



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO EM UM PROJETO-PADRÃO PROINFÂNCIA IMPLANTADO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2<sup>1</sup>

**MACIEL, Thalita dos Santos (1); LEITZKE, Rodrigo Karini (2); DUARTE, Carolina de Mesquita (3); CUNHA, Eduardo Grala da (4); RHEINGANTZ, Paulo Afonso (5)**

(1) Universidade Federal de Pelotas, thalita-maciel@hotmail.com

(2) Universidade Federal de Pelotas, rodrigokarinileitzke@gmail.com

(3) Universidade Federal de Pelotas, carolinademesquitaduarte@hotmail.com

(4) Universidade Federal de Pelotas, eduardogralacunha@yahoo.com.br

(5) Universidade Federal do Rio de Janeiro, parheingantz@gmail.com

### RESUMO

*O baixo desempenho termoenergético das edificações está diretamente relacionado a um inadequado planejamento arquitetônico. No caso de edificações escolares, a padronização do projeto pode gerar uma problemática ainda maior e não apenas relacionada ao seu desempenho energético. Com metodologias que combinam simulação computacional e motores de otimização, é possível que se identifique possíveis parâmetros de melhoria do desempenho desses edifícios através de um ou mais objetivos, como no caso das soluções multiobjetivas. Neste estudo, será apresentada a análise do desempenho de uma estratégia de otimização multiobjetivo, com alteração dos parâmetros de transmitância térmica das paredes externas, do piso e da cobertura, assim como, a orientação solar da edificação e as absorptâncias das paredes externas e da cobertura. Esse recorte corresponde a parte inicial de uma pesquisa que visa a definição de medidas de adaptação do envelope térmico do projeto-padrão Proinfância tipo 2, para implantação na zona bioclimática 2. Na análise de resultados foi possível observar um princípio de convergência em direção ao ponto ótimo já entre as primeiras gerações do algoritmo, onde os melhores casos foram constatados. Além disso, também foram identificadas questões de aperfeiçoamento da técnica de otimização, para que resultados ainda mais eficientes sejam futuramente alcançados.*

**Palavras-chave:** Simulação computacional. Otimização baseada em simulação. Otimização multiobjetivo. Eficiência energética.

### ABSTRACT

*The low thermoenergetic performance of buildings is directly related to inadequate architectural planning. In the case of school buildings, the standardization of the project can generate an even greater problem and not only related to its energy performance. With methodologies that combine computer simulation and optimization engines, it is possible to identify possible parameters for improving the performance of these buildings through one or*

---

<sup>1</sup> MACIEL, Thalita dos Santos; LEITZKE, Rodrigo Karini; DUARTE, Carolina de Mesquita; CUNHA, Eduardo Grala da. Análise inicial da utilização de otimização multiobjetivo em um projeto-padrão proinfância implantado na zona bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

more objectives, as in the case of multi-objective solutions. In this study, the performance analysis of a multi-objective optimization strategy will be presented, with changes in the thermal transmittance parameters of the external walls, the floor and the roof, as well as the solar orientation of the building and the absorbances of the external walls and the roof. This cutout corresponds to the initial part of a research that aims to define adaptation measures, of the thermal envelope of the Proinfância type 2 standard project, for implantation in the bioclimatic zone 2. In the analysis of results, it was possible to observe a principle of convergence towards the optimum point already among the first generations of the algorithm, where the best cases were found. In addition, issues of improvement of the optimization technique were also identified, so that even more efficient results are achieved in the future.

**Keywords:** Computer simulation. Simulation-based optimization. Multi-objective optimization. Energy efficiency.

## 1 INTRODUÇÃO

A implantação de projetos escolares padronizados é uma prática recorrente em nosso país. Contudo, quando um modelo unificado de projeto é adotado, ele tende a desconsiderar a diversidade geográfica, climática, socioeconômica e cultural de um país com dimensões continentais como o Brasil. Para área de educação infantil, os projetos-padrão de Escolas Municipais de Educação Infantil (EMEl)s surgiram a partir de uma ação por parte do Governo Federal. A criação do Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância), previa a redução no déficit de vagas e também a melhoria da infraestrutura da rede física escolar de Educação Infantil (BRASIL, 2007), logo, tal atitude fez com que a padronização fosse amplamente difundida nas instituições públicas (KOWALTOWSKI, 2011).

