

Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética

Open-plan offices: the impact of different facade solutions on energy efficiency

Rosilene Regolão Brugnera
Ricardo Mateus
João Adriano Rossignolo
Karin Maria Soares Chvatal

Resumo

No Brasil, os edifícios de escritórios de planta livre têm se destacado pela utilização de fachadas totalmente envidraçadas, aspecto que pode impactar diretamente o consumo de energia do ar condicionado. O objetivo deste estudo é classificar e caracterizar o desempenho energético de edifícios de escritório de planta livre em três climas brasileiros. Simulações computacionais foram realizadas no programa EnergyPlus, a fim de verificar o impacto de vários parâmetros (clima, tipo de fachada, PAF, tipo de vidro, dispositivo de sombreamento e temperatura de *setpoint*) no consumo de energia do ar condicionado. Os resultados, classificados em faixas de desempenho energético, mostraram que alterar de uma fachada tradicional (alvenaria) para uma fachada cortina (totalmente envidraçada) elevou o consumo de energia do ar condicionado em média 25% para Curitiba e São Paulo e 15% para Manaus; que o PAF foi o parâmetro que mais impactou esse consumo, e o tipo de vidro teve mais impacto nas maiores aberturas; que utilizar um dispositivo de sombreamento sempre gerou economia e a elevação em 1 °C do *setpoint* de resfriamento reduziu o consumo, em média, até 16,4%. Tais resultados geraram as melhores combinações desses parâmetros para cada clima, podendo servir de suporte aos projetistas, no sentido de se criar edifícios energeticamente mais eficientes.

Palavras-chave: Eficiência energética. Soluções de fachada. Escritórios de planta livre. Simulação computacional.

Abstract

In Brazil, open-plan office buildings are increasingly using fully glazed facades, an aspect that can directly impact air-conditioning consumption. This study aims at classifying and characterising the energy performance of open-plan office buildings in three Brazilian climates. Computational simulations were performed in the EnergyPlus program to verify the impact of various parameters (climate, type of facade, WWR, type of glass, shading device and setpoint temperature) on air-conditioning consumption. The results, classified in energy performance levels, showed that changing from traditional facades (masonry) to curtain facades (fully glazed), increased energy consumption with air-conditioning by an average of 25% in Curitiba and São Paulo and 15% in Manaus; the WWR was the parameter that most impacted this consumption, and the glass type had most impact in the larger openings; using a shading device always generated savings and a 1°C increase in the cooling setpoint reduced consumption by an average of 16.4%. The results allowed to identify the best combinations of these parameters for each climate which can help designers to create more energy efficient buildings.

Keywords: Energy efficiency. Facade solutions. Open-plan offices. Computer simulation.

¹Rosilene Regolão Brugnera

¹Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

²Ricardo Mateus

²Universidade do Minho
Guimarães - Portugal

³João Adriano Rossignolo

³Universidade de São Paulo
Pirassununga - SP - Brasil

⁴Karin Maria Soares Chvatal

⁴Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 08/11/18

Aceito em 30/01/19

Introdução

O setor da construção civil consome mais de um terço do total de energia primária no mundo e emite similares quantidades de CO₂ (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016; YOSHINO; HONG; NORD, 2017). O investimento em políticas que promovam a eficiência energética pode ser considerado a chave para o desenvolvimento sustentável e a mitigação das alterações climáticas (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; VELÁZQUEZ, 2013). Assim, as decisões iniciais de projeto estão diretamente relacionadas ao consumo energético da edificação, e 22% desse consumo está atrelado à qualidade do envelope e 6% à geometria (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009). A fachada, considerada o maior componente construtivo, exerce significativa influência no consumo de energia das edificações (AZARI, 2014). Desse modo, é fundamental se pensar em soluções de projeto e estratégias aplicadas a esse elemento a fim de melhorar o desempenho ambiental e energético da edificação (MARCONDES; ALUCCI; GONÇALVES, 2012).

No Brasil, cerca de 48,5% do consumo de energia elétrica advém do setor de edificações (CONSELHO..., 2014). De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2018 (ano-base 2017), os edifícios comerciais representam 14,4% do consumo total de energia elétrica (EMPRESA..., 2018). Esse tipo de edificação reflete o crescimento econômico do país e essa tipologia está concentrada em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. Nessas cidades houve uma crescente demanda por edifícios de “alto padrão”, denominados “triple A”, ou classe “AAA”, classificados a partir do padrão construtivo e sistemas prediais da edificação (VERONEZI; LIMA JUNIOR; ALENCAR, 2005). Esses edifícios seguem padrões arquitetônicos vinculados ao Estilo Internacional¹, com fachadas

totalmente envidraçadas, escritórios de planta livre, leiautes flexíveis e sistemas de iluminação artificial e ar condicionado para manter as condições ambientais internas constantes (DALZIEL, 2003). Conseqüentemente, cerca de 50% do consumo energético nesses edifícios advém do sistema de ar condicionado (CONSELHO..., 2014).

Huang e Niu (2015), em um panorama sobre a otimização do envelope construtivo baseado em simulações, apontam que cerca de 80% dos estudos estão relacionados à redução do consumo energético da edificação. E os principais parâmetros de análise são:

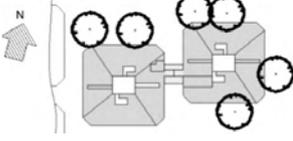
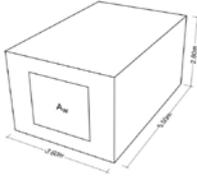
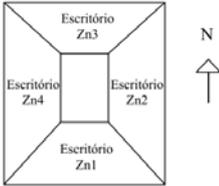
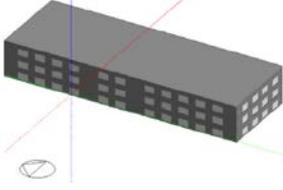
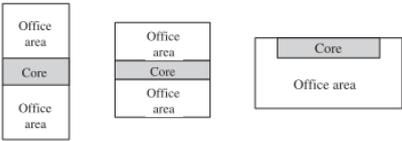
- (a) transmitância térmica (valor de U);
- (b) absortância;
- (c) percentual de abertura na fachada (PAF);
- (d) tipo de vidro;
- (e) espessura do material de isolamento;
- (f) formato do envelope construtivo; e
- (g) presença e/ou dimensão de dispositivos de proteção solar.

A literatura (internacional e nacional) apresenta diversos estudos, a partir de simulação computacional, que demonstram como tais parâmetros da fachada influenciam o consumo de energia dos edifícios comerciais. No Quadro 1 destacam-se os estudos mais relevantes, dos quais se apresentam a geometria, os aspectos avaliados, os parâmetros variados e as principais recomendações. Um ponto importante a se destacar é o fato de se ter estudos de vários climas do mundo e do Brasil, com geometrias variadas, pois não se encontrou uma gama de estudos específicos para edifícios de planta livre, sobretudo no Brasil.

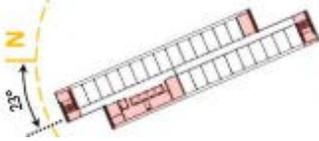
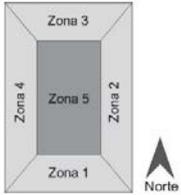
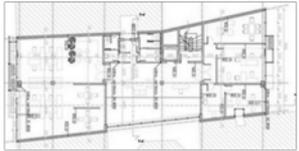
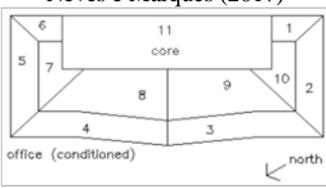
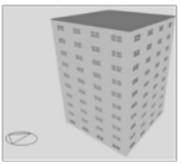
¹O Estilo Internacional é proveniente da arquitetura moderna, que surgiu nas décadas de 1920 e 1930. Tal estilo tinha como

referência visual uma arquitetura simples, sem adornos, com formas retilíneas, construídas em aço, concreto armado e vidro.

Quadro 1 - Panorama dos trabalhos sobre avaliação de desempenho energético apresentados na literatura (Continua...)

Referência/geometria	Parâmetros analisados	Principais conclusões/recomendações
<p>Carvalho, La Rovere e Gonçalves (2010)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo energético (total/ar condicionado) Variações: vidros: simples e duplo; inserção de brises; alteração material da fachada (substituição da pele de vidro por alvenaria); Clima: Rio de Janeiro (Brasil) 	<ul style="list-style-type: none"> Protetores solares (em todas as fachadas): redução de 6% do AC (4% do total de energia); Uso do vidro incolor: aumento de até 19% do AC (12% do total de energia); Melhores soluções: vidros eficientes (duplo), paredes externas com cores claras, materiais com baixa transmitância térmica.
<p>Tsikaloudaki <i>et al.</i> (2012)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo energético (ar condicionado) Variações: PAF; valor U das janelas; orientação solar; dispositivos de sombreamento móveis; climas: Atenas (Grécia), Lárnaca (Chipre), Lisboa (Portugal), Málaga (Espanha) e Roma (Itália) 	<ul style="list-style-type: none"> Desempenho das janelas em climas quentes depende de suas propriedades termofísicas; Janela com vidro claro, melhor utilizar valor de U moderado (entre 2,00 e 3,20W/ (m². K)); Presença de sombreamento – redução da carga para resfriamento de 7% em média.
<p>Besen e Westphal (2012)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Desempenho energético Conforto térmico Variações: PAF; tipo de vidro; climas: São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Curitiba (Brasil) 	<ul style="list-style-type: none"> Desempenho energético: quanto maior o PAF e o fator solar do vidro, maior o consumo de energia final; Vidro incolor – grande consumo de energia; Em climas amenos não há grande diferença entre o vidro laminado e o duplo; Em climas quentes, o vidro duplo promove economia de energia maior.
<p>Boyano, Hernandez e Wolf (2013)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Desempenho energético (redução da demanda de energia final para aquecimento, resfriamento e iluminação) Variações: PAF; tipo de vidro; controle de iluminação artificial (dimerizável); valor de U (paredes externas e janelas); orientação solar; climas: Tallinn (frio), Londres (intermediário) e Madri (quente). 	<ul style="list-style-type: none"> Nas melhores combinações de parâmetros (controle da iluminação, vidros triplos, aumento do isolamento das paredes externas e orientação solar), foram obtidas economias na ordem de até 36% (com o controle total de iluminação), 16% (substituição do vidro duplo pelo triplo), 8% (pelo aumento do isolamento das paredes externas) e até 14% (pela mudança na orientação de leste/oeste para norte/sul).
<p>Ihara, Gustavsen e Jelle (2015)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Desempenho energético (redução da demanda de energia para aquecimento e resfriamento) Variações: formato da edificação; n° de andares; PAF; índice SHGC das janelas; refletância solar; valor de U (paredes externas e da janela); clima: Tóquio (Japão). 	<ul style="list-style-type: none"> Formas de reduzir a demanda de energia: 1°) redução do valor de SHGC; 2°) redução do valor de U da janela; 3°) aumento da refletância solar; Observou-se que a redução do valor U das partes opacas da fachada aumentou a demanda de energia nos edifícios altos, enquanto nos edifícios baixos ocorreu o contrário – destaque para a utilização adequada do valor U para o modelo de edificação.

