

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E LUMÍNICA DE FACHADAS COM *BRISES* NO CLIMA TROPICAL

THERMAL, ENERGY AND LIGHTING SIMULATION OF FACADES WITH SHADING DEVICES IN THE TROPICAL CLIMATE

 Luma de Souza Dias ¹

 Henor Artur de Souza ²

 Adriano Pinto Gomes ³

 Lucas Fonseca Caetano ⁴

 Bruno Henrique Lourenço Camargos ⁵

 Arlindo Tribess⁶

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, lumadias_mtpo@hotmail.com

² Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, henorster@gmail.com

³ Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, MG, Brasil, adriano.gomes@ifmg.edu.br

⁴ Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, lucasfcaetano21@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, brunolourencocamargos@gmail.com

⁶ Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, atribess@usp.br

Contribuição dos autores:

LSD: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, validação, escrita – rascunho original, escrita-revisão e edição, visualização. **HAS:**

conceituação, curadoria de dados, análise formal, recursos, investigação, metodologia, recursos, supervisão, validação, escrita – revisão e edição. **APG:**

conceituação, curadoria de dados, análise formal, supervisão, investigação, metodologia, recursos, validação, escrita – rascunho original, escrita-revisão e edição. **LFC:** conceituação, análise formal, investigação, validação, escrita-revisão e edição. **BHLC:** conceituação, validação, escrita-revisão e edição, análise formal. **AT:** conceituação, validação, escrita-revisão e edição, supervisão, análise formal.

Fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:

Leticia de Oliveira Neves 

Resumo

O uso da luz natural em edificações é uma importante estratégia de projeto pois minimiza o consumo de energia com iluminação elétrica e proporciona maior qualidade visual para seus usuários. Porém, essa estratégia pode resultar em ganhos térmicos excessivos e ofuscamento, causando desconforto térmico em ambientes de trabalho. No intuito de buscar uma combinação entre qualidade visual e bom desempenho termoenergético e lumínico, analisa-se nesse estudo a influência do tipo de *brise-soleil* e tipo de vidro, aplicados a uma edificação comercial com fachada envidraçada, localizada em regiões de clima tropical. Inclui-se na análise a edificação sem o uso do *brise-soleil*, como referência. São realizadas simulações computacionais com os programas *Daysim* e *EnergyPlus* considerando-se a fachada oeste da edificação. Ao considerar o parâmetro tipo de vidro, os modelos que apresentam melhor comportamento são aqueles com vidro comum. Comparando-se os resultados entre os tipos de *brises* percebe-se que os modelos com *brise* vertical possuem valores mais elevados de taxa de radiação solar do que os modelos com *brise* horizontal, trazendo benefícios de maior luz natural ao ambiente. Os resultados, considerando-se as horas de conforto do usuário, indicam que o modelo de *brise* horizontal com vidro laminado na cor verde apresenta-se como o mais adequado, visto que possui o menor consumo de energia e mais horas de conforto. Ressalta-se, como contribuição do presente trabalho, a obtenção de modelos de *brises* mais adequados para projetos de *brises* aplicados em fachadas envidraçadas em regiões de clima tropical.

Palavras-chave: *brise-soleil*, vidros, fachada envidraçada, iluminação natural, eficiência energética.

Abstract

Using daylight in buildings is an important design strategy since it minimizes energy consumption with electric lighting and provides greater visual quality for its users. However, this strategy can result in excessive thermal gains and glare, causing thermal discomfort in work environments. In order to seek a combination between visual quality and good thermal, energy and daylight performance, this study analyzes the influence of the shading device and type of glazing applied to a commercial building with a glazed facade located in regions of tropical climate. The building without using a shading device is also included in the analysis as a reference. Computer simulations are performed with *Daysim* and *EnergyPlus* software considering the building's west facade. When considering the type of glazing parameter, the models that present the best behavior are those with common glazing. When results between the types of shading devices are compared, models with vertical shading devices have much higher values of solar radiation rate than models with horizontal shading devices, bringing benefits of higher daylight levels to the environment. Considering the number of hours in comfort conditions, the results indicate that the horizontal shading device model with laminated glazing in green color is the most suitable since it has the lowest energy consumption and more hours of comfort. As a contribution to the present work, it is noteworthy that more suitable models of shading devices are obtained for designing shading devices applied to glazed facades in tropical climate regions.

Keywords: *brise-soleil*, glazing, glazed facade, daylight, energy efficiency.

How to cite this article:

DIAS, L. de S.; SOUZA, H. A. de; GOMES, A. P.; CAETANO, L. F.; CAMARGOS, B. H. L.; TRIBESS, A. Simulação termoenergética e lumínica de fachadas com *brises* no clima tropical. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023001, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8667538>

Submitted 12.11.2021 – Approved 03.11.2022 – Published 09.01.2023

e023001-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023001, 2023, ISSN 1980-6809



Introdução

Ao longo dos anos, estudos mostraram a importância da construção de edifícios eficientes energeticamente, que prezam pelo conforto térmico dos usuários e visam reduzir o consumo de energia. O desempenho térmico da edificação é um requisito de construção para habitabilidade, como forma de tornar a edificação eficiente energeticamente, visto que as decisões de projeto em relação à escolha dos materiais e implantação da edificação, por exemplo, influenciam na redução do consumo de energia elétrica destinado ao aquecimento ou resfriamento do ambiente (SANTIN; ITARD; VISSCHER, 2009; BEKKOUCHE *et al.*, 2013; KAVOUSIAN; RAJAGOPAL; FISCHER, 2013).

Calama-González, Suárez e León-Rodríguez (2018) estudaram o uso de dispositivos de proteção solar como forma de redução do consumo com iluminação e ar-condicionado em edificações escolares e observaram uma redução de cerca de 20% no consumo com ar-condicionado e 50% no consumo com iluminação artificial. Percebe-se, a partir de pesquisas realizadas por diversos autores, que o uso correto de protetores solares, a aplicação de propriedades ópticas adequadas em fachadas de edifícios, controles da iluminação artificial, além de outros parâmetros, resultam em melhor desempenho energético da edificação, assim como maior conforto aos usuários (CRUZ E SILVA, 2011; DIDONÉ; PEREIRA, 2010; MELLO, 2019; LAZZARIS; CARVALHO; GALAFASSI, 2019; QUEIROZ; WESTPHAL; PEREIRA, 2019; WESTPHAL, 2019; MARCONDES CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018; OUAHRAMI; TOUMA *et al.*, 2016).

Segundo Touma *et al.* (2016) as superfícies vitrificadas são as que mais contribuem para a mudança do clima do ambiente interno, visto que transmitem e absorvem quantidades consideráveis de radiação solar, o que aumenta consideravelmente as cargas de aquecimento e resfriamento. Quando as fachadas são totalmente envidraçadas, há ainda mais complicações devido ao aumento de ganho de calor solar (SU; ZHANG, 2010).

Por meio da adoção de sistemas passivos de controle ambiental, como por exemplo, a aplicação dos *brise-soleils* como elemento de controle solar, o desempenho térmico e o conforto térmico podem ser alcançados no ambiente interno. Os *brise-soleils*, por serem protetores solares externos, apresentam-se como os mais eficientes, visto que barram o calor antes que ele penetre no ambiente (SILVA; AMORIM, 2008). Em áreas tropicais, já foram constatados redução em até 50% no consumo energético no ambiente com o uso do *brise-soleil* (PAGEL *et al.*, 2022).