Nesse contexto, cabe ressaltar que qualquer edificação deve assegurar parâmetros básicos de proteção e conforto, atendendo às demandas das atividades de seus usuários (CORBELLA, 2003). Grande parte desses parâmetros podem ser alcançados facilmente mediante um apropriado planejamento arquitetônico (OCHOA; ARAÚJO; SATTler, 2012), e por isso, dificilmente o desenvolvimento de um projeto poderá, sem adequações, atender à diversidade climática de todo um território. A padronização de projetos tem resultado em edificações de baixa qualidade, que por não responderem adequadamente às condições climáticas onde são inseridas, acabam tornando-se desconfortáveis para seus usuários e aumentando a demanda de energia pelo uso de sistemas artificiais de condicionamento de ar.

Considerando que um edifício também é um sistema e envolve uma grande quantidade de variáveis que podem estar interrelacionadas (NIMLYAT; DASSAH; ALLU, 2014), a avaliação desses parâmetros é uma tarefa complexa. A análise através de simulação computacional é utilizada com frequência para identificação de estratégias para melhoria do desempenho termoenergético de edificações (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). Segundo Souza (2012) o *EnergyPlus* (EP) é a ferramenta mais reconhecida e utilizada como instrumento para esse tipo de análise. Entretanto, levando em conta que o EP atende apenas a determinadas estratégias de avaliação, cresce o número de estudos que utilizam também de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) para maior relevância dos resultados e redução do tempo de análise. Entre essas ferramentas, atualmente, os algoritmos genéticos, evolutivos e multiobjetivos estão entre os métodos de destaque, possibilitando abordagens com estratégias mais aprofundadas, do tipo paramétricas (ZHANG; KOROLIJA, 2010), evolutivas (DAHLAN; ARIS, 2018) ou multiobjetivas (YU *et al*, 2015).

Segundo Li e Malkawi (2016), todas essas técnicas tem sido utilizadas na redução do

consumo de energia para projetos da construção civil e são adotadas para avaliar diferentes tipos de edificações e situações. Entre essas técnicas, o estudo da inserção de parâmetros sustentáveis para o melhoramento da qualidade do ar em edificações (TONG et al, 2016), a modernização de edifícios (ASADI; SILVA; ANTUNES, 2012) e o resfriamento de ambientes (YAN et al, 2016) podem ser observados. Assim como estes, inúmeros trabalhos tem utilizado destas análises para interpretação dos elementos diretamente interligados ao envelope das edificações, como a identificação de parâmetros de configuração de envelope térmico (ECHENAGUCIA et al, 2015), otimização de dispositivos de sombreamento (KITIMTAT et al, 2019) e também de esquadrias (ZHAI et al, 2019). Nesse contexto, este estudo tem como objetivo a análise inicial do comportamento de uma estratégia de otimização multiobjetivo, para definição de futuras medidas de adaptação do envelope térmico do projeto-padrão Proinfância tipo 2, para implantação na zona bioclimática 2.

## **2 MÉTODO**

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas: definição do objeto de estudo, configuração das características da solução base, definição das variáveis de otimização e dos seus respectivos intervalos, delimitação das estratégias de otimização e análise de resultados.

### **2.1 Definição do objeto de estudo**

Considerando a implantação de novas EMEIs para cidade de Pelotas – RS, Zona Bioclimática 2, o FNDE deliberou que os recursos fossem destinados para projetos-padrão do tipo 2 (FNDE, 2017), logo, este foi o modelo escolhido para o estudo. Com 890,33m<sup>2</sup> de área construída, essa tipologia possui capacidade de acolhimento de até 94 crianças em turno integral, ou 188 em turnos alternados. Quanto à forma e implantação, possui características semelhantes aos outros modelos: pavimento único, blocos interligados por um pátio coberto central e áreas externas com playground, jardins e castelo d'água. Com uma setorização visível, os ambientes são distribuídos entre os setores pedagógico, administrativo, serviço, pátio coberto e áreas de uso transitório, como mostra a Figura 1.

Para representação do modelo real, a etapa de modelagem foi realizada através do *software SketchUp® PRO 2019*, com o acréscimo do *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*. Nesse caso, cada compartimento foi definido como uma zona térmica (ZT). Em seguida, finalizada a modelagem da edificação, iniciou-se a etapa de configuração do modelo numérico.

### **2.2 Configuração das características da solução base**

Para configuração do modelo numérico, foram utilizadas as especificações de projeto presentes no memorial descritivo fornecido pelo FNDE (FNDE, 2017).

