

Entorno urbano e a sua relação com o desempenho térmico em edificação em Curitiba – PR

Urban surroundings and the relationshi with building thermal performance in Curitiba – PR

Cristiane Rossatto Candido(1); Francine Aidie Rossi(2)

1 Mestre em Engenharia Civil (UFPR), Engenheira Civil.

E-mail: rossattoc@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3178-7796>

2 Doutora em Tecnologia e Sociedade (UTFPR), Arquitetura e Urbanista, Docente DEGRAF e PPGEC, Universidade Federal do Paraná.

E-mail: rossi@ufpr.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0745-5684>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 13, n. 1, p. 50-69, janeiro-junho, 2024 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2024.v13i1.5043>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

As edificações têm seu comportamento térmico e energético determinado pelo ambiente em que estão inseridas, porém a maioria dos estudos de desempenho de edificações são realizados com dados climáticos de estações consideradas rurais. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar as variações de temperatura do ar interna e do consumo relativo para refrigeração de uma edificação de laboratórios, da Universidade Federal do Paraná (UFPR) campus Centro Politécnico, em Curitiba, com base em dois arquivos climáticos. Foi utilizado para análise, o *plug-in EcoDesigner STAR* para o programa de modelagem da informação da construção (BIM) *ArchiCAD*. A edificação foi analisada considerando ventilação natural e posteriormente o consumo de energia para refrigeração. Os resultados encontrados mostram que a utilização de um arquivo climático proveniente de estação meteorológica rural, na simulação termo energética da edificação analisada, subestima o consumo de energia para refrigeração em até 13,11% e os valores de temperatura do ar em até 3,3°C, quando a edificação é ventilada naturalmente.

Palavras-chave: Desempenho térmico e energético de edificações; *Urban Weather Generator*; edificação pública.

Abstract

Buildings have their thermal and energetic behavior determined by their surrounding environment. However, most studies of building performance are carried out with climatic data from rural meteorological stations. Thus, the goal of this research was to evaluate variations in indoor air temperature and in relative consumption for cooling in a laboratory building, at the Federal University of Paraná (UFPR) Centro Politécnico campus, in Curitiba. The analysis was carried out based on two climatic data. The EcoDesigner STAR plug-in for the ArchiCAD construction information modeling (BIM) program was used for analysis. The energy consumption for cooling of the building was analyzed considering natural ventilation. The results showed that the use of a climatic file from a rural meteorological station would underestimate the energy consumption for refrigeration by up to 13.11% and the values of air temperature in up to 3.3%, when the building is naturally ventilated.

Keywords: Building thermal and energetic performance; *Urban Weather Generator*; public building.

1 Introdução

O desempenho energético e o consumo de energia de uma edificação recebem influências do meio externo e do meio interno. Muitos *softwares* de simulação energética como o *DesignBuilder* e o *EnergyPlus*, que são capazes de analisar o desempenho energético de uma forma sistêmica e confiável (Yang et al., 2012). Os dados climáticos utilizados nesses modelos, em geral, são provenientes de estações meteorológicas rurais. Essas séries de dados são derivados de observações de longo prazo e que resultam em uma base de dados que não considera o ambiente microclimático no qual a edificação se insere.

De fato, com o aperfeiçoamento dos *softwares* de modelagem energética da edificação, representar as interações entre fenômenos físicos nas escalas urbanas considerando as interações na interface ambiente-edifício torna-se um passo importante (Lauzet et al., 2017). Apesar dessas observações, o número de trabalhos de simulação de desempenho energético que consideram aspectos microclimáticos, no ambiente em que o edifício é ou será inserido, é pequeno. Além disso, a partir das possibilidades desse tipo de modelagem, existe a probabilidade de verificar mais assertivamente quais seriam as estratégias que podem diminuir o consumo energia nas edificações.

Salvati et al. (2020) analisaram a performance energética de diferentes edifícios quando considerados fenômenos climáticos como a ilha de calor e obstrução solar em 10 casos de estudo diferentes, sendo em Roma, na Itália e em Antofagasta no Chile. Os resultados mostraram que as sombras urbanas são fundamentais para redução do consumo de energia para resfriamento em climas quentes e que o efeito da ilha de calor é mais significativo para climas temperados.

Outros estudos como Lima, Scalco e Lamberts (2019) e Machado (2019) estudaram, com uso do UWG, a influência da radiação solar no clima urbano e o efeito desse na carga térmica de edifícios comerciais em duas cidades do Brasil, o primeiro em Maceió/AL e o segundo em Santa Maria/RS. Os resultados de Lima, Scalco e Lamberts (2019) demonstraram que houve uma redução de carga para resfriamento de 16% a 18%, quando considerado uma geometria urbana que recebe sombreamento, para o clima de Maceió. Já Machado (2019) demonstrou que a ilha de calor em Santa Maria resulta em um aumento percentual de 5% a 59% da carga térmica para resfriamento.

Com isso, percebe-se que as temperaturas nos centros urbanos tendem a ser mais elevadas do que nas áreas rurais, devido ao efeito de diversos fatores como calor antropogênico, incidência de radiação solar, radiação de ondas longas e a formação de ilhas de calor. Esses fatores são específicos para cada região, mesmo dentro de uma mesma cidade e tem sido deixado de lado sistematicamente em estudos de avaliação de desempenho térmico e energético de edificações.

Sendo assim, mostram-se necessárias as considerações do entorno urbano em simulações de desempenho das edificações. Em geral, quando é considerado o meio urbano na simulação, são realizadas simulações por *Computational Fluid Dynamics* (CFD), mas essas são onerosas, principalmente por dois fatores: (1) precisam de um computador com processador e memória de alta qualidade, e; (2) o tempo de simulação pode levar até dias, como indicado em Morille, Musy e Malys (2016).

A proposta da utilização do *Urban Weather Generator* (UWG) é usar uma análise menos onerosa, baseada na teoria de dossel urbano, camadas limites e balanço de energia, com a finalidade de alterar arquivos climáticos baseados em estações rurais levando em consideração o entorno urbano que ela se insere. Nessa pesquisa são apresentadas a metodologia utilizada para desenvolvimento da simulação e a comparação dos resultados entre as simulações da edificação com o arquivo climático SWERA e o arquivo climático modificado pelo UWG.