Assim, o *brise-soleil*, uma característica arquitetônica de uma edificação, é capaz de reduzir o ganho de calor dentro da construção, além de proporcionar proteção solar passiva, reduzindo a dependência de sistemas de refrigeração mecânica e gerando reduções no consumo de energia. Também ajudam a maximizar a eficiência da luz natural no edifício, controlando e melhor distribuindo sua incidência, reduzindo a necessidade de iluminação artificial (GHULE *et al.*, 2018).

Apesar dos estudos mostrarem a eficiência dos *brises-soleils* na redução do consumo de energia, o controle do ofuscamento através das aberturas tem um efeito complexo no desempenho energético do edifício, pois ao mesmo tempo em que contribui para a redução da carga de resfriamento, aumenta a demanda por iluminação artificial (CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004). Devido à complexidade no correto dimensionamento de sistemas de sombreamento, a partir de análises entre os efeitos de iluminação natural e o consumo de energia, é necessário o uso de simulação computacional. Carlo e Lamberts (2010) apontam que a simulação computacional, embora não represente a realidade em sua totalidade, é a forma mais completa e flexível de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações.

Entre os *softwares* mais conhecidos para simulação do desempenho energético destaca-se o *EnergyPlus*, criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Neste *software* é possível simular o aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação, outros fluxos de energia e o uso de água (CRAWLEY *et al.*, 2000). Para simulação de iluminação natural tem-se o *software Daysim*, ferramenta desenvolvida por Reinhart, Maridaljevic e Rogers (2006), que calcula o perfil anual de iluminação interna utilizando arquivos climáticos. O *Daysim* integra um algoritmo comportamental chamado *Lightswitch*, que busca prever as ações dos sistemas de controle de iluminação ou de usuários no controle do sistema de iluminação. Esse modelo permite a simulação sub-horária do uso da iluminação a partir do comportamento dinâmico de iluminação e possibilita exportar um relatório de utilização dos sistemas de iluminação em todas as horas do ano (BOURGEOIS; REINHART; MACDONALD, 2006).

Algumas ferramentas são capazes de fazer uma análise integral entre os sistemas de iluminação natural, refrigeração e aquecimento. O *EnergyPlus* é uma delas, fornecendo resultados horários e realizando simulações termoenergéticas, o que permite uma avaliação mais detalhada do desempenho da edificação.

Essa abordagem integrada dos fenômenos energético e lumínico constitui-se como uma ferramenta inovadora, possibilitando fazer uma avaliação comparativa, de elevado nível de complexidade, a partir de um denominador comum, sendo este o conforto dos usuários.

Objetivos

Neste trabalho verifica-se a influência na eficiência térmica e lumínica de *brises* verticais e horizontais e tipos de vidros aplicados a fachadas de edifícios do tipo comercial de múltiplos andares localizados em regiões de clima tropical, o caso Belo Horizonte/MG/Brasil, com intuito de identificar e servir como base de dados de modelos mais adequados para se obter uma edificação com maior eficiência energética, além de prover maior bem-estar ao usuário.

Materiais e Métodos

Definição do modelo estudado

A cidade de Belo Horizonte/MG é escolhida como o estudo de campo para a determinação do modelo deste trabalho, devido à sua representatividade no contexto brasileiro e disponibilidade de informações para realização do estudo. O setor da construção comercial é selecionado para este estudo devido ao seu peso no consumo global de eletricidade, de aproximadamente 36%, segundo levantamento de dados de Alves *et al.* (2017). A cidade está localizada na latitude 19°93'00" S, longitude 43°93'00" W e a uma altitude de 850m, de acordo com a norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

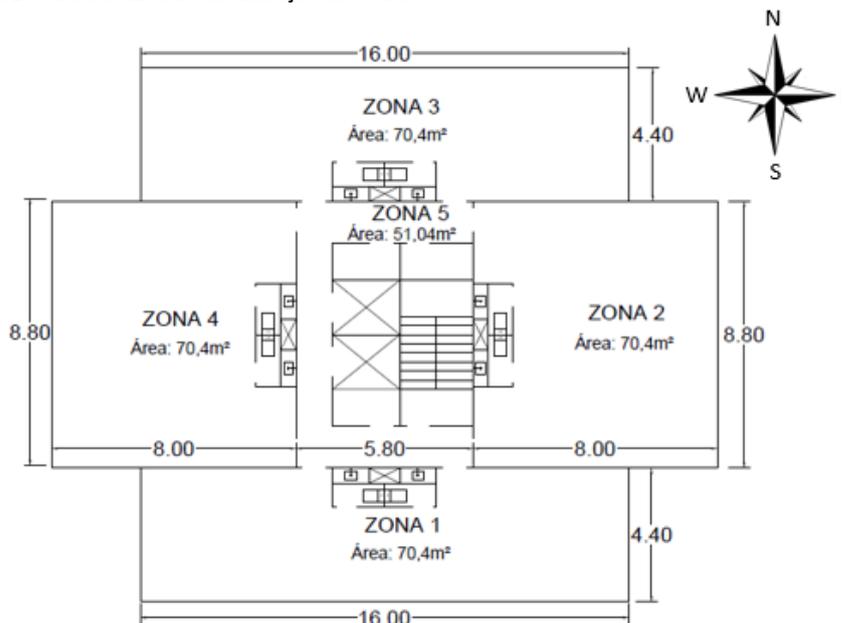
A partir do banco de dados disponibilizado no site da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) é possível verificar a existência de 5.643 edificações construídas durante o período de 2014 a 2018. Dentre essas, são selecionadas edificações do tipo não residencial e com um mínimo de três pavimentos. A partir desses critérios, é realizada uma média do número de pavimentos e da área construída de todas essas edificações, chegando a uma média do número de pavimentos igual a 7 e área construída de 2.328,48m². Baseado nesse resultado chega-se a um modelo hipotético de edifício fundamentado para realizar a análise computacional de desempenho

termoenergético e lumínico de fachadas envidraçadas com *brise-soleil*, conforme demonstrado na Figura 1.

Dados geométricos do modelo

A geometria do modelo reproduz a tipologia característica de um edifício comercial (conforme dados levantados na PBH) composto por salas de escritórios e uma zona de circulação. As salas de escritórios possuem ao longo de sua maior dimensão uma fachada envidraçada, característico de edifícios comerciais. Na Figura 1 é indicada a planta de um dos pavimentos do edifício.