Quadro 1 - Panorama dos trabalhos sobre avaliação de desempenho energético apresentados na literatura (continuação)

Referência/geometria	Parâmetros analisados	Principais conclusões/ recomendações
<p>Raji, Tenpierik e Van Den Dobbelaere (2015)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho energético (redução da demanda de energia final para aquecimento, resfriamento e iluminação); • Variações: tipo de vidro; PAF; dispositivos de sombreamento; tipo de cobertura; clima: Delft (Holanda). 	<ul style="list-style-type: none"> • Formas de reduzir a demanda de energia: 1) Fachadas duplas com uso do vidro duplo incolor; 2) Envelope construtivo de alto desempenho (baixo valor de U) – a economia é maior quando se tem PAF=50%; 3) Climas frios – sombreamentos ajustáveis; 4) Fachadas duplas – persianas localizadas para fora do vidro duplo; 5) Telhado verde de 10 cm sobre cobertura não isolada; 6) Neste estudo, a integração das melhores soluções de projeto gerou uma economia de energia total, para aquecimento e iluminação de 42%, 64% e 34%, respectivamente.
<p>Westphal e Andreis (2016)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho energético (consumo de energia com ar condicionado); • Variações: tipos de fachada; PAF; tipo de vidro; climas: Curitiba, São Paulo, Porto Alegre, Brasília, Rio de Janeiro, Salvador e Recife (Brasil). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fachada de pele de vidro consome mais energia que a fachada de alvenaria tradicional; • Vidros de controle solar são os que promovem melhor desempenho energético em climas mais amenos; • Vidros duplos promovem melhor desempenho em climas mais quentes; • A adoção de vidros de controle solar permite um desempenho melhor em PAF maiores.
<p>Krstić-Furundžić e Kosić (2016)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho energético (influência de parâmetros do envelope construtivo); • Variações: tipos de vidro; tipos de fachada; dispositivos de sombreamento; clima: Belgrado (Sérvia). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fachada envidraçada fornece mais que o dobro dos ganhos solares, em relação à fachada tradicional; • Menor demanda de energia para resfriamento: 1) Fachada tradicional; 2) Fachada com vidro triplo e proteção solar; e 3) Fachada com vidro duplo e persianas.
<p>Neves e Marques (2017)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho energético (influência de parâmetros do envelope construtivo); • Conforto térmico; • Variações: transmitância térmica (U) das paredes externas; dispositivos de sombreamento; PAF; SHGC das janelas; Clima: São Paulo (SP). 	<ul style="list-style-type: none"> • Os dispositivos de sombreamento tiveram efeito positivo na redução da demanda por resfriamento; • As fachadas com pouco isolamento funcionaram melhor para o clima de São Paulo; • Valores desejáveis de PAF e SHGC, sob a perspectiva de minimizar a demanda de energia para refrigeração, indica-se até 40% e até 32%, respectivamente.
<p>Friess, Rakhshan e Davis (2017)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho energético (demanda de energia para resfriamento e aquecimento em função das propriedades do envelope construtivo). • Variações: PAF; espessura do material de isolamento; <i>setpoint</i> do ar condicionado; Climas: Dubai (Emirados Árabes Unidos), Málaga (Espanha) e El Dorado — Arkansas (USA). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ao usar um <i>setpoint</i> mais alto (27°C), é necessário que a edificação tenha menos isolamento, para que permita mais facilmente as trocas de calor com o ambiente exterior; • Quando o clima é predominantemente quente, para todos os <i>setpoints</i> e PAF, adicionar isolamento térmico da fachada não é tão eficaz, pois faz o consumo de energia aumentar.

Tais estudos apresentam, de maneira geral, a importância de se conhecer a influência dos parâmetros da fachada no consumo energético dos edifícios comerciais. A partir disso, buscou-se nos estudos brasileiros os aspectos específicos mais relevantes a serem considerados para essa pesquisa, dos quais se destacam:

- (a) a densidade de carga interna (pessoas, equipamentos e iluminação) geralmente são dados fixos da simulação (CARVALHO; LA ROVERE; GONÇALVES, 2010; PASQUALI *et al.*, 2011; VENÂNCIO; PEDRINI, 2009; WESTPHAL; ANDREIS, 2016), embora quanto maior a densidade, maior será o consumo de energia (sobretudo se estiver associada a um elevado isolamento térmico) (RUZICKI *et al.*, 2016);
- (b) os dados da envolvente opaca (valor de U e absorvância) possuem maior impacto nas fachadas com percentual de abertura na fachada (PAF) menores (MELO; LAMBERTS, 2008; NEVES; MARQUES, 2017), e fachadas com maior isolamento quase sempre geram sobreaquecimento (MELO *et al.*, 2015; NEVES; MARQUES, 2017; WESTPHAL; ANDREIS, 2016);
- (c) a orientação solar e o formato da edificação, especialmente em termos de exposição das áreas envidraçadas, têm grande influência no consumo de energia das edificações. O formato está diretamente relacionado aos parâmetros do envelope construtivo, que podem aumentar os ganhos de calor por radiação solar (MELO; LAMBERTS, 2008; VENÂNCIO; PEDRINI, 2009);
- (d) o PAF é um dos parâmetros que mais impacta os ganhos de calor nas edificações e, portanto, influencia no seu consumo de energia (MELO; LAMBERTS, 2008; NEVES; MARQUES, 2017; VENÂNCIO; PEDRINI, 2009; WESTPHAL; ANDREIS, 2016);
- (e) a utilização de um dispositivo de proteção solar causou redução de 5,8% no consumo de energia total para um edifício institucional na cidade de Natal (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009); redução de 6,35% no consumo de energia com ar condicionado para uma edificação comercial localizada no Rio de Janeiro (CARVALHO; LA ROVERE; GONÇALVES, 2010) e redução de 9% a 12,5% para uma edificação comercial localizada em São Paulo (NEVES; MARQUES, 2017); e
- (f) a alteração dos parâmetros construtivos da fachada (PAF, tipo de vidro) em edifícios localizados em climas quentes, como o de São Luís (MELO; LAMBERTS, 2008), Rio de Janeiro e Salvador (CARVALHO; LA ROVERE; GONÇALVES, 2010; WESTPHAL; ANDREIS,

2016), não causaria um grande aumento do consumo de energia com ar condicionado, pois ele já é elevado.

Conforme supracitado, os estudos apresentados (sobretudo brasileiros) não apresentam uma análise de desempenho energético específica para edifícios de escritórios de planta livre. Usar um envelope construtivo inadequado pode causar aumento no consumo de energia, principalmente devido aos ganhos de calor advindos da radiação solar (MIRRAHIMI *et al.*, 2016).

Identificada essa lacuna, o objetivo deste trabalho é classificar e caracterizar o desempenho energético de edifícios de escritórios de planta livre em diferentes climas brasileiros, considerando o impacto da alteração dos parâmetros relacionados à fachada nesse consumo, tais como:

- (a) tipo de fachada (definido pela sua composição construtiva);
- (b) percentual de abertura na fachada (PAF);
- (c) tipo de vidro;
- (d) presença ou não de dispositivo de sombreamento; e
- (e) *setpoint* do ar condicionado.

Os resultados deste estudo poderão dar suporte a decisões de projeto, no sentido de se desenvolver edifícios energeticamente mais eficientes.

Método

Para se obter o desempenho energético de edifícios de planta livre, efetuaram-se simulações computacionais paramétricas no programa EnergyPlus, versão 8.1 (DEPARTMENT..., 2013).

O método dessa pesquisa está dividido em cinco etapas, sendo:

- (a) seleção dos climas;
- (b) coleta de dados;
- (c) definição do edifício de estudo e de suas características construtivas;
- (d) definição das características de uso e do sistema de ar condicionado; e
- (e) definição da metodologia utilizada na análise dos resultados.