1.1 Objetivo

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar as variações de temperatura do ar interna e do consumo energético para refrigeração de uma edificação de laboratórios, da Universidade Federal do Paraná (UFPR) campus Centro Politécnico, em Curitiba, com base em dois arquivos climáticos distintos: (1) o arquivo climático epw SWERA, que tem base de dados do Aeroporto Afonso Pena; e (2) o arquivo climático epw modificado pelo UWG, que considera o contexto urbano.

1.2 Método

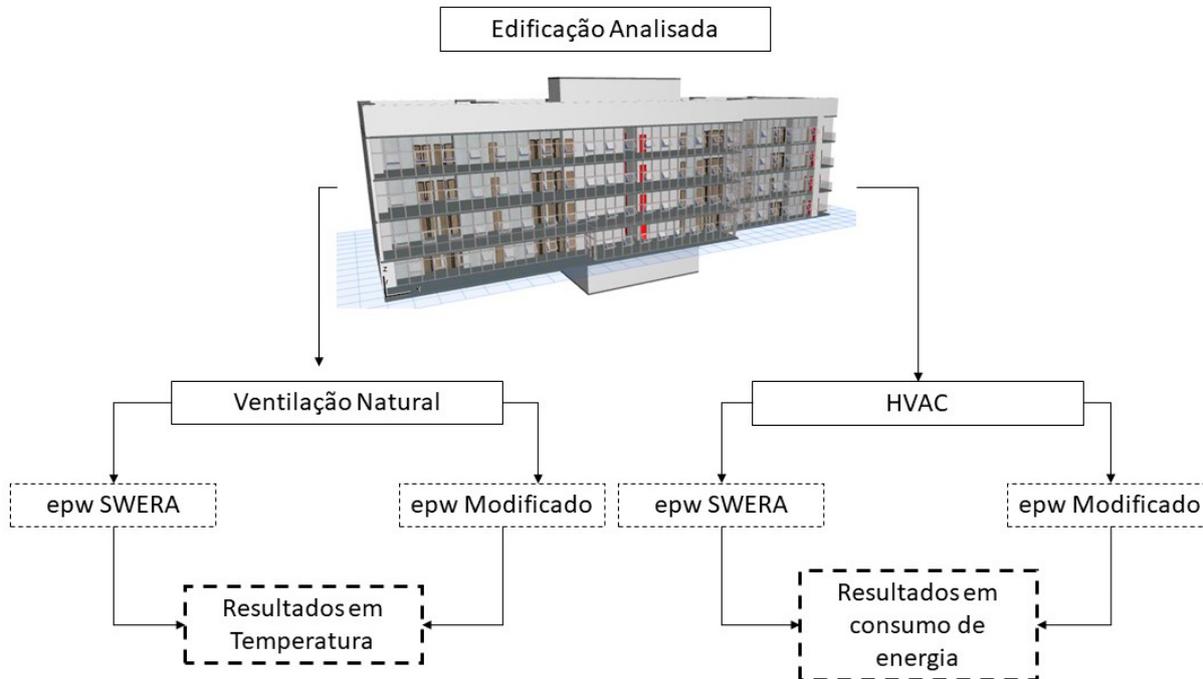
A partir do arquivo climático modificado pelo algoritmo *Urban Weather Generator* (UWG) (CANDIDO, 2020), foram realizadas simulações de uma edificação que está em construção no campus Centro Politécnico, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A análise foi realizada em duas etapas, considerando os dois arquivos climáticos: (1) para edificação ventilada naturalmente e (2) para a edificação condicionada artificialmente.

Os dois arquivos climáticos utilizados foram: o da estação meteorológica do Aeroporto Afonso Pena, referenciada como SWERA 838400 e o arquivo climático alterado com os resultados da influência do entorno urbano, por meio do software *Urban Weather Generator* (UWG).

Foram testados dois modelos para cada arquivo climático utilizado, totalizando quatro simulações. Esses casos foram adotados a fim de comparar os resultados da edificação ventilada naturalmente e condicionada artificialmente com os dados climático epw SWERA e o arquivo climático modificado pelo UWG. É importante salientar que a única alteração entre os modelos comparados foi o arquivo climático

epw utilizado. Os dados então foram analisados e comparados para a edificação ventilada naturalmente em temperatura média do ar, e para a edificação condicionada artificialmente (HVAC), foi utilizado o consumo de energia anual. O diagrama da Figura 1 demonstra isso.

Figura 1. Diagrama do fluxo da análise da edificação



Fonte: Candido (2020).

As simulações foram feitas com um programa de modelagem BIM com o *plug-in EcoDesigner STAR*. A escolha do programa foi feita com base nos resultados encontrados por Alam e Ham (2014) e Tahmasebi, Banihashemi e Hassanabadi (2011) que também utilizaram o *plug-in* do ArchiCAD para análise da edificação e obtiveram bons resultados.

Alam e Ham (2014) analisaram os parâmetros do Eco Designer STAR para desenvolvimento do BEM (*Building Energy Model*) em comparação entre outro *plug-in* e encontraram similaridades entre o Eco Designer STAR e os *softwares* reconhecidos internacionalmente para desenvolvimento de análises térmicas e energéticas da edificação, como *EnergyPlus* e *DesignBuilder*. Enquanto Tahmasebi, Banihashemi e Hassanabadi (2011) utilizaram o programa para validar diferentes tipos de vidros (laminado, insulado e simples) em diferentes taxas nas fachadas de edificações, encontrando resultados que possibilitam a decisão projetual.

1.2.1 Caracterização da área de estudo

A edificação analisada fica na cidade de Curitiba que, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, apresenta clima temperado marítimo

úmido (Cfb), caracterizado por alta pluviosidade e por temperaturas amenas. Sendo a temperatura média anual de 19,7 °C e os meses mais quentes variam entre janeiro e fevereiro e os mais frios entre junho e julho. Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro a cidade se enquadra na Zona Bioclimática 1 (ABNT, 2003), sendo a capital mais fria do país.

A edificação está dentro do mesmo contexto urbano que a estação meteorológica do SIMEPAR. Isso permitiu a validação dos dados microclimáticos modificados pelo UWG, a partir da comparação dos dados meteorológicos reais (estação SIMEPAR) com os dados gerado pelo algoritmo UWG (Candido, 2020).