Figura 1 - Planta do modelo da edificação em estudo

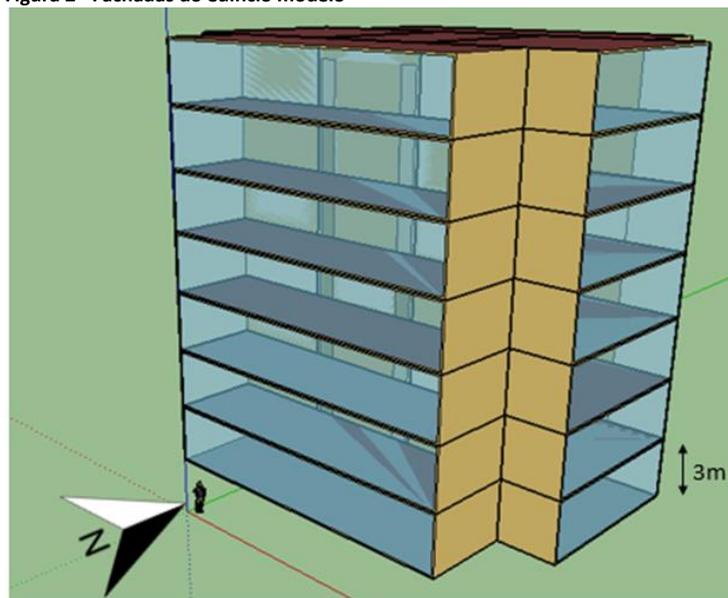


Fonte: Os autores.

Conforme visto na Figura 1, todas as salas de escritório possuem uma área de $70,4\text{m}^2$ e zona central de $51,04\text{m}^2$. Os dados geométricos da edificação são modelados no software *Sketchup* e compõem uma edificação de 7 pavimentos além dos pilotis. Para fins de simulação computacional denomina-se cada sala de escritório como uma zona térmica que, corresponde à cada orientação da fachada, sendo a Zona 1 correspondente à Fachada Sul, Zona 2 Fachada Leste, Zona 3 Fachada Norte e Zona 4 Fachada Oeste, além da Zona 5 que corresponde à zona central (contendo caixa de escadas e elevadores). Neste trabalho analisa-se a fachada oeste, pois é a fachada com maior intensidade de calor e aquela que recebe radiações diretas. Devido a este tipo de incidência solar, esta orientação apresenta cargas térmicas mais elevadas, necessitando de um cuidado especial quanto ao conforto do usuário, o que faz com que os *brises* possuam grande vantagem quando utilizados nessa fachada.

As zonas térmicas possuem pé direito igual a 3 m e, as demais dimensões constam na Figura 1. Na Figura 2 é possível visualizar a área envidraçada das fachadas, sendo que a fachada sul e a norte correspondem à uma área de $44,24\text{m}^2$ cada e as fachadas leste e oeste possuem uma área envidraçada de $24,08\text{m}^2$ cada uma.

Figura 2 - Fachadas do edifício modelo



Fonte: os autores.

Definição dos dados climáticos

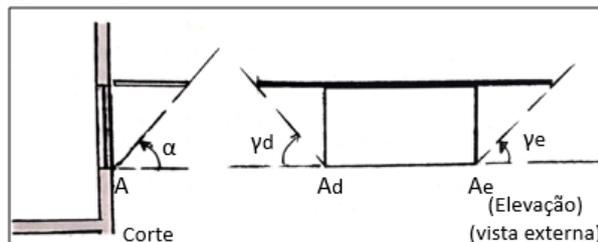
Os arquivos climáticos utilizados para as simulações são no formato TRY (*Test Reference Year*). Nesta pesquisa foi utilizado o arquivo TRY referente à cidade de Belo Horizonte, região da Pampulha (INMET, 2016). O arquivo TRY é obtido pela eliminação de anos que contenham temperaturas médias mensais extremas. É o ano real que mais se aproxima da normal climatológica. Este tipo de arquivo é utilizado para o estudo do comportamento de uma edificação ao longo de um ano e apresenta boa precisão no cálculo da demanda média de energia (OLIVEIRA, 2006). A importância e a utilização adequada de arquivos climáticos que condizem com a realidade das cidades são destacados em Pyrgou *et al.* (2017). Neste trabalho utiliza-se como referência climática os dados da Zona Bioclimática da cidade de Belo Horizonte/MG, pertence à zona bioclimática 3, conforme estabelecido pela norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a).

Dimensionamento dos brises

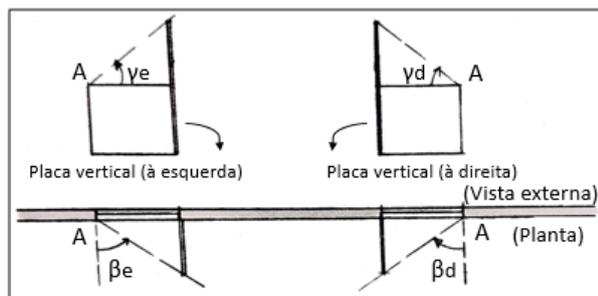
A forma mais usual de se projetar um dispositivo para uma abertura é estabelecer o período que esta necessita de proteção (neste modelo de estudo determina-se o horário das 8h às 18h) e representar a máscara desejada na carta solar. A partir da carta solar, definida por meio do *software* SOL-Ar (versão 6.2), os períodos desejados de sombreamento são sobrepostos à carta solar, na latitude local, determinando a máscara de sombra na orientação que possui a fachada. Com o auxílio do transferidor de ângulos são determinados os ângulos necessários para realizar o dimensionamento. O ângulo α (0 a 90°) é determinado no corte e medido a partir do plano horizontal que passa pelo observador (ponto A). Os ângulos β_e e β_d são determinados na planta e medidos de 0 a 90° , para a esquerda ou para a direita da normal à fachada que passa pelo observador. Os ângulos γ_e e γ_d são determinados em uma elevação e determinam se o *brise* é finito ou infinito.

Para obtenção dos *brises* horizontais utilizam-se o ângulo α (5°) e os ângulos γ (20° esquerdo e 10° direito) e, para os *brises* verticais utilizam-se os ângulos β (5°) e os ângulos γ (não se aplica, pois os andares são contínuos). A partir dos ângulos (Figura 3) obtidos no *software* SOL-Ar prossegue-se com o dimensionamento utilizando o *software* AutoCAD para fazer o desenho dos *brises* e identificar suas dimensões.

Figura 3 - Ângulos de sombreamento dos brises



a) Brise Horizontal

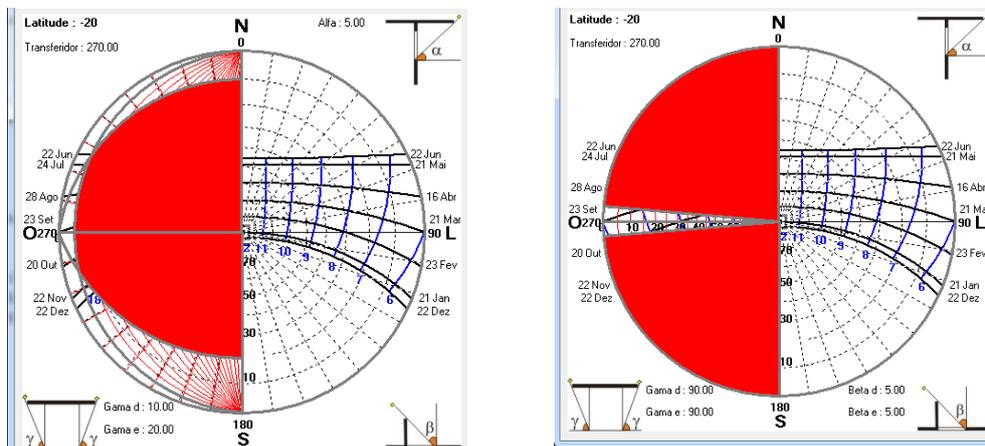


b) Brise Vertical

Fonte: adaptado de Frota (2004).