Seleção dos climas

De acordo com a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), o Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas e, dentre essas zonas, foram selecionados três climas, a saber:

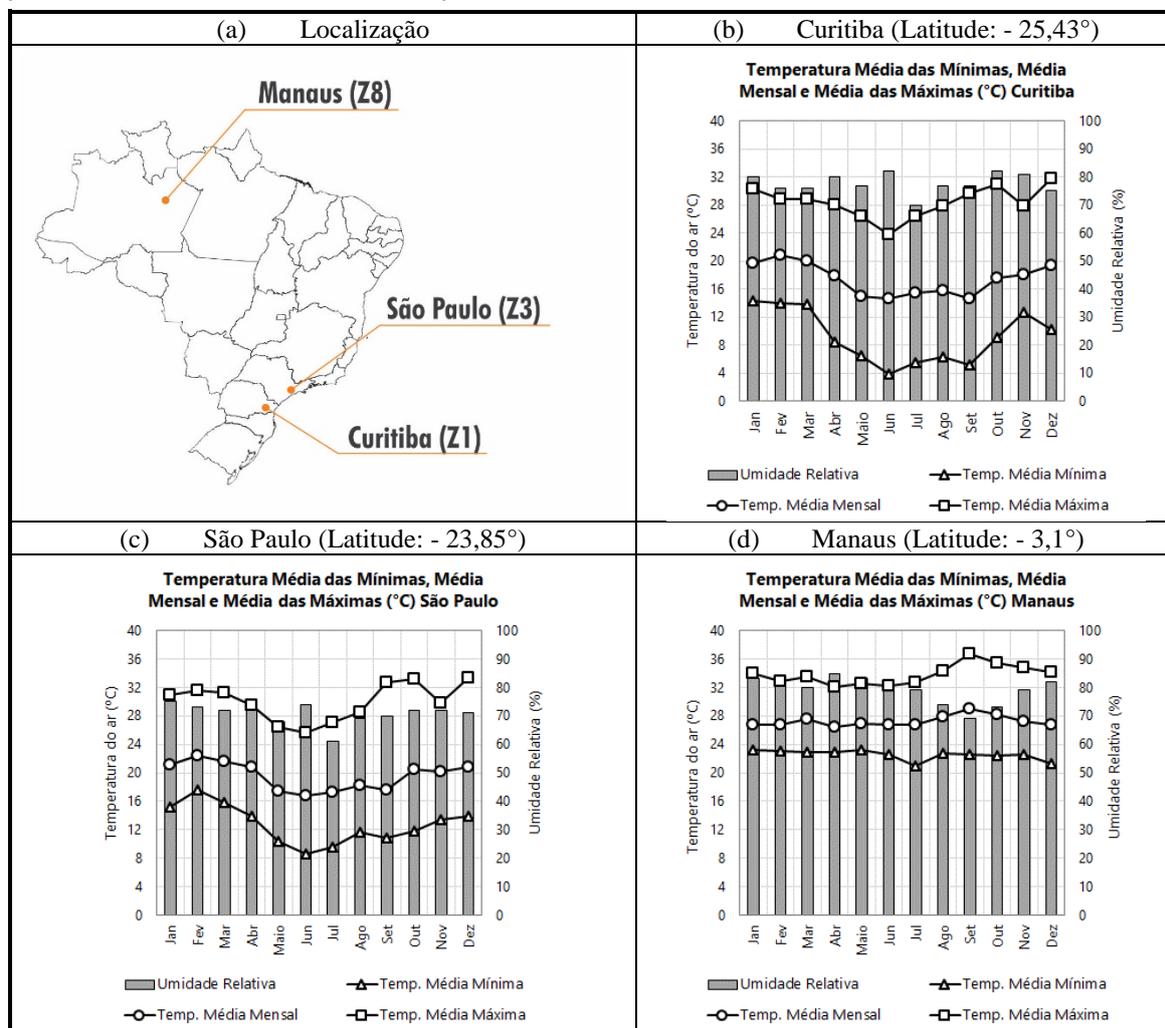
- (a) Zona bioclimática mais fria (Curitiba/PR – zona 1) — Região Sul;
- (b) Zona bioclimática intermediária (São Paulo/SP – zona 3) — Região Sudeste; e
- (c) Zona bioclimática mais quente (Manaus/AM – zona 8) — Região Norte.

O Quadro 2 apresenta (a) a localização das cidades no Brasil, a temperatura do ar e a umidade relativa anual para (b) Curitiba, (c) São Paulo e (d) Manaus.

Na classificação de Köppen-Geiger (KÖPPEN, 1936), o clima de Curitiba é considerado Cfb (clima temperado, com verão ameno), enquanto São Paulo é Cwa (clima subtropical/tropical de altitude, com

verão quente e inverno seco) e Manaus é Af (clima tropical chuvoso de floresta) (ALVARES *et al.*, 2013; AYOADE, 1996; ROLIM *et al.*, 2007). E tais características podem ser observadas na Tabela 2. O clima de Manaus possui uma amplitude térmica menor e altas temperaturas, com temperaturas médias das mínimas e máximas variando de 20,9 °C a 36,7 °C ao longo do ano, se comparado a Curitiba, cujas mesmas temperaturas variam de 3,8 °C a 31,7 °C, e São Paulo, que variam de 8,6 °C a 33,4 °C. Para as simulações foram utilizados arquivos climáticos (INMET, no formato epw) desenvolvidos por Roriz (2012) e Labee (LABORATÓRIO..., 2015).

Quadro 2 - Descrição dos dados climáticos: (a) localização; (b) (c) e (d) temperatura e umidade relativa para Curitiba, São Paulo e Manaus, respectivamente



Coleta de dados

A etapa de coleta de dados teve como foco principal a busca por edificações comerciais do tipo escritório de planta livre, característica recorrente na atualidade dessa tipologia arquitetônica no mercado da construção civil brasileiro. A coleta foi realizada em três fontes: literatura (a partir de estudos brasileiros que avaliaram o desempenho energético de edifícios de escritórios), entrevistas com especialistas (consultoria de eficiência energética de edifícios de escritórios de alto padrão em São Paulo) e busca na base de dados da empresa Buildings (BUILDINGS, 2016) (focada em regiões de maior concentração desse tipo de edifício em São Paulo, tais como as avenidas Berrini, Paulista e na região do bairro de Pinheiros, de onde se obteve

uma amostra de 142 edificações). Os resultados dessa coleta de dados são apresentados na Tabela 3.

A partir da Tabela 1 foram identificadas algumas características recorrentes, tais como:

- (a) área condicionada em torno de 1.000 m²;
- (b) pé-direito livre em torno de 2,70 m;
- (c) PAF entre 50% e 80%;
- (d) fachada pele de vidro;
- (e) ar condicionado do tipo *variable refrigerant flow* (VRF), f) piso elevado; e
- (f) forro de gesso.

Tais características embasaram a criação de um modelo hipotético mais próximo da realidade.

Tabela 1 - Características obtidas na etapa de coleta de dados

Características da edificação	Referências (valores médios)		
	Literatura	Entrevistas	Banco de dados buildings
Formato do pavimento tipo	Quadrado (30 m x 30 m; 35 m x 35 m); Retangular (26 m x 15 m; 40 m x 60 m). Ambos com núcleo (core) ¹	Variável	Variável
Área do pavimento tipo (m²)	950 m ² (variou de 900 m ² a 2.500 m ²)	Área condicionada entre 3.000 m ² e 50.000 m ² (edifício como um todo)	924 m ²
Pé-direito (m)	2,90 m	2,50 m a 3 m (útil); 3,70 m a 4,20 m (total – galerias técnicas entre 0,80 m e 1,00 m)	2,80m
Nº de andares	10	Dado não informado	17
PAF (%) ²	30 - 100	50 – 80	Dado não informado
Tipo de fachada	Combinação alvenaria (ou drywall) + vidro; pele de vidro	Pele de vidro	Variável
Tipo de vidro	Incolor, refletivo, duplo	Vidro com baixo fator solar	Dado não informado
Cargas internas	Iluminação: 12 W/m ² Pessoas: 8m ² /pessoa; 117 W Equipamentos: 16,2 W/m ²	Dado não informado	Dado não informado
Ar condicionado	Tipo: split; central; Temperatura de controle: 25 °C (resfr.); 18 °C (aquec.)	Tipo: VRF (sistema unitário); temperatura de controle de 20 °C a 24 °C	Tipo: central
Tipo de piso	Piso elevado com carpete	Dado não informado	Piso elevado com estrutura metálica
Tipo de forro	Forro de gesso	Dado não informado	Forro modular
Nº de zonas térmicas	5 (4 + core)	Não se aplica	Não se aplica

Nota: ¹Core - zona localizada no centro da edificação, um núcleo, geralmente utilizado em edifício de escritórios, onde se localizam as caixas de escada, elevadores, banheiros e copa; e ²PAF - Percentual de abertura na fachada.

Definição do edifício de estudo e de suas características construtivas

A partir das características apresentadas no Quadro 2, um edifício virtual foi criado. O pavimento tipo desse edifício é apresentado na Figura 1. Ele possui geometria retangular, área total de 800 m² (20 m x 40 m), núcleo (core) de 300 m² (10 m x 30 m) e pé-direito de 2,70 m (3,75 m no total – somando-se a área do forro e do piso elevado). O núcleo é uma área destinada a serviços, elevadores, copa, banheiros e escada e não é climatizado. A distância entre a fachada e o core é de 5 m – região de influência da radiação sobre o ambiente interno para definição de uma zona térmica (AMERICAN..., 2013). Apenas a área pertencente aos escritórios é condicionada termicamente e todo o perímetro da fachada é revestida – ao menos parcialmente –, por envidraçados. Além disso, o edifício possui as maiores fachadas orientadas a norte e sul. Tal escolha se deu em função de se optar pela situação que gerasse menores ganhos solares para o volume como um todo.

Para a avaliação do consumo energético da edificação, foi simulado apenas um pavimento, situado em um andar intermediário. Esse andar simulado (com piso e teto adiabáticos) funciona como um módulo do edifício, que representa o comportamento térmico dos demais pavimentos intermediários. Esse modelo (Figura 1) foi dividido em cinco zonas térmicas (quatro para os escritórios e uma para o core), conforme procedimento indicado pela norma ASHRAE 90.1 (AMERICAN..., 2013). A divisão entre as áreas dos escritórios foi realizada por paredes virtuais (superfícies fictícias de espaços de ar), configuradas utilizando-se apenas a resistência do ar.

O PAF representa o percentual de área envidraçada na fachada. Ele considera a área útil da fachada, disponível para a colocação de janelas (sendo o pé-direito interno do ambiente de 2,70 m). Assim, considerando o mesmo PAF para fachadas diferentes, foram definidos para este estudo três valores (30%, 55% e 80%) que representam janelas pequenas (30%), menos comuns, médias e grandes (55% e 80%).