A edificação de estudo pertence ao Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, que está na Zona Educacional (ZE) e faz divisa com a Zona Residencial 2 (ZR-2) à leste, BR-277 ao norte, Linha Verde (BR476) à oeste e o Eixo de Adensamento Comendador Franco ao sul. O recorte está em uma área urbana consolidada, com predominância de uso residencial de baixa densidade (edificações com dois pavimentos), de comércio e serviço vicinal, com vias asfaltadas e arborizadas, e com a presença de uma fração de mata nativa localizada dentro do terreno da UFPR.

Vários autores apontam que os fatores que alteram as variáveis climáticas no contexto urbano são: relações entre altura e largura dos cânions urbanos, taxa de sombreamento, comportamento dos ventos, densidade construtiva e albedo (Lima; Scalco; Lamberts, 2019; Machado, 2019; Oke, 1987; Salvati; Roura; Cecere, 2016; Salvati et al., 2020; Xu et al., 2020). Entretanto, simulações termo energéticas, baseadas em modelos de balanço de energia, não contemplam as peculiaridades do microclima urbano, como o aumento da temperatura do ar, resultado da densificação urbana, da diminuição de áreas verdes e permeáveis, entre outros, visto que utilizam dados climáticos de estações meteorológicas oficiais que ficam fora da malha urbana.

Desta forma, justifica-se a escolha do local em função do contexto urbano de inserção e da proximidade com a estação meteorológica do SIMEPAR, cujos dados foram utilizados para validar o arquivo climático alterado de Curitiba. Os procedimentos e parâmetros utilizados para alteração do arquivo climático estão detalhados em Candido (2020) e não são objeto de estudo desse artigo.

1.2.2 Arquivos climáticos SWERA e UWG

Foi realizada a alteração do arquivo climático epw de Curitiba com o auxílio do *software Urban Weather Generator* (UWG). O objetivo dessa etapa foi verificar a influência do entorno urbano na variável de temperatura de bulbo seco. O UWG lê um arquivo de entrada em linguagem xml com informações da faixa urbana analisada, e do entorno da estação meteorológica do arquivo climático que está sendo utilizado de base para alteração.

Os dados de entrada, chamados dados de referência, compreendem os seguintes

dados: classificação do solo, porcentagem da área de fachada, porcentagem da projeção da área construída (taxa de ocupação), altura das edificações e características térmicas dos materiais naturais e construtivos (Bueno, 2010; Lima; Scalco; Lamberts, 2020; Salvati; Roura; Cecere, 2016; Yang, 2016).

A classificação do solo, foi realizada com auxílio do programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS e um *plug in* de classificação do solo denominado *Semi-Automatic Classification Plug-in* (SCP). As porcentagens de área de ambiente construído (edificações), foram obtidos por meio dos mapas 3D disponibilizados no site <<https://cadmapper.com/>>. Esse aplicativo *online* transforma dados geográficos provenientes de fontes públicas como *OpenStreetMap* e NASA, em arquivos CAD e de programas 3D como *SketchUp*.

Os valores referentes às características térmicas dos materiais e das edificações foram retirados de normas, artigos científicos, conforme descrito em Candido (2020). Com os dados de entrada foi possível desenvolver o arquivo xml, com as informações do entorno urbano da estação meteorológica do SIMEPAR e do entorno da estação meteorológica do Aeroporto Afonso Pena.

Assim, foi possível rodar a simulação pelo software UWG, com o arquivo epw referente a estação do Aeroporto Afonso Pena, SWERA 838400, e o arquivo xml com os inputs do entorno urbano analisado.

Foram realizadas análises com as médias de temperatura de bulbo seco para os meses mais críticos (verão e inverno), que possuíram as médias mais altas e mais baixas, sendo respectivamente o mês de fevereiro e o mês de junho. Além disso, os dados dos dois arquivos climáticos (SWERA 838400 e o modificado pelo UWG) foram comparados com os dados do ano TRY com base na estação meteorológica do SIMEPAR.

A apresentação do método para obtenção do arquivo epw pelo UWG não é objeto dessa pesquisa e está descrito em Candido (2020). Porém os resultados obtidos mostram que o modelo pode ser usado para a alteração de arquivos climáticos provenientes de estações rurais. Os resultados apresentados demonstram coerência no comportamento da variável temperatura do ar, ao longo das horas dos dias e dos meses. A consideração do ambiente urbano (através do arquivo UWG) mostrou que houve aumento da temperatura do ar para o ambiente analisado.

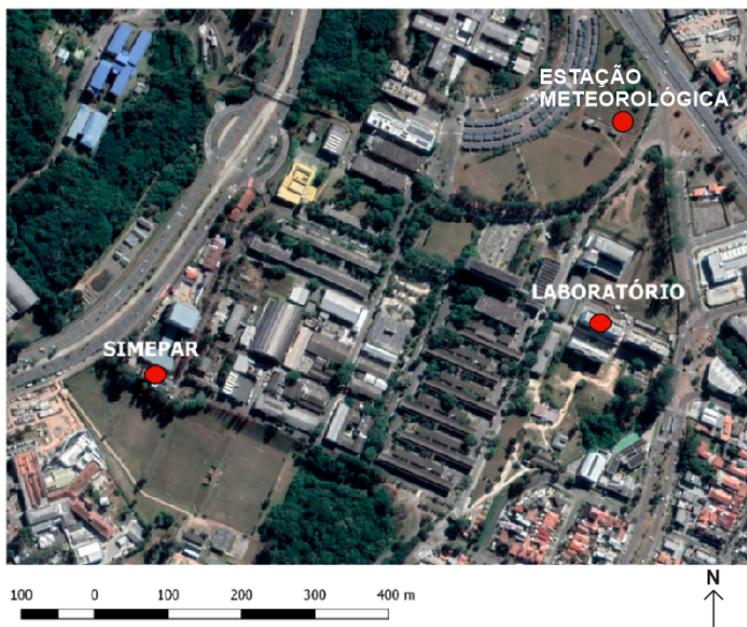
Ao identificar a alteração do padrão climático do ambiente urbano, a partir dos dados obtidos pelo uso do algoritmo UWG, torna-se necessário entender o impacto desses dados em simulações termo energéticas de edificações.