Após a realização do dimensionamento dos brises, englobando as duas tipologias (horizontal e vertical), é definido o material. Para este estudo, opta-se por brises em perfis de alumínio devido à sua leveza, maior rapidez de execução e maior facilidade de limpeza. Na Tabela 1 são mostradas as dimensões dos brises obtidas a partir do software Analysis SOL-Ar e AutoCAD. A angulação escolhida dos brises é de 90°, devido à sua maior utilização em edifícios comerciais. Na Figura 4 são mostradas as cartas solares a partir das quais obtém-se as angulações para dimensionamento dos brises.

Figura 4 - Cartas Solares obtidas pelo Software Analysis SOL-Ar



(a) Brise Horizontal

(b) Brise Vertical

Fonte: os autores.

Tabela 1 - Dimensões obtidas no dimensionamento dos brises

Zona	Dimensões (cm)	Ângulo de Sombreamento	
		Ângulo 90°	
		Brise Horizontal	Brise Vertical
Zona 4 (Oeste)	Distância entre brises	5	8
	Profundidade	57	95

Fonte: os autores.

Modelo tridimensional da simulação computacional de iluminação

Utiliza-se o software *Sketchup* versão 7.0 e o *plug-in* *Suzds* para que se possa desenvolver o modelo tridimensional. Cada fachada (com todos os pavimentos) é desenhada em um arquivo separadamente, exportada no formato .hea e simulada no software *Daysim* versão 3.1. Os pavimentos recebem os mesmos materiais, conforme disponibilidade na biblioteca *Daysim*, presente no software *Sketchup*.

Steffy (1990) ressalta a importância da correta escolha das refletâncias das superfícies internas de um ambiente em um projeto de iluminação. Quando se utiliza superfícies com valores elevados de refletância isso pode implicar em uma melhoria significativa no rendimento do sistema de iluminação ao aumentar o nível de iluminância geral do ambiente sem que seja necessário aumentar o fluxo luminoso das fontes de luz. Baseado nas refletâncias dos materiais sugeridos por Steffy (1990) e outros estudos, são mostradas na Tabela 2, as refletâncias de todos os materiais utilizados neste trabalho.

Tabela 2 - Refletâncias dos materiais

Superfícies	Refletância
Teto	90%
Parede	50%
Piso	20%
Elemento de sombreamento	90%

Fonte: os autores.

Tabela 3 - Propriedades térmicas e ópticas dos vidros utilizados

Propriedades	Vidro 1	Vidro 2	Vidro 3	Vidro 4
Espessura	3mm	8mm	6mm	6mm
Transmitância a radiação solar para incidência normal	0,837	0,15	0,43	0,07
Refletância a radiação solar para incidência normal (<i>front side</i>)	0,075	0,4	0,42	0,13
Refletância a radiação solar para incidência normal (<i>back side</i>)	0,075	0,14	0,3	0,49
Transmitância a luz visível para incidência normal (<i>front side</i>)	0,898	0,33	0,77	0,08
Refletância a luz visível para incidência normal (<i>front side</i>)	0,081	0,26	0,06	0,13
Refletância a luz visível para incidência normal (<i>back side</i>)	0,081	0,19	0,07	0,42
Transmitância a radiação infravermelha	0	0	0	0
Emissividade hemisférica a radiação infravermelha (<i>front side</i>)	0,84	0,84	0,03	0,84
Emissividade hemisférica a radiação infravermelha (<i>back side</i>)	0,84	0,84	0,84	0,43
Condutividade térmica (W/m.K)	0,9	1	0,9	0,9
Transmitância térmica (W.m ² .k)	5,7	5,67	5,79	4,25
Fator Solar	0,87	0,27	0,57	0,22

Fonte: os autores.

Conforme mostrado na Tabela 2, o alumínio, material do elemento de sombreamento (*brise-soleil*), possui refletância de 90%. De acordo com Pereira (2005), a refletância do alumínio pode variar de 55% a 90%. Com o objetivo de alcançar uma melhor iluminância no interior da edificação, a escolha do alumínio com refletância elevada contribui para menor absorção de radiação solar.

A transmitância de luz visível do vidro da fachada é modificada nas simulações para analisar qual a sua influência sobre a iluminação natural no interior do ambiente. Na Tabela 3 são mostradas as propriedades térmicas e ópticas dos vidros utilizados. A escolha dos vidros está baseada nos tipos comumente utilizados em edificações na região do estudo. Os valores mostrados nesta tabela são inseridos no *EnergyPlus*.

O vidro 1 refere-se ao vidro simples (transparente e sem nenhuma impureza adicionada à sua mistura), comumente utilizado nas construções no Brasil devido ao baixo custo e facilidade de aquisição no mercado. Este tipo de vidro apresenta elevada transmissividade de radiação solar para o interior do ambiente. Além disso é pouco reflexivo e transparente às ondas curtas e opaco às ondas longas. Devido a este

comportamento opaco, é criado o efeito estufa no interior do ambiente, onde há entrada e acumulação da radiação solar (BAGNATI, 2013). Os dados são retirados da biblioteca do *software EnergyPlus*, versão 8.7, conforme mostrado na Tabela 3.

O vidro 2 refere-se ao vidro laminado na cor verde, também muito utilizado em fachadas de edifícios. O vidro laminado é composto por duas ou mais lâminas de vidro plano, intercaladas pelo Polivinil Butiral (PVB), que consiste em um filme plástico de grande resistência, podendo ser incolor ou colorido (CASTRO, 2006). De acordo com norma NBR 7.199 (ABNT, 2016), este vidro é classificado como vidro de segurança com espessura variando entre 6mm e 50mm. Os dados são retirados do Catálogo de Propriedades Térmica e Ópticas de Vidros Comercializados no Brasil, elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3E, e pela Associação Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO (CB3E, 2015).

O vidro 3 refere-se ao vidro de proteção solar, conhecido como vidro *low-e*, que possui baixa emissividade em um de seus lados, o que implica em redução da entrada direta de energia solar no interior da edificação e, conseqüentemente, redução dos gastos de energia elétrica com o ar-condicionado (SALDANHA, 2012). Este vidro não tem nenhuma impureza adicionada à sua mistura e, é também espectralmente seletivo, ou seja, parte do espectro solar transmitida preferencialmente. Além disso possui o revestimento invertido, localizando-se na parte da frente em vez da parte de trás. Os dados são retirados da biblioteca do *EnergyPlus*, versão 8.7.

O vidro 4 refere-se ao vidro reflexivo, que é composto por um revestimento metálico em uma superfície para aumentar a reflexão solar. Neste caso o revestimento metálico que compõe o vidro é o revestimento de estanho, cuja transmitância é baixa. Além disso o vidro é matizado com materiais inorgânicos que aumentam a absorção. Os dados também são retirados da biblioteca do *EnergyPlus*, versão 8.7.