Foram selecionados dois tipos de fachada, denominados fachada tradicional (FT) e fachada cortina (FC). A fachada tradicional (FT) tem a parte opaca composta por parede de alvenaria e a área envidraçada por esquadrias entre vãos. A outra opção, fachada cortina (FC), é revestida inteiramente por vidro. No atual mercado da construção de edifícios de escritórios, as fachadas cortina têm substituído as tradicionais, de acordo com o levantamento de campo presente no Quadro 2.

Para a área transparente da fachada, foram selecionados quatro tipos de vidro, com características diferentes, sendo eles:

- (a) incolor;
- (b) low-e;
- (c) refletivo claro; e
- (d) duplo com baixo fator solar.

Na fachada cortina, a parte opaca da estrutura interna (peitoril em alvenaria e viga de concreto) é revestida por um vidro com película PVB (polivinil butiral) branca, que o deixa com aspecto translúcido. As principais propriedades térmicas desses vidros são apresentadas na Tabela 2.

Figura 1 - Pavimento tipo do edifício

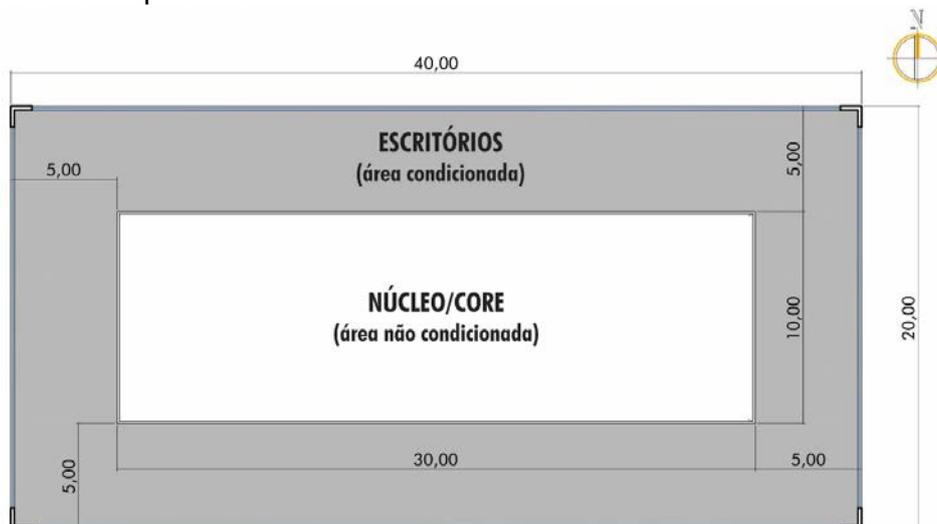


Tabela 2 - Propriedades termofísicas dos vidros utilizados no modelo

	Incolor (In)	Low-e (Lw)	Refletivo (Rf)	Duplo (Dp)	Translúcido
Espessura (mm)	6	6	8	24	8
Transmitância à radiação solar no espectro visível (incidência normal) (%)	0,88	0,32	0,72	0,39	0,65
Transmitância térmica (W/m ²)	5,70	5,79	5,67	2,79	5,50
Fator solar (%)	82	54	44	28	62

Fonte: Cebrace (2016), CB3E & Abividro (2015), Guardian (2010) e Glassec-Viracon (2016).

Foi utilizado um dispositivo de sombreamento horizontal (1,26 m de largura) que abrangeu igualmente toda a extensão das fachadas. Esse dispositivo foi modelado no EnergyPlus e sua dimensão foi selecionada por corresponder à máscara de sombra do maior PAF (80%), garantindo que, para os demais PAFs, também haja o sombreamento efetivo (total) no período indicado. A intenção aqui era avaliar apenas o impacto de se ter ou não os ganhos de calor reduzidos devido a uma proteção solar. Assim, foi calculado um dispositivo de sombreamento único cuja máscara de sombra atingisse esse objetivo: a redução dos ganhos solares, em todos as combinações de PAF, orientação e latitude.

O piso é elevado com carpete, o forro é de gesso, com um espaço de ar entre a laje e o forro (espaço para instalações), as paredes internas pertencentes ao núcleo central são de *drywall* e as paredes externas são de alvenaria de bloco de concreto (para a fachada tradicional e para a fachada cortina essa parte se constitui como o peitoril). A Tabela 3 apresenta os detalhes construtivos referentes às fachadas e aos materiais.

Definição das características de uso e do sistema de ar condicionado

A densidade de carga térmica abrange os ganhos de calor advindos das pessoas, equipamentos e iluminação artificial. O modelo de edificação possui uma área climatizada, referente aos escritórios e uma área não climatizada, pertencente às áreas de serviços, escadas, elevadores, etc. Tais cargas são consideradas apenas para a área dos escritórios, sendo dados fixos da simulação, pois sofrem influência direta do uso da edificação. O padrão horário de ocupação é de segunda à sexta-feira, das 8h às 19h, conforme apresentado no Quadro 3.

O sistema de ar condicionado selecionado para o estudo é do tipo *variable refrigerant flow* (VRF). Esse sistema é do tipo central de expansão direta com múltiplas unidades evaporadoras. A

capacidade foi calculada pelo EnergyPlus, de acordo com a especificação de cada clima, para a obtenção do coeficiente de performance (COP) do sistema, de acordo com as normas RTQ-C (INMETRO, 2013) e ASHRAE 90.1 (AMERICAN..., 2013). A partir do cálculo da capacidade do aparelho, foi selecionado um COP para obtenção da maior classificação energética (nível A) (Quadro 4). O sistema de ar condicionado foi simulado para aquecimento e resfriamento, com temperaturas de *setpoint* de 18 °C e 24 °C, respectivamente, de acordo com os dados utilizados na literatura (BESEN; WESTPHAL, 2012, 2014; CARLO, 2008; DIDONÉ; WAGNER; PEREIRA, 2014; MELO *et al.*, 2015; MELO; LAMBERTS, 2008; SANTANA, 2006; WESTPHAL, 2007; WESTPHAL; LAMBERTS, 2007). Para resfriamento foi testado um *setpoint* de 25 °C, para verificar sua influência no consumo de energia da edificação.

Forma de análise dos resultados

Os resultados das simulações são apresentados da seguinte forma:

(a) considerações sobre os consumos de energia total (Ec) (equipamentos, iluminação e ar condicionado), separados por uso final; e

(b) classificação dos consumos de energia dos 288 cenários avaliados, em cinco níveis de desempenho energético, conforme apresentado na Tabela 4. A partir dos valores de consumo máximos e mínimos referentes a cada clima, os resultados foram divididos em cinco níveis iguais, classificados em uma escala de cores, em que os menores consumos se concentram na faixa verde escura e os maiores, na faixa do vermelho.

A partir de tal classificação, é realizada a apresentação da influência dos parâmetros avaliados neste estudo: clima, PAF, tipo de vidro, presença ou não do dispositivo de sombreamento e a temperatura de controle do ar condicionado) no consumo de energia do ar condicionado.

Resultados e discussão

Consumo de energia por uso final

O consumo de energia total anual do escritório de planta livre é composto da soma dos consumos de iluminação (IL), equipamentos (EQ) e ar condicionado (AC), conforme apresentado na Figura 2, que se refere aos 288 cenários simulados. Os valores de EQ e LG foram sempre os mesmos, pois a densidade de carga de equipamentos e de iluminação foi considerada fixa, conforme descrito em Método. Já os valores de AC foram variáveis,

representando de 17% a 52% do consumo total, dependendo da combinação de parâmetros referente ao cenário em questão (tipo de fachada, vidro, entre outros). Dessa forma, nos resultados das seções seguintes, é apresentado apenas o consumo de energia do ar condicionado.

O consumo de energia do ar condicionado se refere apenas ao seu uso no modo de refrigeração. Devido ao clima das localizações estudadas e à ocupação do edifício ser somente durante o dia, não houve consumo significativo para aquecimento em nenhum dos cenários avaliados.

Tabela 3 - Tipos de fachadas e detalhamento de seu sistema construtivo

Corte esquemático das fachadas tradicional e cortina						
Componentes construtivos	Materiais	Espessura (m)	U (W/m ² .K)*	C. T. (KJ/m ² .K)*	α **	
Piso	Laje de concreto	0,15	1,19	330	-	
	Espaço de ar	0,10				
	Carpete	0,05				
Teto	Laje de concreto	0,15	1,05	341	-	
	Espaço de ar	0,75				
	Forro de gesso	0,015				
Paredes internas (core)	Placa de gesso acartonado	0,015	1,60	22	-	
	Espaço de ar	0,05				
	Placa de gesso acartonado	0,015				
Paredes externas	(FT)	Argamassa reboco	0,025	2,88	221	0,30
		Bloco de concreto	0,14			
		Argamassa gesso	0,005			
	(FC)	Vidro translúcido	0,008	1,90	237	0,16
		Argamassa reboco	0,025	2,88	221	0,30
		Bloco de concreto	0,14			
		Argamassa gesso	0,005			

Nota: *a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C.T.) foram calculadas com base na norma NBR 15220: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2005a); e ** α = Absortância solar.

Quadro 3 - Características das cargas internas

Tipo	Características	Referências
Pessoas	8 m ² /pessoa; 117 W/pessoa	NBR 16401 (ABNT, 2008); ASHRAE Fundamentals (AMERICAN..., 2009)
Equipamentos*	16,2 W/m ² (média/alta)	NBR 16401-1(ABNT, 2008)
Iluminação artificial	Tipo: on-off**;	9,7 W/m ² RTQ-C (INSTITUTO..., 2013)

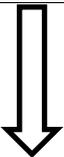
Nota: *a densidade de carga dos equipamentos refere-se à um computador e monitor, além de impressora e fax, para cada posto de trabalho (1 posto de trabalho/pessoa); e **sistema de iluminação on-off, acionado durante o período ocupado sem considerar o aproveitamento da iluminação natural (não é dimerizável, eficiente).

