens, as melhores soluções apresentaram transmitâncias térmicas de parede médias entre 0,4 e 0,75, já para cobertura, transmitâncias térmicas médias entre 0,46 e 0,64 e transmitâncias térmicas de piso médias entre 1,87 e 2,54, representando, assim, um alto nível de isolamento térmico na envolvente opaca dos melhores casos. Para as paredes e coberturas, as absorvâncias escuras foram predominantes nos melhores resultados, assim como as orientações Norte, Nordeste e Noroeste.

4. CONCLUSÕES

Considerando a execução das abordagens propostas no método e dos resultados apresentados, pode-se concluir que a utilização de um algoritmo evolutivo multiobjetivo pode contribuir para a identificação de estratégias que auxiliem na redução da intensidade do uso de energia elétrica e na redução do desconforto térmico dos usuários de uma edificação residencial na Zona Bioclimática 2. Ainda, a escolha entre as abordagens é uma etapa fundamental tendo em vista que a utilização de uma das abordagens precisa estar de acordo com o número de variáveis utilizadas no estudo e o recurso computacional disponível para simulação.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT. Norma Brasileira 15.220. Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações). [S.I.]: Rio de Janeiro, 2005.
- _____. Norma Brasileira 15.575. Edificações Habitacionais - Desempenho. [S.I.]: Rio de Janeiro, 2013.
- ASHRAE, **ASHRAE Standard. Standard 55-2013 - Thermal environmental conditions for human occupancy**. v. 58, 2013.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Recomendação (UE) 2016/1318 da Comissão. Jornal Oficial da Comissão Europeia. Bruxelas: 2016**. Acesso em: 01 Set. 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=EN>.
- DEB, K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. **John Wiley & Sons**, 2001.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2018 ano base 2017. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018. ISSN: 00311057. Disponível em: <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/epe64.pdf>. Acesso em: 28 Ago. 2019, 16:30:00.
- INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Acessado em Abril de 2019. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>.
- MIETTINEN, K. Nonlinear multiobjective optimization. **Springer Science & Business Media**, 2012.
- OLIVEIRA, L. da S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da Zona Bioclimática 2**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, s.p., 2012.
- SANNER, M. F. Python: a programming language for software integration and development. **J Mol Graph Model**, v. 17, n. 1, p. 57-61, 1999.
- SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 135-148, 2013.
- SOUSA, J. Energy simulation software for buildings: review and comparison. In: **International Workshop on Information Technology for Energy Applications-IT4Energy**, Lisabon. 2012.
- U.S. Department of Energy. **EnergyPlus™ Version 8.7.0 Documentation - Input Output Reference**. EUA, 2018.