Após elaboração do modelo tridimensional da edificação no *software SketchUp*, cria-se uma malha de pontos, que configura o plano de trabalho do escritório, ou seja, onde é analisada a incidência da luz no interior da edificação. Essa malha de pontos se estende por todo o pavimento e, precisa estar a uma altura padrão, de 0,75m de acordo com a norma NBR 15.215-4 (ABNT, 2005b). Nos modelos deste trabalho insere-se a malha com distanciamento de pontos de 0,5m, valor que vem como *default*. Este valor pode ser alterado, porém é necessário atentar a um número mínimo de pontos na malha, que é calculado a partir da Equação (1), como mostrado na NBR 15.215-4 (ABNT, 2005b).

$$K = \frac{CxL}{H_m x (C + L)} \quad (1)$$

onde C é o comprimento (m); L é a largura (m) e H_m é a distância entre a superfície do trabalho e o topo da janela (2,15 m). Com o valor de K calculado, obtém-se o número de pontos necessários na malha. Nos cálculos realizados, obteve-se o valor de K igual a 1,61 para as zonas 1 e 3, e o valor de K igual a 1,95 para as zonas 2 e 4. Em ambos os casos, atende-se ao valor mínimo de pontos exigidos pela norma (ABNT, 2005a).

É necessário fornecer os dados de localização da edificação (nome da cidade, país, latitude, longitude, elevação e fuso horário) e verificar se há algum conflito entre os materiais adotados. Por último basta exportar o *header file*, que é o arquivo de cabeçalho que é inserido no *Daysim* para simulação computacional de desempenho lumínico.

Simulação

As simulações no *software Daysim* são realizadas em intervalos de 60 min, que é o mesmo tempo (1h) em que o *EnergyPlus* executa as simulações termoenergéticas. A refletância do solo, cujo valor inserido é de 0,2, corresponde à refletância no entorno imediato.

Quanto ao tipo de sombreamento, escolhe-se o dispositivo de sombreamento estático, que é o dispositivo representado no modelo geométrico no *Sketchup*. Dessa forma o *Daysim* assume que o dispositivo de sombreamento já faz parte da cena básica do *Radiance*, que se refere à complexidade da cena. Por fim, o *Daysim* exige configurações para cada simulação a respeito da complexidade da cena simulada e, este sugere como dados de entrada os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de entrada da complexidade dos modelos

Parâmetros	Complexidade de cena 1	Complexidade de cena 2
<i>Rebatida ambiental</i>	5	7
<i>Divisões ambientais</i>	1.000	1.500
<i>Super amostras ambientais</i>	20	100
<i>Resolução ambiental</i>	300	300
<i>Precisão do ambiente</i>	0,1	0,1
<i>Limite de reflexão</i>	6	6
<i>Limiar especular</i>	0,15	0,15
<i>Instabilidade especular</i>	1,0	1,0
<i>Limite de peso</i>	0,004	0,004
<i>Instabilidade direta</i>	0	0
<i>Amostragem direta</i>	0,2	0,2
<i>Retransmissões diretas</i>	2	2
<i>Densidade pré-teste direta</i>	512	512

Fonte: Reinhart (2010).

Esses dados devem ser inseridos de acordo com as características da complexidade das aberturas do modelo, sendo elas a complexidade de cena 1, referente a um modelo com aberturas sem elementos de sombreamento (sem *brise*), ou seja, um modelo sem sistemas complexos de iluminação natural e, a Complexidade de cena 2, referente a um modelo com aberturas e com elementos de sombreamento.

Realizada a simulação é feita a análise da interação entre o ambiente, iluminação e pessoas. Essa análise necessita da inserção dos dados de perfil de ocupação, sistema de controle de sombreamento, iluminação e, também do comportamento do usuário. Essa análise é possível já que o *Daysim* integra um algoritmo comportamental chamado *Lightswitch*, que busca prever as ações dos sistemas de controle de iluminação ou de usuários no controle do sistema de iluminação em relação ao nível de iluminação.

Para o padrão de ocupação é adotado um funcionamento das 8h às 18h, e intervalo entre 12h e 14h, conforme verifica-se em edifícios comerciais de escritório. No que diz respeito à iluminação, adota-se para a potência dissipada o valor de 16W/m², como descrito na norma NBR 16.401-1 (ABNT, 2008) referente a locais como escritórios. O nível de iluminação mínimo para este tipo de ocupação é de 500lux, como prescrito pela norma NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013b) e uso de lâmpadas fluorescentes.

O controle de iluminação adotado é constituído de foto sensor controlado com sistema *dimerizável*, ou seja, possível de regular a intensidade do brilho, cujo estudo preliminar realizado pelos autores, mostra ser o mais eficiente quanto à economia no consumo de iluminação artificial, visto que regulam a intensidade de energia para iluminação conforme a disponibilidade de luz natural e mantém o ambiente com um nível de iluminação constante. Quanto ao comportamento do usuário adota-se um comportamento passivo para o controle de sombreamento. Por fim são especificados

os planos de trabalho que consistem nos sensores (definidos na malha de sensor no *Sketchup* versão 07) que fazem a leitura do comportamento da iluminação.

Após a simulação, o *Daysim* gera um relatório (arquivo no formato .html) com valores métricos para cada ponto da malha de sensores adotada (identificadas por coordenadas - x, y e z). Adota-se a métrica de Autonomia de Luz Natural (*Daylight Autonomy - DA*), que fornece a autonomia da luz diurna, ou seja, a porcentagem de horas ocupadas por ano, nas quais um nível de iluminância pode ser mantido apenas pela iluminação natural, que neste trabalho é de 500 lux, correspondente ao nível mínimo para escritórios, segundo a norma NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013b). O software *Daysim* também gera um arquivo .csv com o perfil de acionamento das lâmpadas e protetores solares. Esse arquivo é utilizado neste trabalho para que seja possível realizar a integração com o software *EnergyPlus*.

Simulação termoenergética integrada

Para a simulação termoenergética utiliza-se o software *EnergyPlus* (versão 8.7) e as configurações adotadas no modelo em estudo são apresentadas neste tópico. Basicamente os dados do modelo da edificação em análise são armazenados no arquivo *IDF* (*Input Data File*), onde são criados os objetos necessários para realização da simulação. É necessário também inserir o arquivo climático *EPW* (*EnergyPlus Weather File*) que contém os dados climáticos horários e sub-horários. Os arquivos de saída são disponíveis em planilhas no formato .csv e página da web no formato .html.

O algoritmo de solução utilizado para o balanço de calor é o CTF (*Conduction Transfer Function*), que considera apenas o calor sensível e, os algoritmos para convecção interna e externa são escolhidos conforme prescrito pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017). Divide-se o intervalo de tempo entre as simulações em quatro, ou seja, a cada 15 minutos. Para os dados de temperatura do solo, utiliza-se os dados de Loura (2006), visto que a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) não especifica como obtê-los.

Materiais e fechamentos

Baseado em materiais comumente utilizados na região de Belo Horizonte/MG, cidade em que modelo de estudo está inserido, assim como disponibilidade e acessibilidade, estes materiais e suas propriedades são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características termofísicas dos materiais utilizados no fechamento vertical da edificação

Material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor Específico (kJ/kg.K)	Absortância
Argamassa de reboco	2	1,15	1.800	1.000	0,6
Concreto	10	1,75	2.200	1.000	0,6
Bloco Celular	1,25	0,16	650	963	0,6
Piso cerâmico	1,27	0,9	1.600	920	0,3
Telha Cerâmica	1	1,05	2.000	920	0,6
Compensado	1,27	0,12	540	1.210	0,3

Fonte: adaptado da norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a).