Quadro 4 - Características do sistema de ar condicionado

	Características
Tipo de equipamento	VRF com condensação a ar
Capacidade	≥ 40 kW e < 70 kW
Classificação	Multi-split VRF
COP (nível A): Curitiba e São Paulo	3,11
COP (nível A): Manaus	2,78
Temperatura de controle (resfriamento)	24 °C / 25 °C
Temperatura de controle (aquecimento)	18 °C

Fonte: RTQ-C (INSTITUTO..., 2013) e ASHRAE 90.1 (AMERICAN..., 2013).

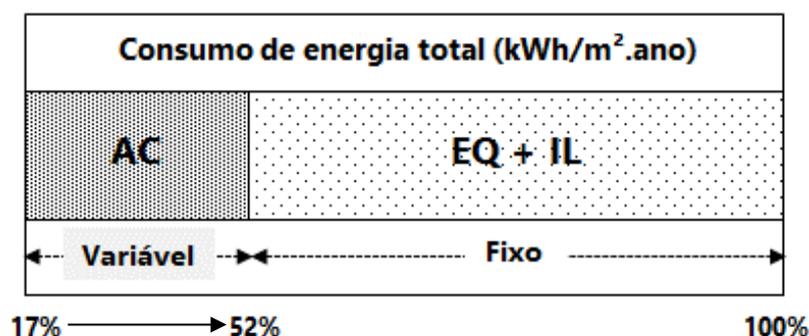
Tabela 4 - Classificação dos resultados em faixas de consumo energético

Faixas de consumo energético	
>	Valor máximo de consumo energético assumido para cada clima
	$Ec \geq \text{Min} + 4 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5$
	$\text{Min} + 3 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5 \leq Ec < \text{Min} + 4 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5$
	$\text{Min} + 2 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5 \leq Ec < \text{Min} + 3 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5$
	$\text{Min} + 1 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5 \leq Ec < \text{Min} + 2 * (\text{Max} - \text{Min}) / 5$
<	Valor mínimo de consumo energético assumido para cada clima

Nota: Legenda:

Ec = Energia consumida;
 Mín = Valor mínimo de consumo energético obtido;
 Máx = Valor máximo de consumo energético obtido; e
 Valores de consumo em kWh/m².ano.

Figura 2 - Composição do consumo de energia total



Classificação em faixas de consumo energético

A Tabela 5 apresenta o consumo de energia anual do ar condicionado para todas as combinações de parâmetros simuladas. Para cada clima, esses consumos foram agrupados nas faixas de consumo energético definidas em Método, e a faixa verde

escura corresponde aos menores valores e a faixa vermelha, aos maiores valores. As seções seguintes utilizam-se dessa tabela para apresentarem a influência dos parâmetros estudados (tipo de fachada, clima, parâmetros relacionados à janela e temperatura de *setpoint*) no consumo de energia do ar condicionado e como se comportam quanto à classificação em cores.

Tabela 5 - Classificação dos resultados em faixas de consumo energético

	Tipo de vidro (dispositivo de sombreamento)	Consumo de energia do ar condicionado (kWh/m ² .ano)									
		Curitiba			São Paulo			Manaus			
		PAF			PAF			PAF			
		30%	55%	80%	30%	55%	80%	30%	55%	80%	
FACHADA TRADICIONAL (FT)	Setpoint AC= 24°C	In (SDS)	16,5	22,5	32,5	19,7	26,7	38,3	56,9	63,0	76,1
		In (CDS)	14,3	15,6	22,6	16,2	18,6	27,7	54,0	60,3	71,8
		Lw (SDS)	15,1	19,1	27,0	18,5	22,8	32,2	52,6	60,8	71,8
		Lw (CDS)	13,4	14,6	19,9	16,2	17,2	24,0	50,0	55,8	69,8
		Rf (SDS)	14,4	17,7	24,5	18,0	21,1	29,3	50,2	59,7	70,2
		Rf (CDS)	12,9	14,0	18,7	16,4	16,9	22,2	47,6	53,4	68,8
		Dp (SDS)	15,8	19,9	28,2	18,5	23,0	33,1	47,7	58,1	68,8
	Dp (CDS)	14,3	15,7	20,1	16,3	17,1	24,1	44,8	51,2	65,8	
	Setpoint AC= 25°C	In (SDS)	13,8	19,2	28,3	17,3	22,9	33,4	51,0	58,6	71,1
		In (CDS)	11,6	13,0	19,4	14,9	15,7	23,4	47,7	55,4	66,8
		Lw (SDS)	12,3	16,2	23,2	16,1	19,7	27,7	46,3	56,2	66,9
		Lw (CDS)	10,6	11,8	16,9	14,8	15,3	19,9	43,5	51,3	64,6
		Rf (SDS)	11,6	15,0	20,9	15,9	18,5	25,0	43,8	54,8	65,2
		Rf (CDS)	10,1	11,2	15,7	14,9	15,2	18,4	41,3	48,4	63,3
Dp (SDS)		13,2	17,4	25,1	16,5	19,9	29,1	41,9	53,0	64,7	
Dp (CDS)	11,4	13,3	18,2	15,2	15,4	20,7	39,2	45,3	61,3		
FACHADA CORTINA (FC)	Setpoint AC= 24°C	In (SDS)	22,4	26,9	36,5	27,2	32,3	42,6	67,3	70,7	81,8
		In (CDS)	17,8	18,8	25,3	21,6	23,2	31,4	61,5	66,5	76,7
		Lw (SDS)	20,8	23,6	30,4	25,3	28,6	36,4	63,3	68,5	77,6
		Lw (CDS)	17,2	17,8	22,2	20,5	21,6	27,7	57,4	61,9	74,7
		Rf (SDS)	20,1	22,2	27,9	24,5	26,8	33,5	61,1	67,3	75,9
		Rf (CDS)	17,0	17,5	21,1	20,1	20,9	26,0	55,3	59,4	73,6
		Dp (SDS)	21,5	24,6	33,0	25,9	29,5	38,3	60,0	66,6	75,8
	Dp (CDS)	17,5	18,0	23,4	20,6	22,0	28,6	54,1	57,7	71,6	
	Setpoint AC= 25°C	In (SDS)	19,5	23,7	31,8	23,5	28,4	37,6	62,2	66,4	76,9
		In (CDS)	15,6	16,3	21,8	18,2	19,5	27,0	56,7	61,4	71,8
		Lw (SDS)	18,1	20,6	26,6	21,8	24,8	31,8	58,6	63,9	72,7
		Lw (CDS)	15,1	15,5	19,3	17,3	18,0	23,5	53,2	57,3	69,6
		Rf (SDS)	17,4	19,2	24,3	21,0	23,1	29,1	56,7	62,4	71,0
		Rf (CDS)	14,8	15,1	18,2	17,0	17,5	21,9	51,1	55,1	68,2
Dp (SDS)		19,1	21,9	29,2	22,7	26,1	34,2	55,5	62,4	71,7	
Dp (CDS)	16,0	16,6	19,9	17,8	18,9	24,8	49,3	53,9	67,1		

Nota: Legenda:

PAF = percentual de abertura na fachada;

FT = fachada tradicional;

FC = fachada cortina;

Vidros: In = incolor; Lw = low-e; Rf = refletivo; e Dp = duplo;

SDS = sem dispositivo de sombreamento; e

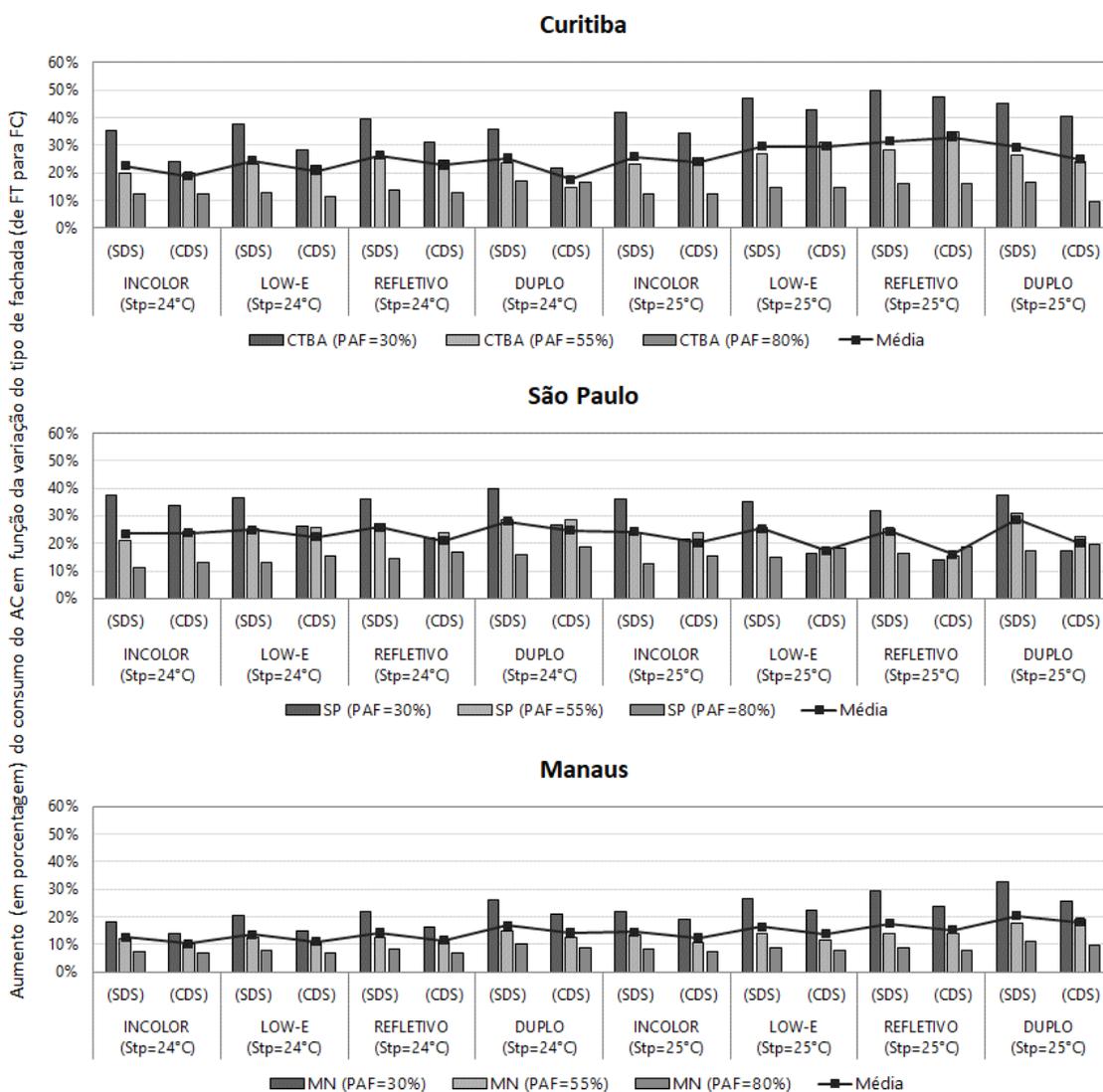
CDS = com dispositivo de sombreamento.