Em geral, arquivos climáticos, provenientes de estações fora da área urbana, são utilizados para as simulações de desempenho de edificações. Porém, o contexto urbano influencia o microclima, que por sua vez, terá impacto nos resultados simulados, interferindo nas possíveis escolhas de projeto. Podendo auxiliar na obtenção de resultados térmicos e energéticos mais fiéis à realidade.

1.2.3 Caracterização da edificação analisada

A edificação (Figura 2), objeto desse estudo, é uma obra em andamento, no campus Centro Politécnico da UFPR, localizado próximo à entrada de pedestres, pela Avenida Cel. Francisco H. dos Santos, no bairro Jardim das Américas, em Curitiba. Os projetos arquitetônicos, de condicionamento de ar e memorial descritivo da edificação, foram fornecidos pela Superintendência de Infraestrutura da UFPR (SUINFRA).

Figura 2. Localização do edifício de laboratórios estudado, da estação meteorológica e da sede do SIMEPAR



Fonte: As autoras (2024).

A edificação possui quatro pavimentos com uso para ensino e dois blocos de área técnica, um no subsolo e outro na cobertura (Figura 3). O pavimento térreo é composto por 5 laboratórios com salas de apoio e uma copa. Já o primeiro pavimento, é composto por sete salas de laboratório e uma sala de coordenação. O segundo pavimento possui cinco laboratórios uma sala para computação científica e copa. Já o terceiro pavimento é composto por seis laboratórios. A fachada sudoeste tem fechamento com pele de vidro, sendo esse o acesso principal ao edifício. Nas outras fachadas as aberturas são correspondentes a tamanhos de janelas padrão. A Figura 3 mostra o modelo 3D da edificação, com a fachada de pele de vidro, na orientação sudoeste.

Figura 3. Modelo 3D da edificação



Fonte: Candido (2020), modelado a partir do projeto no programa ArchiCAD 23 (2020).

As paredes externas são compostas por tijolos cerâmicos de 9 cm e revestimento cerâmico, para a simulação, foi ainda utilizado reboco interno e externo, tendo a alvenaria largura de 15 cm, ao todo.

Já as paredes internas foram compostas por fechamento em *drywall*, sem isolamento, assim como indicado no memorial descritivo do projeto de arquitetura. As lajes foram modeladas sendo de concreto armado com contrapiso e sem acabamento, devido a falta de informações no projeto. Além disso, na cobertura foram utilizadas telhas de fibrocimento, de acordo com o memorial descritivo.

Para as esquadrias foi utilizado vidro laminado incolor simples, devido a falta de informações disponíveis sobre o filme fumê, que está indicado no memorial descritivo da arquitetura, como aditivo ao vidro simples na fachada de vidro (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades térmicas do vidro

Vidro	Vidro Incolor Comum
Fator Solar (SHGC)	0,87
Transmissão Luminosa	0,89
Transmitância (W/m ² -K)	5,8

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2010).

Os parâmetros (Tabela 2) de entrada para a criação dos materiais no software são: condutividade térmica, densidade e calor específico.

Tabela 2 - Propriedades Térmicas dos materiais da edificação

Material	Massa aparente (kg/m ³)	Condutividade térmica (W/(m.k))	Calor específico (Kj/(kg.K))
Argamassa comum	1800	1,15	1,0
Tijolos e telhas de barro	1500	0,9	0,92
Telha Fibrocimento	1400	0,65	0,84

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (2003, p. 10).

1.2.4 Modelagem na ferramenta *Building Information Modelling* (BIM)

A fim de diminuir o tempo no processo de desenho do modelo energético, optou-se por utilizar a ferramenta de modelagem BIM, *ArchiCAD*, proveniente da empresa *Graphisoft*. Para esse estudo foi utilizada a versão 23 do programa.

Antes de iniciar a modelagem, foram configurados os materiais e as respectivas composições para que os dados ficassem de acordo com o que foi descrito no memorial descritivo do projeto de arquitetura do edifício. Apesar do *ArchiCAD* possuir uma biblioteca com diversos materiais, optou-se por criar materiais com propriedades térmicas de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

O tutorial, com o passo a passo da modelagem e criação de novos materiais no programa *ArchiCAD* está apresentado em Candido (2020). A seguir apresenta-se um breve resumo dos passos seguidos.

A criação de novos materiais é feita pelo menu na barra superior em Opções, atributos do elemento e materiais de construção. Dentro do menu de materiais, é possível criar um novo material e classificá-lo para que o conjunto de parâmetros seja adequado ao tipo de material.

Após a classificação, foi realizada a configuração dos parâmetros dos materiais construtivos já mencionados, de acordo com a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005).

Após as configurações dos parâmetros, foi possível criar as composições de parede interna e externa, assim como cobertura e laje. Para a criação das composições o usuário deve acessar o menu opções, direcionando para atributos do elemento e finalmente em composições.

As composições criadas para o projeto em análise foram paredes. Para cada estilo de parede, foi criada a composição com as camadas e definição dos materiais e espessuras. As camadas criadas foram: camada externa, núcleo, camada interna.

1.2.5 Configurações de simulação no *EcoDesign STAR*

Para a simulação térmica e energética da edificação foi utilizado o *plugin* de análise térmica e energética para edificações, para o ArchiCAD, chamado *EcoDesigner STAR*. Ele possibilita a simulações térmica e energéticas no próprio *Archicad*, mas para que seja possível rodar a simulação, a modelagem deve seguir critérios específicos que são encontrados no passo a passo do manual disponível pela própria fabricante (GRAPHISOFT, 2014).

Além das diretrizes mencionadas na seção anterior é importante ressaltar que a criação de zonas térmicas é o principal argumento necessário para que a simulação possa rodar, é através das configurações colocadas nas zonas que pode ser avaliado os consumos de energia e valores de temperatura do ar, levando em consideração o padrão de utilização da edificação.

Uma das principais configurações da construção das zonas é a limitação geométrica de suas faces. Assim como indicado em GRAPHISOFT (2014) foi utilizado o método de geometria interna da aresta para construção das zonas, de cada ambiente. Assim, o programa considera o volume de ar interno do ambiente para a criação dos elementos zonas térmicas.