Rotinas de uso e ocupação e cargas internas

Quanto ao padrão de uso e ocupação para as fontes internas, é considerado o mesmo adotado na simulação de iluminação, visto que ambas se complementam. Logo considera-se apenas os dias úteis (segunda a sexta) com início das atividades às 8h e, término às 18h.

Nas salas de escritórios consideram-se as pessoas utilizando roupas com resistência térmica de 0,57clo de acordo com a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), que corresponde

ao conjunto de roupas leves. Quanto à taxa típica de calor liberado pelas pessoas considera-se o valor de 130W por pessoa, com fração radiante de 0,3, conforme norma NBR 16.401-1 (ABNT, 2008). Quanto à ocupação adota-se o valor de 9 pessoas por zona, baseado no fato de que cada zona analisada possui 70,4m² e assume-se para este cálculo uma pessoa a cada 7m² por posto de trabalho, conforme prescrito na norma NBR 5.665 (ABNT, 1983).

No que diz respeito à iluminação, adota-se para a potência dissipada o valor de 16W/m², conforme a norma NBR 16.401-1 (ABNT, 2008) prescreve para locais como escritórios, onde utiliza-se um nível de iluminação mínimo de 500lux e lâmpadas fluorescentes. Para os equipamentos adota-se, ainda de acordo com a norma NBR 16.401-1 (2008) o valor de 1.215W de densidade típica de cargas de equipamentos, assumindo cada posto de trabalho composto por um computador (65W) e um monitor médio (70W). Nos ambientes não condicionados (instalações sanitárias e circulação) adota-se somente a taxa de iluminação (16W/m²).

Modelagem do Sistema de ar-condicionado

O sistema de ar-condicionado é modelado no *software EnergyPlus* por meio do objeto *HVACTemplate:Zone:Unitary*. Este é um sistema de expansão direta, sendo, neste trabalho, dimensionado para cada zona contendo fachada envidraçada. Como explicado anteriormente, este sistema de expansão direta faz a troca térmica pelo processo de evaporação do fluido refrigerante que ocorre diretamente com o ar do ambiente.

Os valores fixados no termostato, cujo objetivo é definir a temperatura limite em que o ambiente deve permanecer, são de 18°C, como temperatura mínima e, 24°C, como máxima. A taxa de infiltração adotada é de uma renovação de ar por hora (1 ren/h). Tal movimentação de ar ocorre pelo fluxo de ar que vem do exterior para o interior da edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais.

Parâmetros gerais da simulação integrada

Obtém-se, a partir da simulação com o *software Daysim*, o relatório horário do controle da iluminação artificial (arquivo *.CSV), com valores entre 0 (iluminação artificial desligada) e 1 (a iluminação artificial é ligada na potência máxima), para as zonas que possuem o aproveitamento da iluminação natural e utiliza-se o arquivo *.CSV como dado de entrada no *software EnergyPlus*, anexando-o como *schedule* de funcionamento da iluminação artificial no objeto *Schedule:File*. Em seguida, no objeto *Lights* utiliza-se a *Schedule:File* para as zonas simuladas anteriormente.

Elemento de sombreamento

Para estudar a influência do *brise* na iluminação e desempenho térmico da edificação varia-se o tipo de *brise* utilizado (vertical e horizontal), mantendo-se o ângulo de sombreamento de 90°, além de considerar a hipótese das fachadas totalmente expostas, ou seja, sem brises. Os brises são fixados às fachadas sem haver afastamento entre os brises e a fachada, com intuito de impedir que a radiação solar penetre no ambiente por este caminho.

Para abranger todos os modelos e suas variações, são utilizadas nomenclaturas que descrevem o tipo de *brise* e tipo de vidro, mantendo-se constante o tipo de angulação e o afastamento. As nomenclaturas constam de 3 letras e 3 números, como exemplo, o modelo HV1S90, onde a primeira letra se refere ao tipo de *brise* (horizontal, H ou vertical, V), após tem-se o tipo de vidro, podendo ser vidro 1 (V1), vidro 2 (V2), vidro 3 (V3) ou vidro 4 (V4), seguido do valor do ângulo de sombreamento. Neste exemplo, trata-se de um modelo horizontal, fachada oeste, com vidro V1 e angulação de 90°. Para os modelos

sem *brise* a nomenclatura é mais simples, logo tem-se a nomenclatura composta apenas por 3 letras e 1 número, sendo eles o SBV1 (sem *brise* com vidro 1), SBV2 (sem *brise* com vidro 2), SBV3 (sem *brise* com vidro 3) e SBV4 (sem *brise* com vidro 4).

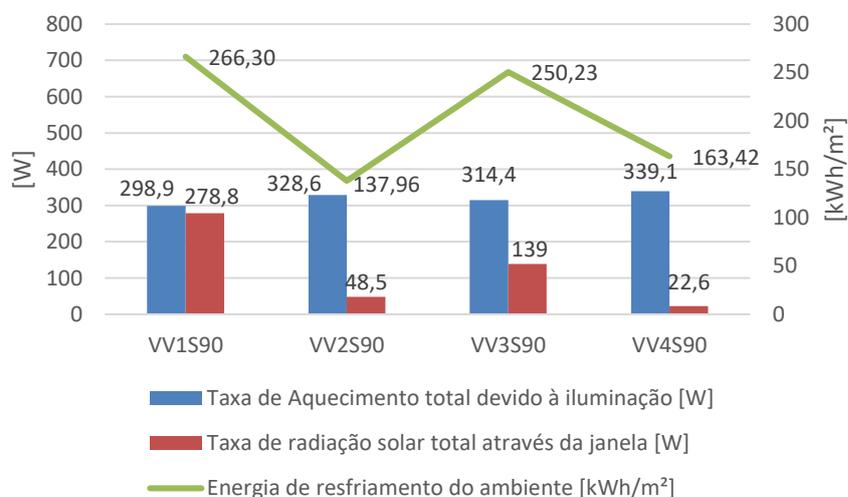
Resultados e discussão

Os resultados são obtidos a partir da simulação integrada entre os softwares *EnergyPlus* e *Daysim*. Essa simulação integrada é possível devido à inserção do relatório gerado pelo *Daysim* na rotina de iluminação usada no *Energyplus*. Este relatório informa os valores horários de ocupação e acionamento de iluminação. O sistema de iluminação utilizado no *Daysim* possui um controle de sensores fotoelétricos dimerizáveis que regulam a intensidade de energia para iluminação conforme disponibilidade de luz natural, mantendo um nível de iluminação constante no ambiente.

Influência do tipo de vidro

Os resultados indicam a influência do tipo de vidro na taxa de aquecimento total devido à iluminação artificial, na taxa de radiação solar total através da janela e na energia de resfriamento do ambiente. Nas Figuras 5 e 6 são mostrados os resultados da variação do tipo de vidro para o *brise* vertical e horizontal, respectivamente. A nomenclatura adotada possui a primeira letra indicando se o *brise* é vertical (V) ou horizontal (H), seguido do tipo de vidro utilizado (vidro V1, V2, V3 ou V4) e, por último o ângulo de sombreamento, neste caso 90° (S90). Como exemplo, tem-se o modelo VV1S90, referente à um *brise* vertical, com vidro V1 e *brise* com angulação de 90°.