Influência do tipo de fachada

Foram consideradas duas alternativas de fachada: fachada tradicional e fachada cortina. Na Tabela 6 nota-se a diferença entre esses dois tipos de fachada pelas cores das faixas de consumo energético. A fachada tradicional (FT) possui a maioria dos cenários nas faixas verde escura ou clara. Isso demonstra o seu menor consumo energético em relação à fachada cortina (FC), que possui cenários em todas as cores, conforme pode ser mais bem observado na Figura 3. Pode-se notar que sempre

houve aumento do consumo de energia do ar condicionado quando se alterou de uma fachada tradicional para uma fachada cortina. Esse aumento foi, em média, 25% para as cidades de Curitiba e São Paulo e 15% para Manaus. Destaca-se ainda a diferença entre os cenários com distintos PAFs. Conforme maior a área opaca da fachada, ou seja, quanto menor o PAF, maior é o impacto devido a alterações no seu sistema construtivo. Com isso, nas menores aberturas (PAF de 30%), alcança-se aumentos de 50% em Curitiba, 40% em São Paulo e 30% em Manaus.

Figura 3 - Aumento do consumo de energia do ar condicionado em função da alteração do tipo de fachada (de FT para FC) para (a) Curitiba, (b) São Paulo e (c) Manaus



Influência do clima

A partir da Tabela 5, é possível se notar a diferença entre os climas, já que, quanto mais quente o local, maiores foram os consumos de energia. Como as faixas de consumo são calculadas considerando os menores e maiores valores obtidos para cada clima, isso permite notar que Curitiba e São Paulo (por mostrarem valores mais próximos entre si), apresentam mais possibilidades de se ter um desempenho melhor (maior quantidade de cenários nas cores verde escura/clara), diferenciando-se de Manaus, o clima mais quente (com mais cenários nas cores amarela, laranja e vermelha). Os valores máximos de consumo de energia do ar condicionado (em kWh/m². ano), para cada clima, apresentam-se da seguinte forma: Curitiba (FT: 32,5 / FC: 36,5), São Paulo (FT: 38,3 / FC: 42,6) e Manaus (FT: 76,1 / FC: 81,8). O clima de Manaus, quente e úmido, diferencia-se dos demais, por ter amplitudes muito inferiores e temperaturas mais altas ao longo de todo o ano (Quadro 1, em Método).

Influência dos parâmetros relacionados às janelas

Foram considerados nas simulações os seguintes parâmetros, relacionados às janelas localizadas nas quatro fachadas do edifício:

- (a) percentual de abertura na fachada (PAF) (30%, 55% e 80%);
- (b) presença (CDS) ou não (SDS) de dispositivo de sombreamento; e
- (c) tipo de vidro (incolor, low-e, refletivo e duplo).

Quanto ao PAF, nota-se na Tabela 5 que, com o seu aumento, houve sempre elevação no consumo de energia. Isso chegou a causar mudanças na classificação de desempenho energético (alteração das cores) da edificação em várias situações, principalmente para a fachada cortina e/ou o clima predominantemente quente e úmido (Manaus), que a alteração do PAF mudou as cores dos cenários, que passaram às classificações de cores amarela, laranja e vermelha, demonstrando assim os maiores consumos de energia.

Na fachada tradicional, ao se alterar o PAF de 30% para 55%, o consumo de energia do ar condicionado aumentou em média 23%; com o PAF de 55% para 80% esse valor médio foi para 34%, e para o PAF de 30% para 80% obteve-se aumento médio de 65% (Tabela 6). Na fachada cortina, essas variações médias foram de 12% (PAF de 30% para 55%), 24% (PAF de 55% para 80%) e 40% (PAF de 30% para 80%). Observa-se que o aumento do consumo do ar condicionado não foi proporcional ao aumento

do PAF, fato também observado nos estudos de Westphal e Andreis (2016). Os resultados da Tabela 10 referem-se aos cenários sem dispositivo de sombreamento e com *setpoint* de 24 °C. O impacto desse parâmetro nos demais cenários (com dispositivo de sombreamento e/ou *setpoint* de 25 °C) apresentou padrões de resultados similares.

Com relação ao tipo de vidro, o vidro incolor foi o que apresentou o maior consumo de energia para todos os cenários. Na Tabela 5 nota-se que em alguns casos essas diferenças entre os vidros são suficientes para que haja alteração da faixa de desempenho — alterando as cores —, em outros, vidros distintos permanecem com a mesma classificação. Na Tabela 7 tem-se a redução desse consumo, com a adoção das alternativas estudadas. São apresentados os cenários da fachada cortina, com *setpoint* de 24 °C e sem dispositivo de sombreamento (SDS). O impacto desse parâmetro nos demais cenários (fachada tradicional, com dispositivo de sombreamento, *setpoint* de 25 °C) apresentou-se de forma semelhante. Nos climas de Curitiba e São Paulo, a maior economia foi obtida com o vidro refletivo, seguido do low-e e do duplo, e as maiores reduções se deram na maior PAF (80%). Nesse caso, a economia, com o uso do vidro refletivo, foi de 23,4% (Curitiba) e 21,4% (São Paulo). Já em Manaus o vidro de menor consumo foi o duplo, seguido do refletivo e do low-e, e o maior impacto foi observado na janela menor, com PAF de 30% (economia de 10,8% para o vidro duplo).

Finalmente, quanto ao dispositivo de sombreamento, a sua adoção sempre gerou economia de energia (Tabela 5), alterando a classificação por cores dos cenários, que passaram a ocupar classificações mais altas, em comparação com os cenários sem dispositivo de sombreamento. Tal resultado está em concordância com outros estudos em edifícios de planta livre no Brasil (CARVALHO; LA ROVERE; GONÇALVES, 2010; PASQUALI *et al.*, 2011; NEVES; MARQUES, 2017). Conforme supracitado, foi calculado um dispositivo de sombreamento único cuja máscara de sombra atingisse esse objetivo: a redução dos ganhos solares, em todas as combinações de PAF, orientação e latitude, e isso pode ser verificado na Tabela 8, a qual demonstra que ter o dispositivo de sombreamento sempre reduz o consumo energético nas situações aqui apresentadas. Como a eficiência do dispositivo de sombreamento é diferente em cada clima e PAF, tais resultados não podem ser comparados entre si, apenas refletem no consumo energético do ar condicionado o fato de se ter ou não o dispositivo de sombreamento.

Influência do *setpoint* de resfriamento

A temperatura de controle (*setpoint*) de resfriamento do ar condicionado pode ser considerada um elemento possível de ser alterado em uma edificação em uso, e isso pode ser visto na Tabela 5, principalmente nos cenários com fachada cortina, para os climas avaliados, em que o aumento da temperatura de *setpoint* de resfriamento em 1 °C

reduziu o consumo energético de modo a alterar a faixa de desempenho, para classificações mais altas. E essa redução também pode ser vista na Tabela 9, que apresenta o consumo de energia do ar condicionado para todos os cenários com fachada cortina (FC), com *setpoint* de 25 °C em relação aos cenários com *setpoint* de 24 °C. O impacto desse parâmetro nos demais cenários (fachada tradicional) apresentou-se de forma semelhante.

Tabela 6 - Variação do consumo de energia do ar condicionado em função do PAF

	Clima	Tipo de vidro (D. sombreamento)	Consumo de energia do ar condicionado		
			30% - 55%	55% - 80%	30% - 80%
FACHADA TRADICIONAL	Curitiba	In (SDS)	+35,8%	+44,6%	+96,3%
		Lw (SDS)	+26,4%	+41,0%	+78,1%
		Rf (SDS)	+22,3%	+38,9%	+69,8%
		Dp (SDS)	+26,0%	+41,8%	+78,6%
	São paulo	In (SDS)	+35,1%	+43,4%	+93,8%
		Lw (SDS)	+23,3%	+40,8%	+73,5%
		Rf (SDS)	+16,9%	+38,9%	+62,4%
		Dp (SDS)	+23,8%	+44,1%	+78,4%
	Manaus	In (SDS)	+10,8%	+20,7%	+33,7%
		Lw (SDS)	+15,6%	+18,1%	+36,5%
		Rf (SDS)	+18,9%	+17,6%	+39,8%
		Dp (SDS)	+21,8%	+18,6%	+44,4%
FACHADA CORTINA	Curitiba	In (SDS)	+20,2%	+35,6%	+63,0%
		Lw (SDS)	+13,3%	+28,9%	+46,0%
		Rf (SDS)	+10,1%	+26,1%	+38,8%
		Dp (SDS)	+14,5%	+34,3%	+53,8%
	São paulo	In (SDS)	+19,0%	+31,8%	+56,8%
		Lw (SDS)	+12,8%	+27,5%	+43,9%
		Rf (SDS)	+9,6%	+24,9%	+36,8%
		Dp (SDS)	+13,9%	+29,5%	+47,6%
	Manaus	In (SDS)	+21,6%	+15,7%	+21,6%
		Lw (SDS)	+22,5%	+13,3%	+22,5%
		Rf (SDS)	+24,1%	+12,8%	+24,1%
		Dp (SDS)	+26,2%	+13,7%	+26,2%

Nota: *em negrito encontram-se os maiores valores.