A edificação apresenta um sistema construtivo convencional, com estrutura em concreto armado e fechamentos verticais em tijolos cerâmicos furados com dimensões de 9x19x39cm para as paredes internas e 14x19x39cm para as externas.

Figura 1: Setorização EMEI tipo 2



Fonte: Adaptado de FNDE (2017)

A Tabela 1 apresenta as principais propriedades da envoltória, calculadas de acordo com o método apresentado na NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Tabela 1 – Caracterização da envoltória da edificação

| Elemento         | Composição   | Transmitância térmica U [W/(m²k)] |
|------------------|--|-----------------------------------|
| Paredes externas | Reboco + Cerâmica + Câmara de ar + Cerâmica + Reboco       | 1,86                              |
| Paredes internas | Reboco + Cerâmica + Câmara de ar + Cerâmica + Reboco       | 2,29                              |
| Piso             | Piso vinílico + Laje de contrapiso                         | 4,61                              |
| Cobertura        | Telha termoacústica com PIR + Câmara de ar + Forro mineral | 0,32                              |

Fonte: Os autores

As esquadrias são de alumínio natural, com exceção das portas internas, que são em madeira compensada. Os vidros das janelas são temperados com espessura de 6 mm. Adotou-se cores padronizadas para paredes internas e externas, com absorvância de  $\alpha=0,2$ .

A configuração dos ganhos internos de iluminação e equipamentos também está de acordo com os projetos complementares fornecidos pelo FNDE (FNDE, 2017). Para caracterização do uso e ocupação foram utilizados os dados fornecidos pela 5ª Coordenadoria Regional de Educação de Pelotas (5ª CRE Pelotas), com base na previsão do número de usuários dos ambientes e o horário das atividades realizadas na escola, entre 7:30h e 17:30h, durante todos os dias da semana.

Para caracterização do sistema de ventilação, uma das alternativas para redução do consumo de energia é a utilização de um sistema híbrido, que consiste na alternância entre ventilação natural, com janelas operáveis, e sistemas mecânicos de condicionamento de ar (CBE, 2017). A estratégia de controle adotada para operação desse sistema considera os limites de conforto adaptativo mencionados pela Standard ASHRAE 55, com 80% de aceitabilidade. Nessa situação, a climatização artificial é utilizada quando, durante o período de ocupação, os ambientes não apresentarem temperaturas dentro desses limites. Neste caso, o

sistema de condicionamento artificial configurado é do tipo janela, com coeficiente de performance (COP) de 2,75 para aquecimento e 3,0 para resfriamento. A taxa de fluxo de ar por pessoa é de 0,0075 m<sup>3</sup>/s e a eficiência do motor e do ventilador são, respectivamente, 0,90 e 0,70, conforme RTQ-R (INMETRO, 2010). A ventilação híbrida foi configurada para os ambientes de permanência prolongada durante o período de ocupação da EMEI. A simulação foi realizada para ZB2, caracterizada pelo arquivo climático da cidade de Pelotas/RS (LEITZKE *et al*, 2018).

### 2.3 Definição das variáveis de otimização e seus intervalos

Após estabelecer a composição inicial do modelo, é necessário definir quais as variáveis serão alteradas na análise multiobjetivo, assim como, seus intervalos limítrofes. Neste caso, as transmitâncias térmicas (W/(m<sup>2</sup>.K)) da parede externa, cobertura e piso foram alteradas (variando a espessura e a capacidade térmica), bem como a orientação solar e a absorvância das paredes externas e da cobertura. As variáveis e seus intervalos são apresentados na Tabela 2, e foram definidas com base nos estudos de BALBONI *et al* (2019), KNOP *et al* (2019) e DALBEM *et al* (2017), que do mesmo modo, são desenvolvidos para ZB2 e destacam a relevância da utilização de envelopes isolados, com transmitâncias térmicas menores em fechamentos opacos verticais e horizontais, para um maior alcance na redução do consumo energético de edificações.