Figura 5 - Influência da variação dos vidros para os modelos VV1S90, VV2S90, VV3S90 e VV4S90



Fonte: os autores.

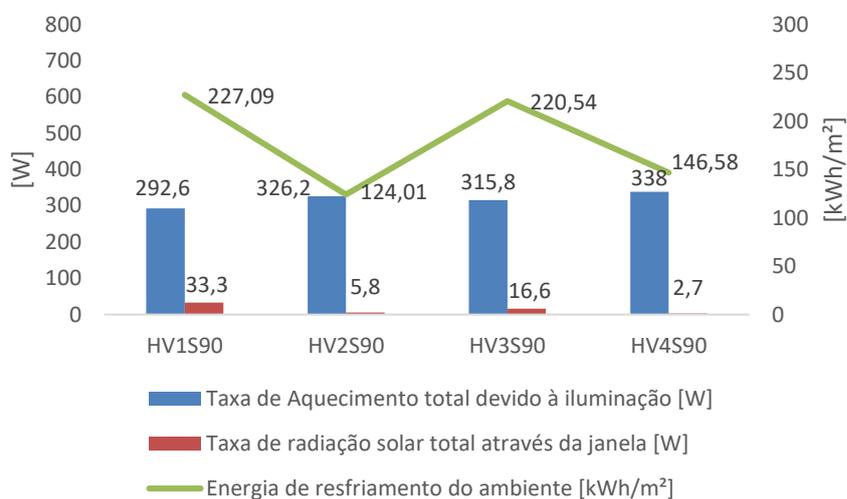
Observa-se que o vidro V1 é o que permite que uma maior taxa de radiação solar entre no ambiente, no valor de 278,8W, seguido dos vidros V3 (139W), V2 (48,5W) e V4 (22,6W). Isto ocorre devido à propriedade de transmitância térmica, em que os vidros com maiores transmitâncias permitem uma maior taxa de radiação solar através da janela. E como observado na Tabela 3, a ordem decrescente de transmitância segue a mesma sequência decrescente de taxa de radiação solar, sendo o vidro V1 (vidro simples) com valor de transmitância igual a 0,837, vidro V2 (vidro laminado na cor verde) com transmitância igual a 0,150, vidro V3 (vidro de proteção solar ou low-e) com transmitância igual a 0,43 e vidro V4 (vidro reflexivo) com transmitância igual a 0,07.

Considerando-se a relação entre taxa de radiação solar transmitida e iluminação natural no ambiente, espera-se que o modelo com maior taxa de radiação (vidro V1), tenha o

menor consumo com iluminação artificial (taxa de aquecimento total devido à iluminação), o que de fato ocorre em todos os modelos. Observa-se que o modelo com vidro V1 possui o maior consumo com energia de resfriamento, o que se espera pois é o modelo que mais recebe radiação solar, ou seja, há um elevado aquecimento no ambiente, necessitando de maior consumo com refrigeração para manter o conforto dos usuários, que, conforme foi modelado no *software EnergyPlus*, deve manter uma temperatura limite de 24°C.

Espera-se que essa relação de taxa de radiação solar e o consumo com o resfriamento ocorra para todos os modelos, o que de fato ocorre, exceto para o modelo com vidro V2 (VV2S90). O modelo com vidro V2 possui a terceira maior taxa de radiação solar transmitida, mas não possui o terceiro maior consumo com refrigeração (que neste caso é do vidro V4). Isto pode ser explicado devido ao vidro V2 ser laminado, ou seja, composto por duas lâminas intercaladas pelo PBV (polivinil butiral), o que faz com que possua a maior espessura entre os vidros, no valor de 8mm. Logo, devido à sua espessura e propriedades, este vidro permite que a iluminação natural entre no ambiente ao mesmo tempo em que impede a entrada de calor excessivo ao ambiente.

Figura 6 - Influência da variação dos vidros para os modelos HV1S90, HV2S90, HV3S90 e HV4S90



Fonte: os autores.

Para os modelos de *brises* horizontais, ocorre o mesmo comportamento observado para os *brises* verticais. Conforme mostrado na Figura 6, o modelo com vidro V1 possui maior taxa de radiação solar através da janela, com conseqüente maior consumo com energia de resfriamento e menor consumo com iluminação natural. Esse comportamento está relacionado com a transmitância dos vidros, onde se observa que vidro com maior transmitância possui uma maior taxa de radiação, o que significa maior aproveitamento de iluminação natural e conseqüente menor consumo com iluminação artificial e, um maior aquecimento no ambiente o que gera um maior consumo com resfriamento. O modelo com vidro V2 novamente não segue o padrão dos demais na relação entre taxa de radiação solar e consumo com resfriamento.

Quando se compara os resultados entre os modelos de *brises* (vertical e horizontal) percebe-se que os modelos com *brise* vertical possuem valores bem mais elevados de taxa de radiação solar do que os modelos com *brise* horizontal. Considerando o correto dimensionamento dos *brises* e, que o bloqueio da radiação excessiva é realizado, essa elevada taxa de radiação solar é vantajosa, pois o aproveitamento da iluminação natural é importante para o rendimento e até mesmo saúde dos usuários, além de um consumo

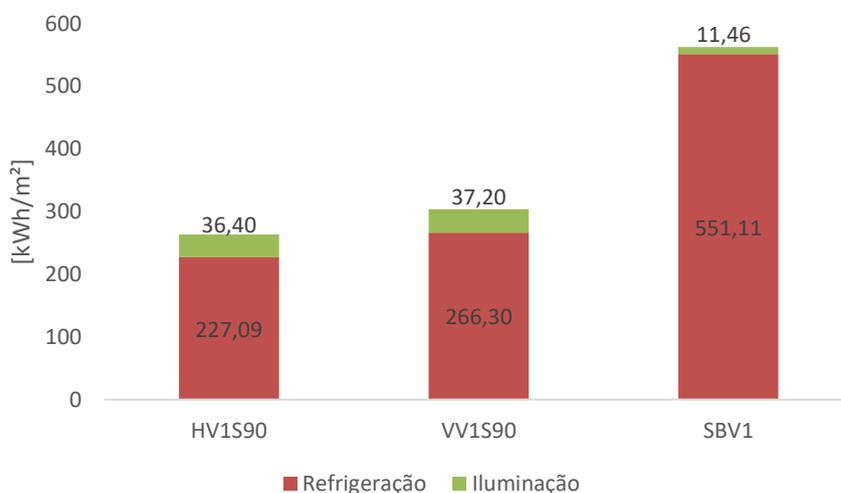
menor com iluminação artificial. Logo, ao analisar os modelos ideais, tem-se o modelo horizontal HV1S90, com taxa de radiação solar igual a 33,3W e o modelo vertical VV1S90, com taxa de radiação solar igual a 278,8W.

Nas condições analisadas, o controle solar a partir do uso de dispositivo de sombreamento apresenta resultados substancialmente melhores do que o controle solar a partir das propriedades ópticas do vidro, resultados que se assemelham com os obtidos por Fontenelle e Bastos (2014) e Lima e Caram (2015).