Após a criação de zonas é necessário definir os padrões de ocupação, temperaturas de termostato, padrão de iluminação, configurações de condicionamento de ar e ventilação natural. Nessa pesquisa foram utilizados valores com base na ocupação real do edifício, valores padrões de iluminação e nenhuma carga de equipamentos, como será descrito a seguir.

O perfil de operação do edifício de laboratórios estudado foi indicado como sendo, para dias de semana, das 8 horas da manhã às 18 horas da tarde. Em cada perfil de operação, são configuradas as informações de densidade de iluminação, das temperaturas do termostato, da densidade de equipamentos e da taxa de ocupação de pessoas. Para essa pesquisa foi utilizado:

- ◆ Iluminação com lâmpadas LED, com densidade de 0,5W/m²;
- ◆ Densidade de equipamentos igual a zero;
- ◆ Taxa de ocupação de pessoas: 20m² por pessoa;
- ◆ Termostato com temperaturas de 22 °C a 24 °C;
- ◆ Horário de funcionamento das 08h até as 18h.

Após a configuração do perfil de ocupação, iniciou-se a criação dos blocos térmicos que serviram como referência de cálculo pelo simulador. No caso do *EcoDesigner STAR*, em cada bloco térmico podem ser agrupados os ambientes que possuem configurações similares, por exemplo, os laboratórios foram agrupados, todos, no bloco térmico de laboratórios. Nesses blocos, podem ser adicionados os sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural. O sistema de condicionamento de

ar, seguiu o padrão descrito no projeto de climatização disponibilizado pela Suinfra (Superintendência de Infraestrutura da UFPR), sendo composto por máquinas split.

1.2.6 Tratamento dos dados

Foram feitas duas análises de dados para esse estudo. A primeira comparando os resultados de temperatura interna do ar da edificação naturalmente ventilada com o arquivo climático SWERA 838400 e o arquivo climático modificado pelo UWG, conforme descrito em Candido (2020). E a segunda análise comparando o consumo de energia para refrigeração dos ambientes que tem uso contínuo, como laboratórios, salas de apoio e copas, para os dois arquivos climáticos.

É importante salientar que todos os ambientes e pavimentos da edificação foram simulados, mas foram analisados e discutidos, para a edificação naturalmente ventilada, apenas os resultados de temperatura do ar interna, dos laboratórios do pavimento térreo e primeiro pavimento.

1.3 Apresentação dos resultados

Nessa seção serão apresentados os resultados das simulações realizadas com o arquivo climático SWERA e com o arquivo climático modificado pelo UWG. Primeiro será analisado a edificação naturalmente ventilada para os dois casos e posteriormente serão analisados os consumos energéticos para refrigeração da edificação, para os dois casos.

1.3.1 Temperatura média do ar

Nessa seção estão apresentados os dados de temperatura do ar para a edificação ventilada naturalmente, considerando os dois arquivos climáticos: SWERA e UWG.

Os valores médios, mínimos e máximos, das temperaturas internas, obtidos a partir da simulação com os dados climáticos SWERA, para o bloco térmico composto pelos laboratórios do térreo estão apresentados na Figura 4. Julho foi o mês que apresentou o menor valor de temperatura do ar, com mínima de 9,10°C e fevereiro o mês com maior valor de temperatura do ar, com máxima de 31,98°C.

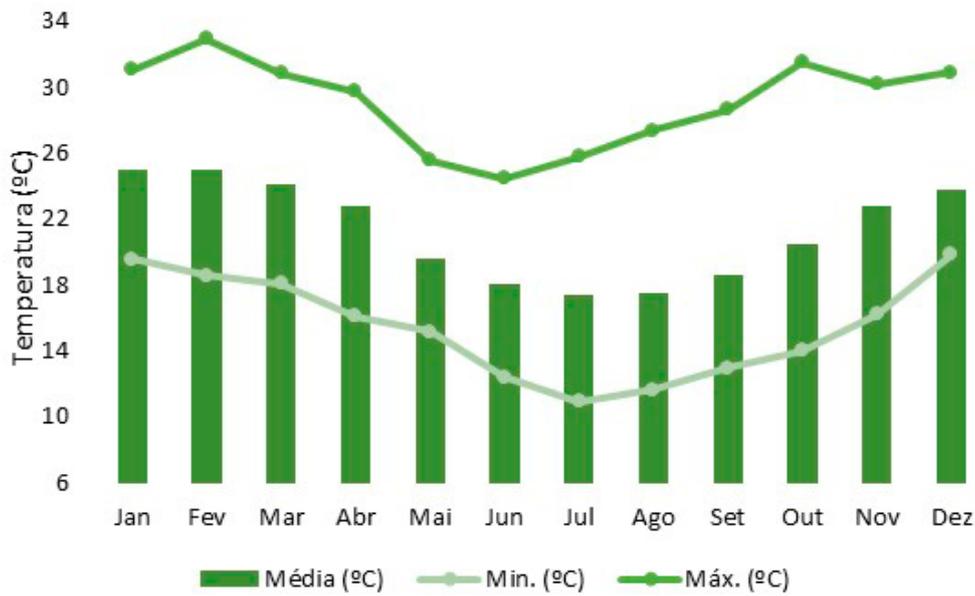
Figura 4. Temperaturas mensais dos blocos de laboratório do térreo para arquivo climático EPW SWERA



Fonte: Candido (2020).

A Figura 5 mostra as temperaturas médias, máximas e mínimas mensais, para os blocos de laboratório do pavimento térreo, simulados com o arquivo climático modificado pelo UWG. Pode-se notar que os valores de temperatura do ar mínima e máxima no ambiente foram mais altas na simulação com o arquivo climático modificado. As temperaturas do ar mínimas foram maiores do que 10°C. As temperaturas mínima e máxima interna foram mais altas com dados do arquivo UWG. Em junho, mês considerado o mais frio do período analisado, a temperatura foi 3,33°C mais alta do que a temperatura registrada com o arquivo SWERA. Em outubro, a temperatura máxima interna foi 1,4°C para mais alta com os dados microclimáticos UWG.