Tabela 7 - Variação do consumo de energia do ar condicionado em função do tipo de vidro (referência: vidro incolor 6 mm)

		Variação do consumo de energia do ar condicionado								
		Curitiba			São Paulo			Manaus		
FC	Tipo de vidro	PAF								
	(D. Sombr.)	30%	55%	80%	30%	55%	80%	30%	55%	80%
	Lw (SDS)	-7,0%	-12,3%	-16,7%	-6,9%	-11,7%	-14,6%	-5,9%	-3,2%	-5,2%
	Rf (SDS)	-10,1%	-17,6%	-23,4%	-9,9%	-17,0%	-21,4%	-9,1%	-4,9%	-7,2%
	Dp (SDS)	-4,1%	-8,6%	-9,4%	-4,6%	-8,6%	-10,2%	-10,8%	-5,8%	-7,3%

Nota: *em negrito encontram-se os maiores valores.

Tabela 8 - Variação do consumo de energia do ar condicionado nos cenários com dispositivo de sombreamento (CDS) (referência: cenários sem dispositivo de sombreamento (SDS))

	Clima	Tipo de vidro (Disp. sombreamento)	Variação do consumo de energia do ar condicionado		
			PAF=30%	PAF=55%	PAF=80%
Fachada cortina	Curitiba	In (CDS)	-20,4%	-30,3%	-30,6%
		Lw (CDS)	-17,4%	-24,4%	-27,0%
		Rf (CDS)	-15,6%	-21,2%	-24,5%
		Dp (CDS)	-18,6%	-26,9%	-29,1%
	São Paulo	In (CDS)	-20,4%	-28,3%	-26,3%
		Lw (CDS)	-19,1%	-24,4%	-24,0%
		Rf (CDS)	-18,0%	-22,0%	-22,5%
		Dp (CDS)	-20,5%	-25,4%	-25,3%
	Manaus	In (CDS)	-8,7%	-5,9%	-6,2%
		Lw (CDS)	-9,3%	-9,6%	-3,7%
		Rf (CDS)	-9,5%	-11,7%	-3,0%
		Dp (CDS)	-9,8%	-13,5%	-5,5%

Nota: *em negrito encontram-se os maiores valores.

Tabela 9 - Variação do consumo de energia do ar condicionado em função da alteração na temperatura de controle (*setpoint*) de 24 °C para 25 °C

	Tipo de vidro (D. Sombr.)	Variação do consumo de energia do ar condicionado								
		Curitiba			São paulo			Manaus		
		PAF								
		30%	55%	80%	30%	55%	80%	30%	55%	80%
FC	In (SDS)	-12,7%	-12,0%	-12,8%	-13,6%	-12,3%	-11,7%	-7,5%	-6,0%	-6,0%
	In (CDS)	-12,2%	-12,9%	-14,0%	-16,1%	-15,9%	-14,1%	-7,7%	-7,7%	-6,5%
	Lw (SDS)	-13,1%	-12,8%	-12,4%	-13,9%	-13,2%	-12,6%	-7,5%	-6,6%	-6,2%
	Lw (CDS)	-12,2%	-13,2%	-12,7%	-15,7%	-16,4%	-15,1%	-7,3%	-7,4%	-6,9%
	Rf (SDS)	-13,6%	-13,3%	-13,0%	-14,1%	-13,8%	-13,1%	-7,3%	-7,2%	-6,4%
	Rf (CDS)	-12,7%	-13,6%	-13,6%	-15,6%	-16,3%	-15,8%	-7,6%	-7,3%	-7,4%
	Dp (SDS)	-11,0%	-10,8%	-11,7%	-12,5%	-11,8%	-10,6%	-7,5%	-6,4%	-5,3%
	Dp (CDS)	-8,3%	-7,8%	-14,9%	-13,4%	-14,1%	-13,1%	-9,0%	-6,6%	-6,3%

Nota: *em negrito encontram-se os maiores valores.

Nota-se na Tabela 8 que alterar o *setpoint* em 1 °C reduziu em até 16% o consumo de energia do ar condicionado. Essa alteração causou maiores economias em Curitiba (8%-15%) e São Paulo (12%-16%) do que em Manaus (5%-9%). Friess, Rakhshan e Davis (2017) afirmam que a utilização de um *setpoint* de resfriamento mais alto (27 °C) em locais de climas quentes só é possível quando se tem uma edificação com menos isolamento, o que permite maiores trocas de calor com o ambiente exterior.

Conclusões

Com o objetivo de classificar e caracterizar o desempenho energético de edifícios de planta livre em climas brasileiros, a influência dos parâmetros relacionados à fachada foi analisada, a partir de simulações computacionais no programa *EnergyPlus*.

Para esse tipo de edificação, foi verificada a influência dos seguintes parâmetros:

- tipo de fachada;
- clima;
- parâmetros relacionados às aberturas (PAF, tipo de vidro e dispositivo de sombreamento); e
- temperatura de *setpoint* de resfriamento do ar condicionado, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.

A partir da análise paramétrica realizada nessa pesquisa e da classificação dos resultados apresentados no Quadro 5, foi possível avaliar a influência de cada parâmetro no consumo de energia do ar condicionado. Com isso, pode-se gerar recomendações de projeto específicas para edifícios de escritórios de planta livre localizados em climas brasileiros. Assim, as características arquitetônicas presentes nas melhores classificações (verdes), são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 5 - Principais resultados obtidos nessa pesquisa

COMBINAÇÃO DOS PARÂMETROS AVALIADOS	
Parâmetros	Principais resultados
Utilizar fachada tradicional (FT)	<ul style="list-style-type: none"> • Possui os menores consumos energéticos com ar condicionado (em relação à fachada cortina – FC);
Alterar de FT para FC	<ul style="list-style-type: none"> • Em média, um aumento de 25% para Curitiba e São Paulo e 15% para Manaus;
Climas	<ul style="list-style-type: none"> • Curitiba e São Paulo apresentam resultados semelhantes quanto à faixa de desempenho energético, diferenciando-se nesse aspecto o clima de Manaus, devido às altas temperaturas mantidas ao longo do ano todo;
Parâmetros relacionados às aberturas (PAF, tipo de vidro, dispositivo de sombreamento)	<ul style="list-style-type: none"> • O PAF foi o que mais impactou o consumo energético. O tipo de vidro teve impacto nas maiores aberturas (PAFs de 55% e 80%), enquanto a utilização do dispositivo de sombreamento sempre reduziu o consumo energético nas diversas situações avaliadas neste estudo;
Alteração do <i>setpoint</i> de resfriamento do ar condicionado	<ul style="list-style-type: none"> • Mudar a temperatura de 24 °C para 25 °C melhorou o desempenho em todos os cenários, reduzindo o consumo de energia em até 16,4%, em média.

Quadro 6 - Principais recomendações de projeto para os melhores desempenhos

Características	Recomendações
Fachada tradicional (FT)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar, em todos os climas, a fachada tradicional, exceto para os cenários com aberturas grandes (PAF de 80%) e <i>setpoint</i> de 24 °C em Manaus.
Fachada cortina (FC)	<ul style="list-style-type: none"> • Em Curitiba e São Paulo deve-se priorizar janelas pequenas (PAF de 30%) e médias (PAF de 55%) com dispositivo de sombreamento para poder utilizar todos os tipos de vidros (nos dois <i>setpoints</i>). É possível se utilizar janelas grandes (PAF de 80%) em Curitiba, desde que se mantenha o <i>setpoint</i> em 25 °C para todos os tipos de vidros (exceto o incolor) e, em São Paulo, é possível utilizar o vidro refletivo no <i>setpoint</i> de 24 °C e os vidros low-e, refletivo ou duplo no <i>setpoint</i> de 25 °C. Em climas muito quentes, como Manaus, o uso de janelas pequenas (PAF de 30%) é mais adequado e, com a possibilidade de se utilizar um dispositivo de sombreamento, pode-se utilizar os vidros refletivo ou duplo e, no <i>setpoint</i> de 25 °C, todos os tipos de vidro podem ser usados (exceto o incolor). É possível se utilizar janelas médias (PAF de 55%), desde que se tenha dispositivo de sombreamento para os vidros refletivo ou duplo, no <i>setpoint</i> de 25 °C.