Tabela 2 – Variáveis de otimização

| Variáveis  | Limite inferior | CT (kJ/(m <sup>2</sup> K)) | Limite superior | CT (kJ/(m <sup>2</sup> K)) | Iteração |
|--|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------|
| Transmitância térmica da parede (W/(m <sup>2</sup> .K))    | 0,3             | 499,37                     | 2,00            | 189,05                     | 0,01     |
| Transmitância térmica da cobertura (W/(m <sup>2</sup> .K)) | 0,3             | 21,87                      | 0,99            | 16,18                      | 0,01     |
| Transmitância térmica do piso (W/(m <sup>2</sup> .K))      | 1,00            | -                          | 4,10            | -                          | 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       |

CT: Capacidade térmica

Fonte: Os autores

### 2.4 Delimitação da estratégia de otimização

O estudo será realizado através de uma abordagem de otimização com um algoritmo evolutivo multiobjetivo elitista, que utiliza a distribuição normal para avaliar o comportamento de variáveis que interferem no desempenho das edificações. A estrutura inicial desse algoritmo acontece a partir da seleção das variáveis e seus intervalos, e a partir disso, um conjunto amostral de dados com tamanho pré-definido pelo usuário é gerado aleatoriamente. Com base nesses limites, cada indivíduo desse conjunto será composto pelos valores sorteados para cada uma das variáveis.

Com uma linguagem *eppy*, escrita na linguagem de programação *Python*, os dados dos objetivos são adquiridos através dos relatórios de saída gerados pelo *EnergyPlus* versão 8.7. Neste estudo, os indivíduos são avaliados de acordo com os valores referentes às funções-objetivo de Intensidade do uso de energia elétrica (EUI) [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)] para aquecimento e resfriamento. Denominada, AND, esta

abordagem seleciona 25% dos indivíduos que apresentarem os melhores resultados em ambos os objetivos dentro de uma mesma geração. A busca pelo elitismo é uma das principais características da abordagem, já que nela apenas os melhores indivíduos são selecionados.

Essa é uma das características que influenciam diretamente na convergência das gerações, visto que em poucas gerações é possível observar a convergência das soluções para regiões que apresentem resultados satisfatórios. Para a concepção das próximas gerações, os resultados das novas gerações são agrupados com àqueles referentes as gerações passadas, realimentando o conjunto inicial de dados, já que populações povoadas e precisas são essenciais para melhoria da convergência de resultados das funções-objetivo.

### 3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para execução das simulações utilizou-se um computador com processador Intel Core i7-2600K CPU @ 3.40GHz x 8. A abordagem foi executada com 16 gerações (população inicial e quinze gerações), com 385 casos em cada uma delas. Nesse contexto, o tempo médio de execução para cada simulação foi de 12 minutos e 26 segundos. No total foram realizadas 6160 simulações, tendo sempre 8 delas rodando em paralelo. Nessas condições, a estratégia de otimização levou aproximadamente cerca de uma semana (9240 minutos) para ser executada. Com a ausência dessas circunstâncias a mesma estratégia levaria cerca de 73920 minutos para execução, isso representa algo em torno de dois meses, ou 51 dias. Esse cenário exemplifica a importância do uso de paralelismo computacional para esse tipo de análise.

Nessa estratégia, através da plotagem dos resultados em um gráfico de dispersão, que representa cada uma das funções objetivo em um dos seus eixos, foi possível observar um princípio de convergência em direção ao ponto ótimo já entre as primeiras gerações, onde foram observados os melhores casos. A diferença entre o pior caso (maior EUI) da 5ª geração e o melhor (menor EUI) da 15ª é de apenas 1,89 (kWh/(m<sup>2</sup>.ano)). Essa situação demonstra que, neste caso, talvez não seja necessária a execução de um grande número de gerações para identificação de soluções ótimas, o que pode ser considerado para otimização do tempo de execução das futuras análises. Além disso, ao analisarmos dados de convergência dentro dos intervalos definidos a cada cinco gerações, considerando o recorte de 1% dos melhores resultados obtidos pela análise, observou-se que durante sua execução o algoritmo encontrou um gargalo na análise: valores menores que 98,79 (kWh/(m<sup>2</sup>.ano)) de EUI não foram encontrados, demonstrando uma limitação a ser trabalhada no desenvolvimento do estudo.

Ao investigar esse resultado, pode-se observar que o consumo de energia pelas cargas internas é muito alto e chega a alcançar valores de 850,04 (kWh/m<sup>2</sup>a) para equipamentos e 93,25 (kWh/m<sup>2</sup>a) para iluminação. Sendo assim, o algoritmo utiliza de soluções que reduzem o máximo possível a função de EUI, porém, cargas com características fixas durante a análise são aquelas que mais interferem no consumo da edificação. O consumo gerado pelo ar condicionado é mínimo, e não ultrapassa o valor de 7 (kWh/(m<sup>2</sup>.ano)), evidenciando que as variáveis de iluminação e equipamentos são as que mais interferem no consumo dessa edificação.