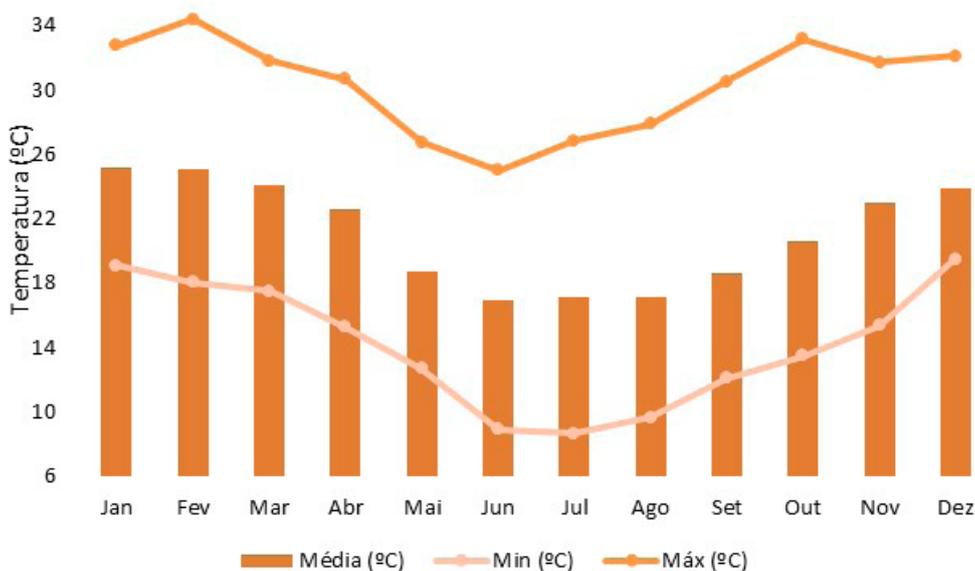
Figura 5. Temperaturas mensais dos blocos de laboratório do térreo para arquivo climático EPW UWG



Fonte: Candido (2020).

Na Figura 6 estão apresentados os dados de temperatura interna mínima, máxima e média do arquivo climático SWERA, para os laboratórios do primeiro pavimento. Nesse gráfico é possível observar que o mês com a menor temperatura mínima foi o mês de julho, marcando 8,66°C e o mês com a maior temperatura máxima foi fevereiro, com 34,44°C. As médias mostram que apesar de fevereiro ter a temperatura do ar externa máxima mais alta, janeiro foi o mês mais quente, em média, com 25,17°C.

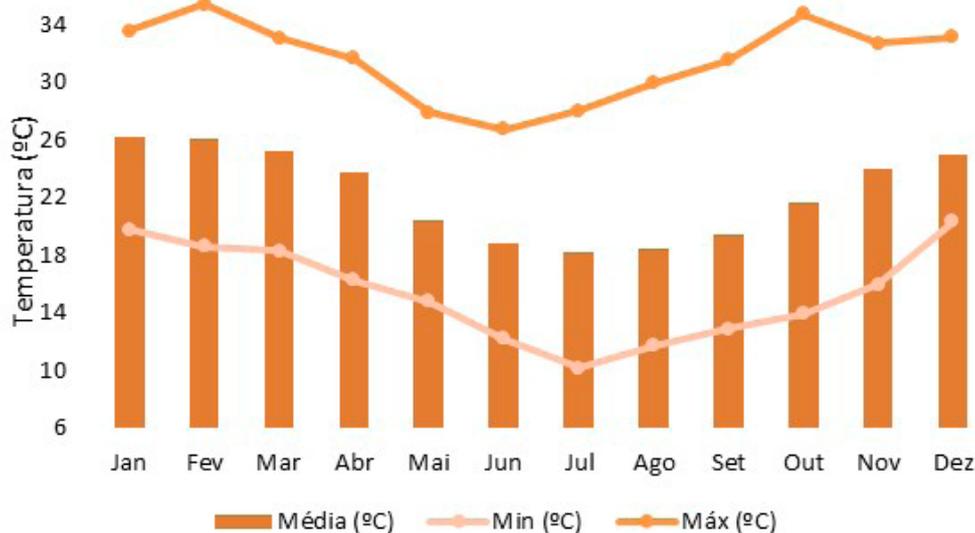
Figura 6. Temperaturas mensais dos blocos de laboratório do 1º pavimento para arquivo climático EPW SWERA



Fonte: Candido (2020).

Na Figura 7 podem ser observados os resultados dos blocos térmicos do primeiro pavimento, levando em consideração a ventilação natural. Os resultados mostram que julho foi o mês que registrou a menor temperatura mínima, 10,14°C, com variação em relação ao arquivo climático SWERA de 1,48°C. Já para as temperaturas máximas, o mês de fevereiro apresentou o maior valor de temperatura máxima, 35,39°C, variando em 0,95°C em relação aos resultados com arquivo climático SWERA. As temperaturas mensais internas médias também demonstram esse aumento de temperatura decorrente da influência do entorno urbano ao considerar o arquivo climático UWG. Nesse caso, as variações médias foram maiores para os meses frios como junho, com 2,2°C de diferença entre dados SWERA e UWG.

Figura 7. Temperaturas mensais dos blocos de laboratório do 1º pavimento para arquivo climático EPW UWG



Fonte: Candido (2020).

Os resultados da simulação térmica da edificação, para ventilação natural, estão em acordo com o que foi apontado em Candido e Rossi (2019). As autoras verificaram temperaturas mais altas para a região da estação meteorológica do SIMEPAR, mesmo contexto urbano no qual a edificação está inserida. Em consequência, a partir dos dados das simulações com os arquivos SWERA e UWG, verificou-se que os dados de temperatura interna (médias, mínimas e máximas) da edificação foram maiores com os dados microclimáticos UWG.