Têm-se as seguintes limitações desse estudo:

- (a) não foi considerado o aproveitamento da iluminação natural, através da utilização de sistemas eficientes (dimerizáveis), que poderiam reduzir o consumo energético total do edifício. Entretanto, a consideração desse aspecto acarretaria outras análises no que tange à disponibilidade e qualidade da luz natural, otimizando questões de aproveitamento da iluminação proveniente das aberturas, evitando, por exemplo, o ofuscamento e/ou o superaquecimento próximo às aberturas;
- (b) foi utilizado um tamanho de dispositivo de sombreamento que proporcionasse a maior máscara de sombra e, assim, fosse suficiente para prover o sombreamento efetivo para as demais situações, ainda que esse sombreamento fosse maior que o necessário;
- (c) foi mantida a mesma orientação solar para todos os cenários avaliados, com as maiores fachadas voltadas à norte-sul, em função de se optar pela situação que gerasse menores ganhos solares para o volume como um todo;
- (d) além disso, foi avaliada a mesma geometria (retangular), com uma grande área central destinada ao core, como foi identificado na coleta de dados a respeito desse tipo de edificação utilizada no Brasil; e
- (e) as densidades de pessoas e equipamentos foram dados fixos da simulação, pois estão diretamente relacionadas ao uso de tais espaços, não podendo, portanto, serem previstos com exatidão no desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Como indicações de trabalhos futuros têm-se:

- (a) trabalhar com outras geometrias, a fim de identificar como as alterações dos parâmetros da fachada influenciam no desempenho energético dessas edificações;
- (b) avaliar outros tipos de fachadas, como as duplas ventiladas, revestidas com vegetação e outros materiais (como a utilização de painéis fotovoltaicos e os materiais de mudança de fase – PCMs, por exemplo);
- (c) incluir nas análises o aproveitamento da iluminação natural (através da integração com a iluminação artificial, por meio de um sistema dimerizável), a fim de se compreender o quanto essa parcela influencia no consumo de energia total desse tipo de edificação. Além disso, pode-se avaliar a qualidade da iluminação interior, detectando casos com ofuscamento, por exemplo, para gerar espaços com melhor conforto visual aos usuários;

(d) utilizar estratégias passivas, como a ventilação natural – que pode ser realizada por meio de sistemas híbridos de ventilação (combinação de ventilação natural e uso de sistemas de condicionamento térmico artificial), pode auxiliar tanto na redução do consumo energético quanto na melhoria do conforto térmico no interior desse tipo de edificação; e

(e) considerar o conforto térmico nas análises, a fim de verificar a relação conforto *versus* desempenho energético.

Com isso, esta etapa da pesquisa estudou uma gama de combinações de diversos parâmetros relacionados à fachada e demonstrou a sua influência. Tais resultados podem servir de suporte à tomada de decisões por parte dos projetistas, no sentido de se criar edifícios energeticamente mais eficientes. É importante destacar que tais resultados estão diretamente relacionados ao modelo e climas selecionados para este estudo, não podendo, portanto, ser considerados para situações diferentes das avaliadas neste estudo.

Referências

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Standard 90.1-2013**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários: parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia Para os Trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- AZARI, R. Integrated Energy and Environmental Life Cycle Assessment of Office Building Envelopes. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 156–162, 2014.
- BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Fachadas de Vidro no Brasil: um estudo comparativo de viabilidade econômica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., Maceió, 2014. **Anais...** Maceió, 2014.
- BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Uso de Vidro Duplo e Vidro Laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.
- BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: a review. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 734–755, 2016.
- BOYANO, A.; HERNANDEZ, P.; WOLF, O. Energy Demands and Potential Savings in European Office Buildings: case studies based on EnergyPlus simulations. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 19–28, 2013.
- BUILDINGS. **Pesquisa Imobiliária Inteligente**: primeira empresa brasileira especializada em pesquisa imobiliária corporativa. Disponível em: <<http://www.buildings.com.br>>. Acesso em: 2 fev. 2016.
- CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. Florianópolis, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CARVALHO, M. M. Q.; LA ROVERE, E. L.; GONÇALVES, A. C. M. Analysis of Variables That Influence Electric Energy Consumption in Commercial Buildings in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3199–3205, 2010.
- CB3E; ABIVIDRO. **Catálogo de Propriedades Térmicas e Óticas de Vidros Comercializados no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planalhas-catalogos>>.
- CEBRACE. **Características do Vidro Laminado Incolor**. Relatório interno, 2016.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: subsídios para a promoção da construção civil sustentável**. Ministério do Meio Ambiente. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/MMA-Pnuma/Aspectos%20da%20Construcao%20Sustentavel%20no%20Brasil%20e%20Promocao%20de%20Políticas%20Publicas.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- DALZIEL, R. **Architecture**. In: The Commercial Offices Handbook. London: RIBA Enterprises, 2003.
- DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **EnergyPlus**: version 8.1. Office of Building Technologies, 2013.
- DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias Para Edifícios de Escritórios Energia Zero no Brasil Com Ênfase em BIPV. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 27–42, jul./set. 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Relatório Final. Rio de Janeiro, 2018.
- FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K.; DAVIS, M. P. A Global Survey of Adverse Energetic Effects of Increased Wall Insulation in Office Buildings: degree day and climate zone indicators. **Energy Efficiency**, v. 10, n. 1, p. 97–116, 2017.
- GLASSEC-VIRACON. **Características do Vidro Opaco**. Relatório interno, 2016.
- GUARDIAN. **Manual Técnico Guardian - SunGuard**: vidros de controle solar e eficiência energética. 2010. Disponível em: <<http://www.sunguardglass.com>>. Acesso em: 13 abr. 2016.
- HUANG, Y.; NIU, J. Optimal Building Envelope Design Based on Simulated Performance: history, current status and new potentials. **Energy and Buildings**, v. 117, p. 387–398, 2015.
- IHARA, T.; GUSTAVSEN, A.; JELLE, B. P. Effect of Facade Components on Energy Efficiency in Office Buildings. **Applied Energy**, v. 158, p. 422–432, 2015.

- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **RTQ-C**: regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas. Rio de Janeiro, 2013.
- KÖPPEN, W. Das Geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebruder Borntrager, 1936.
- KRSTIĆ-FURUNDŽIĆ, A.; KOSIĆ, T. Assessment of Energy and Environmental Performance of Office Building Models: a case study. **Energy and Buildings**, v. 115, p. 11–22, 2016.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos Climáticos INMET 2015**. 2016. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>>. Acesso em: 30 mai. 2016.
- MARCONDES, M.; ALUCCI, M.; GONÇALVES, J. Façades and Office Buildings in São Paulo (Brazil): aiming for thermal comfort and natural ventilation. In: WINDSOR CONFERENCE: The Changing Context of Comfort in an Unpredictable World, n. 7, p. 12–15, apr. 2012.
- MELO, A. P. *et al.* Is thermal Insulation Always Beneficial in Hot Climate? In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 14., Hyderabad, 2015. **Proceedings...** Hyderabad, 2015.
- MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Opaque Envelope Parameters Versus Energy Consumption in Commercial Buildings in Brazil. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 1, n. 4, p. 237–244, 2008.
- MIRRAHIMI, S. *et al.* The Effect of Building Envelope on the Thermal Comfort and Energy Saving For High-Rise Buildings in Hot–Humid Climate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1508–1519, 2016.
- NEVES, L. de O.; MARQUES, T. H. T. Building Envelope Energy Performance of High-Rise Office Buildings in Sao Paulo City, Brazil. **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, p. 821–829, 2017.
- PASQUALI, F. E. *et al.* Potential for Energy Savings in Retrofitting of an Office Building in São Paulo. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12., Sydney, 2011. **Proceedings...** Sydney, 2011.
- PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; VELÁZQUEZ, D. Revisiting Energy Efficiency Fundamentals. **Energy Efficiency**, v. 6, n. 2, p. 239–254, 2013.
- RAJI, B.; TENPIERIK, M. J.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. An Assessment of Energy-Saving Solutions For the Envelope Design of High-Rise Buildings in Temperate Climates: a case study in the Netherlands. **Energy and Buildings**, v. 124, p. 210–221, 2015.
- ROLIM, G. de S. *et al.* Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e Sua Aplicabilidade na Determinação de Zonas. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório interno. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 9 out. 2012.
- RUZICKI, S. *et al.* Análise da Sensibilidade do RTQ-C Quanto a Variação da Densidade de Carga Interna de Edificações de Escritórios nas Zonas Bioclimáticas Brasileiras 1, 2 e 3. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. **Anais...** São Paulo, 2016.
- SANTANA, M. V. **Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis–SC**. Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TSIKALOUDAKI, K. *et al.* Assessing Cooling Energy Performance of Windows for Residential Buildings in the Mediterranean Zone. **Energy Conversion and Management**, v. 64, p. 335–343, 2012.
- VENÂNCIO, R.; PEDRINI, A. The Influence of Design Decisions on Energy Consumption and Thermal Performance: the case of UFRN Campus, Brazil. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 11., Glasgow, 2009. **Proceedings...** Glasgow, 2009.
- VERONEZI, A. B. P.; LIMA JUNIOR, J. da R.; ALENCAR, C. T. de. Sistema de Classificação de Edifícios de Escritórios no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, 5., São Paulo, 2005. **Anais...** São Paulo, 2005.

WESTPHAL, F. S. **Análise de Incertezas e de Sensibilidade Aplicadas à Simulação de Desempenho Energético de Edificações Comerciais**. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WESTPHAL, F. S.; ANDREIS, C. Influence of Glazed Façades on Energy Consumption For Air Conditioning of Office Buildings in Brazilian Climates. **Journal of Engineering Research and Application**, v. 6, n. 11, p. 54–60, 2016.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Análise do Impacto de Variáveis Arquitetônicas e Cargas Internas no Consumo de Energia em Condicionamento de Ar de Edificações Comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL, 9.; LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., Ouro Preto, 2007. **Anais...**Ouro Preto, 2007.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC Annex 53: total energy use in buildings, analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124–136, mar. 2017.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio e fomento a este trabalho de pesquisa.

Rosilene Regolão Brugnera

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador Sancarlense, 400, Parque Arnold Schimidt | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13566-590 | E-mail: rosileneregolao@gmail.com

Ricardo Mateus

Departamento de Engenharia Civil, Centro de Investigação em Território, Ambiente e Construção | Universidade do Minho | Alameda da Universidade, Azurém | Guimarães - Portugal | CEP 4800058 | Tel.: +(351) 25351-0200 | E-mail: ricardomateus@civil.uminho.pt

João Adriano Rossignolo

Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos | Universidade de São Paulo | Av. Duque de Caxias Norte, 225, Campus da USP, Centro | Pirassununga - SP - Brasil | CEP 13635-900 | Tel.: (19) 3565-4284 | E-mail: jarossig@sc.usp.br

Karin Maria Soares Chvatal

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Tel.: (16) 3373-8600 | E-mail: karin@sc.usp.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.