### 4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta o recorte inicial do desenvolvimento de uma pesquisa de

mestrado e foi utilizado para apresentação e delineamento do método proposto. Ainda não foram realizadas análises aprofundadas, que levem em consideração o comportamento das variáveis que compõem o envelope térmico do edifício, logo, pretende-se que a próxima etapa do trabalho consista no aprimoramento da estratégia de otimização, e na identificação dos parâmetros mais relevantes no desempenho termoenergético desta edificação para Zona Bioclimática 2.

Ainda que inicial, este trabalho possibilitou a identificação de questões importantes para o andamento da pesquisa. O estudo evidenciou que o aperfeiçoamento da ferramenta poderá trazer resultados relevantes para o desempenho da edificação. O planejamento adequado desses projetos, assim como dos ganhos internos referentes a iluminação e equipamentos, e a tentativa de possíveis procedimentos para redução do tempo de máquina, serão questões abordadas nos próximos encaminhamentos. Para isso, o modelo será representado por uma proposta de setorização, com uma redução no número de zonas térmicas. Ainda serão realizados testes para verificação da influência do número de gerações sobre resultados que possibilitem soluções ideais.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento dos Profissionais de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 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. Rio de Janeiro, 2005.

ASADI, E.; SILVA, M. G. da; ANTUNES, C. H.; DIAS, L. A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. **Building and Environment**, v.56, p.370–378, 2012.

BRASIL. Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE), Ministério da Educação. **Resolução nº 6, 24 abril 2007**. Programa Nacional de Reestruturação e Aparentagem da Rede Escolar Pública de Educação Infantil. Brasília: MEC/FNDE 2007.

BALBONI, M. D. C. *et al.* Geração de uma população inicial para análise multiobjetivo de simulações termoenergéticas em HIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2019.

CBE - CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT. **About mixed-mode**. Disponível em: <<https://cbe.berkeley.edu/mixedmode/index.html>> . Acesso em: 13 mar. 2020.

COAKLEY, D.; RAFTERY, P.; KEANE, M. A review of methods to match building energy simulation models to measured data. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.37, p.123–141, 2014.

CORBELLA, O. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Editorial Revan, 2003.

DALBEM, R. *et al.* Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, mar. 2017.

- DAHLAN, N.; ARIS, A. Optimizing Energy Baseline for Medium Size Office Using Hybrid EnergyPlus-Evolutionary Programming (EP). **Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)**, v.10, n.1-4, p.59–65, 2018.
- ECHENAGUCIA, T. M. *et al.* The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. **Applied Energy**, v.154, p.577–591, 2015.
- INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, 2010.
- KIRIMTAT, A. *et al.* Multi-objective energy and daylight optimization of amorphous shading devices in buildings. **Solar Energy**, v.185, p.100–111, 2019.
- KNOP, S. *et al.* Otimização simplificada do desempenho de uma residencia unifamiliar localizada na ZB2. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2019.
- KOWALTOWSKI, D. C. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. Oficina de textos, 2011.
- LEITZKE, R. K. *et al.* Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 12, p. 741-756, 2018.
- LI, X.; MALKAWI, A. Multi-objective optimization for thermal mass model predictive control in small and medium size commercial buildings under summer weather conditions. **Energy**, v.112, p.1194–1206, 2016.
- NIMLYAT,P.; DASSAH, E.; ALLU, E. Computer simulations in buildings: implications for building energy performance. **Computer**, v.4, n.03, 2014.
- OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, v.12, n.1, p.91–114, 2012.
- SOUSA, J. Energy simulation software for buildings: review and comparison. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INFORMATION TECHNOLOGY FOR ENERGY APPLICATIONS-IT4ENERGY, LISBON, 2012. **Anais...** Lisboa, 2012.
- TONG, Z. *et al.* Quantifying the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building. **Environment international**, v.89, p.138 146, 2016.
- YAN, C. *et al.* A seasonal cold storage system based on separate type heat pipe for sustainable building cooling. **Renewable energy**, v.85, p.880 889, 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, 2015.
- ZHAI, Y. *et al.* A multi-objective optimization methodology for window design considering energy consumption, thermal environment and visual performance. **Renewable Energy**, v.134, p.1190–1199, 2019.
- ZHANG, Y.; KOROLIJA, I. Performing complex parametric simulations with jEPlus. In SET2010-9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES, 2010. **Anais...** Shanghai, China, 2010.