Dessa forma, verificou-se que houve alterações no desempenho térmico da edificação. Quando considerada a temperatura interna dos ambientes a variação máxima foi de 3,3 °C para o mês de fevereiro. As simulações utilizando os dados microclimáticos gerados pelo UWG resultaram em temperaturas mais altas. Além disso, foi possível verificar que a maior variação de temperatura ocorreu nos meses

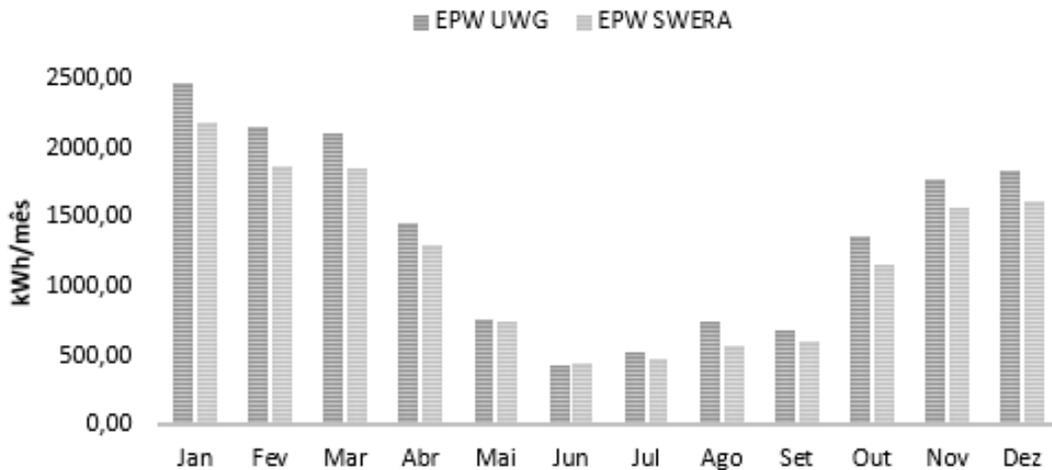
do inverno, o que mostra que o entorno urbano tem função relevante no aumento de temperatura do ar e, conseqüentemente, na temperatura interna da edificação.

1.3.2 Consumo de energia

Nessa seção serão apresentados os resultados para a simulação da edificação condicionada artificialmente para refrigeração. É importante ressaltar que as configurações do condicionamento do ar foram colocadas na simulação conforme o projeto de climatização disponibilizado pela prefeitura do campus Centro politécnico da UFPR.

A Figura 8 mostra o consumo mensal para refrigeração para os dados microclimáticos UWG e SWERA. A comparação é feita considerando os dados de consumo obtidos com o arquivo SWERA *versus* os dados de consumo obtido com o arquivo UWG. Lembra-se que em geral, os arquivos utilizados em simulação de desempenho termo energético são provenientes de estações meteorológicas oficiais, e que tais estações geralmente ficam em locais fora da malha urbana. Assim, optou-se por comparar os dados de consumo de energia simulados a partir da base de dados climáticos do Aeroporto (SWERA – fora da área urbana) e do arquivo gerado pelo algoritmo UWG (dentro da área urbana no qual a edificação está inserida).

Figura 8. Consumo de energia mensal para refrigeração com os dois arquivos climáticos



Fonte: Candido (2020).

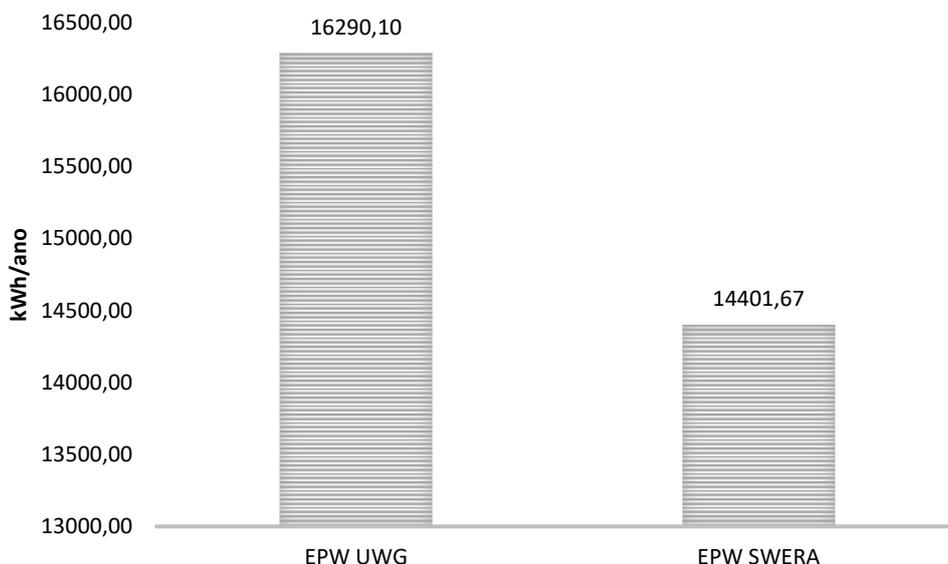
Comparando-se os dados é possível observar que o consumo em kWh para o mês de fevereiro (considerado o mês com médias mais altas de temperatura do ar) foi 13,21% maior quando se leva em consideração o entorno urbano com o arquivo climático UWG. Já em março a variação ficou parecida com a de fevereiro, sendo 11,91% maior com o arquivo climático UWG. Entre os meses de inverno a maior variação ocorreu no mês de agosto. A avaliação demonstrou que considerando o

entorno urbano, o aumento de consumo de energia para refrigeração foi de 23,37%.

É importante verificar que o programa de simulação baseado em balanço de energia considera as cargas da edificação conforme o termostato colocado nos ambientes. Nessa pesquisa foi utilizado o termostato de 22 °C a 24 °C. Dessa forma, sempre que a temperatura fosse superior a 24°C o programa consideraria que existe consumo de energia para refrigeração, por isso os resultados demonstram consumo de energia para refrigeração nos meses de inverno.

Na Figura 9 podemos observar o consumo anual para refrigeração da edificação em kWh, para a mesma configuração de equipamentos de condicionamento de ar, iluminação, pessoas e atividades, apenas variando os dados climáticos utilizados. O aumento de consumo de energia anual total na edificação analisada com o arquivo climático UWG é 11,59% maior do que o consumo na edificação analisada com o arquivo climático SWERA.

Figura 9. Comparativo do consumo de energia anual de carga para refrigeração a partir da simulação com os arquivos climáticos SWERA e UWG



Fonte: Candido (2020).

Os resultados mostram que o entorno urbano tem influência significativa na carga térmica das edificações. Para a edificação analisada com condicionamento artificial de ar, os resultados mostraram que o consumo anual de energia da edificação aumentou em quase 12%. Quando analisado o consumo de energia para refrigeração mês a mês a variação chegou a 23,37% para agosto. Os resultados encontrados estão em acordo com o que tem sido verificado em outros estudos, como em Salvati et al (2020), Lima, Scalco e Lamberts (2019) e Machado (2019), que também verificaram aumento na carga de refrigeração da edificação e aumento da temperatura interna, devido ao contexto urbano.

É importante salientar que a relação entre o meio urbano e o consumo de energia de edificações deve ser avaliado caso a caso, pois em regiões de clima quente é preferível porções urbanas mais sombreadas, que acabam por ter uma incidência menor de radiação solar direta enquanto em regiões predominantemente frias a incidência de radiação solar direta pode ser positiva, e diminuir os consumos para aquecimento (Lima; Scalco; Lamberts, 2019; Salvati et al., 2020).

Para Curitiba os resultados indicam que o consumo de energia da edificação é maior para a situação em que se considerou a influência do entorno urbano.

1.4 Conclusão

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar as diferenças no desempenho térmico e no consumo de energia para refrigeração de uma edificação pública, com base em dois arquivos climáticos. O primeiro conjunto de dados foram simulados com os dados climáticos provenientes da estação meteorológica do aeroporto Afonso Pena (SWERA 838400) e o segundo com os dados climáticos gerado pelo algoritmo UWG, considerando o entorno urbano no qual a edificação analisada faz parte.

Os resultados demonstraram que houve alterações no desempenho térmico e no consumo de energia para refrigeração da edificação. Os dados climáticos gerados pelo UWG resultaram em temperaturas mais altas, principalmente nos meses do inverno. Sendo possível verificar a influência do entorno urbano no aumento da temperatura do ar externo e conseqüentemente da temperatura interna das edificações. Os valores simulados para condicionamento artificial do ar com os dados do UWG resultaram em um consumo anual 12% maior se comparados com os dados SWERA.

Indica-se que novos estudos sejam realizados avaliando a carga de aquecimento, pois as maiores diferenças ocorreram nos meses mais frios.

Agradecimentos

Agradecemos a SUINFRA da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo fornecimento dos projetos arquitetônicos e complementares da edificação estudada, a empresa Graphisoft Brasil pelo fornecimento da licença temporária do *ArchiCAD 23* e do *plug-in EcoDesigner STAR* e ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) pelo fornecimento dos dados temperatura do ar.

Referências

ALAM, Jack; HAM, Jeremy J. Towards a BIM-based energy rating system. 2014. International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture; 19, 2014, *Proceedings*, CAADRIA, Hong Kong, pp. 285-294.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR15220 – parte 2- Desempenho térmico de edificações*. ABNT: Rio de Janeiro, 2005

BUENO, Bruno *An Urban Weather Generator Coupling a Building Simulation Program with an Urban Canopy Model*. 2010. 152f. Dissertação (Master of Science in Building Technology), Massachusetts Institute of Technology, 2010.

CANDIDO, Cristiane R.; ROSSI, Francine A. ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA PARA CURITIBA: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE DUAS ESTAÇÕES. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 15, 2019, *Anais*. João Pessoa. Anais João Pessoa: 2019, p. 1021-1030.

CANDIDO, Cristiane R. *Análise da influência do entorno urbano no desempenho térmico e energético de edificação em Curitiba*. 2020. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, 2020.

GRAPHISOFT. EcoDesigner STAR user manual. 2014

LAUZET, Nicolas; MORRILE, Benjamin; LEDUC, Thomas; MUSY, Marjorie. What is the required level of details to represent the impact of the built environment on energy demand? *Procedia Environmental Sciences*. v. 38, p 611-618, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.140>

LIMA, Izabella; SCALCO, Veridiana; LAMBERTS, Roberto. Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate. *Energy & Buildings*, v. 182, n.1, p. 30-44, 2019. ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.019>

MACHADO, Rayner M. S. *Modelagem do impacto da ilha de calor sobre o desempenho energético de escritórios condicionados artificialmente*. 2019. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

MORILLE, Benjamin; MUSY, Marjorie; MALYS, Laurent. Preliminary study of the impact of urban greenery types on energy consumption of building at a district scale: Academic study on a canyon street in Nantes (France) weather conditions. *Energy and Buildings*, v. 114, p 275-282, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.030>

OKE, Tim R. *Boundary Climate Layers*. 2º ed, Taylor & Francis e-Library: 1987.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

SALVATI, Agnese; ROURA, Helena C.; CECERE, Carlo. Urban heat island prediction in the mediterranean context: an evaluation of the urban weather generator model. *ACE: Architecture, City and Environment*, v. 11, n. 32, p. 135-156, 2016. ISSN: 1886-4805. <https://doi.org/10.5821/ace.11.32.4836>

SALVATI, Agnese; PALME, Massimo; CHIESA, Giacomo; KOLOKOTRONI, Maria. Built form, urban climate and building energy modelling: case-studies in Rome and Antofagasta. *Journal of Building Performance Simulation*, v. 13, n. Issue 2: Microclimatic Boundary Conditions in Building Simulation Models, p. 1-17, Janeiro 2020. ISSN 1940-1507. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1707876>

TAHMASEBI, Mohammad M.; BANIHASHEMI, Saeed; HASSANABADI, Mahmoud S. Assessment of the variation impacts of window on energy consumption and carbon footprint. *Procedia Engineering*, v. 21, p. 820-828, 2011. ISSN 1877-7058. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2083>

XU, Xin; AZARIJAFARI, Hessam; GREGORY, Jeremy; NORFORD, Leslie; KIRCHAIN, Randolph. An integrated model for quantifying the impacts of pavement albedo and urban morphology on building energy demand. *Energy & Buildings*, v. 211, n.1, p. 1-10, janeiro 2020. ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109759>

YANG, Xiaoshan.; LIHUA, Zhao; BRUSE, Michael; MENG, Qinglin. An Integrated Simulation Method for Building Energy Performance Assessment in Urban Environments. *Energy and Buildings*, v. 54, p. 243-251, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.042>