Influência do tipo de brise

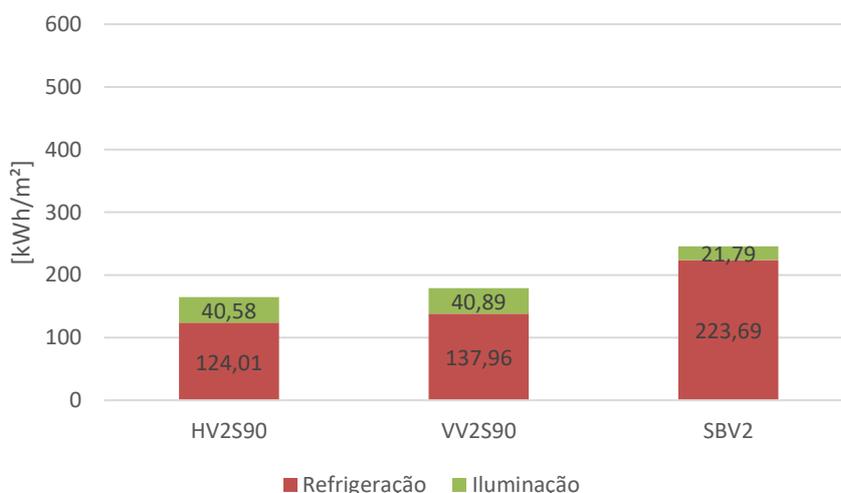
Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 tem-se os resultados da influência do tipo de brise no consumo da refrigeração e iluminação nos modelos com vidro V1, vidro V2, vidro V3 e vidro V4. Cada gráfico compara três modelos (sem brise, com brise vertical e com brise horizontal) informando os valores anuais de consumo.

Figura 7 - Consumo de iluminação e refrigeração devido à taxa de radiação transmitida nos modelos HV1S90, VV1S90, SBV1



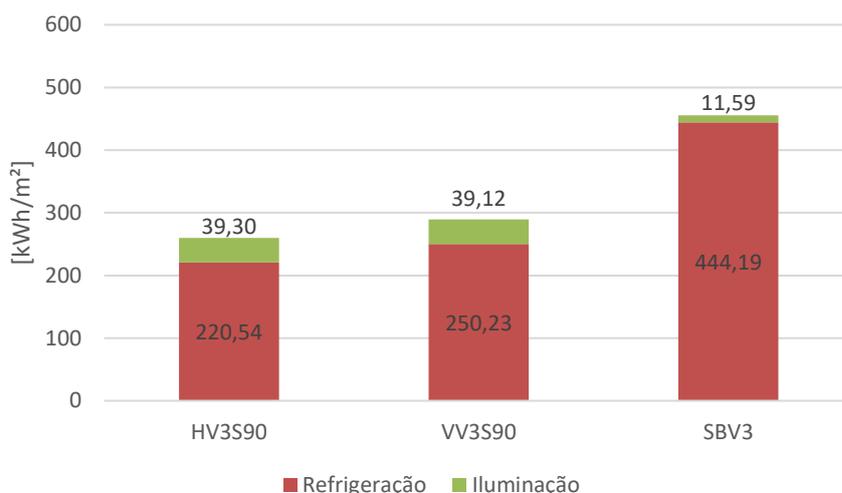
Fonte: os autores.

Figura 8 - Consumo de iluminação e refrigeração devido à taxa de radiação transmitida nos modelos HV2S90, VV2S90, SBV2



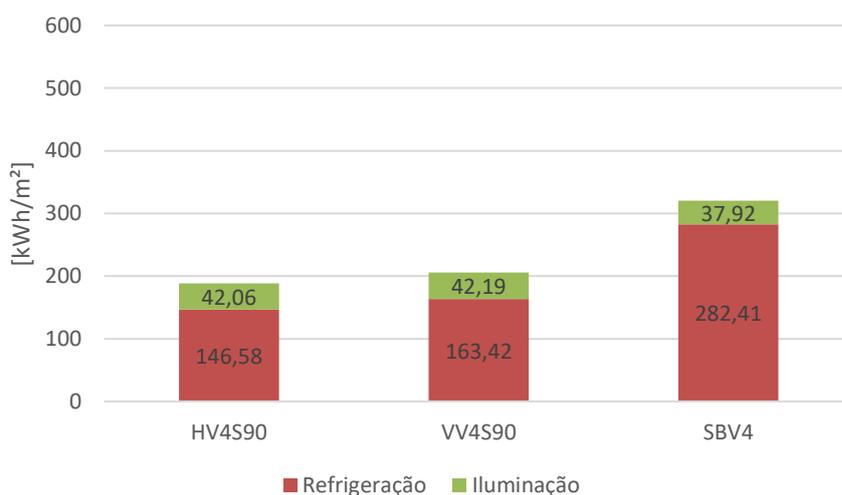
Fonte: os autores.

Figura 9 - Consumo de iluminação e refrigeração devido à taxa de radiação transmitida nos modelos HV3S90, VV3S90, SBV3



Fonte: os autores.

Figura 10 - Consumo de iluminação e refrigeração devido à taxa de radiação transmitida nos modelos HV4S90, VV4S90, SBV4



Fonte: os autores.

Ao analisar todos os modelos, observa-se que aqueles sem *brise* (SBV1, SBV2, SBV3 e SBV4) são os que possuem o maior consumo com refrigeração e o menor consumo com iluminação. Isto é esperado pois as fachadas envidraçadas estão totalmente expostas à radiação solar, ou seja, recebem maior taxa de radiação proporcionando um maior aproveitamento da luz natural e conseqüente redução do consumo com iluminação artificial e, em contrapartida, por receberem excessiva taxa de radiação há aumento da temperatura dos ambientes, o que exige um maior consumo com refrigeração para manter o ambiente na temperatura desejada, conforme estipulado no *software EnergyPlus*, de 24°C como temperatura limite.

Entre os modelos horizontais e verticais, independentemente do tipo de vidro utilizado, percebe-se que os modelos com *brises* verticais possuem maior consumo com refrigeração, uma média de 13,9% a mais que os modelos horizontais e, quanto ao consumo com iluminação, possuem um consumo maior também, exceto no modelo com vidro V3, em que o consumo com iluminação nos modelos verticais é mais baixo, mas o valor é bem próximo. Dentre todos os modelos, analisando-se o modelo

horizontal que possui um menor consumo total, observa-se que o modelo HV2S90 é o que possui o menor consumo no valor de 164,6kWh/m² e, o modelo vertical é o modelo VV2S90, com valor de 178,9kWh/m², ou seja, ambos com o vidro V2.

Análise do conforto dos usuários

Após realizada a simulação computacional dos modelos analisando-se a influência do tipo de vidro utilizado e dos modelos analisando-se a influência do tipo de *brise utilizado* (vertical e horizontal), são obtidos os modelos com melhores resultados para cada uma dessas análises. Ou seja, não há um único modelo ideal que contemple todos esses parâmetros, como, por exemplo, um modelo que tenha a maior taxa de radiação solar através das janelas e um menor consumo com iluminação artificial e menor consumo com resfriamento. Na Tabela 6 tem-se o resumo dos melhores modelos considerando-se o *brise vertical* e o *brise horizontal*.

Tabela 6 - Melhores resultados dos modelos

Critério	Brise Vertical	Valor	Brise Horizontal	Valor
Consumo total (kWh/m ²)	VV2S90	178,9	HV2S90	164,6
Taxa de radiação solar (W)	VV1S90	278,8	HV1S90	33,3

Fonte: os autores.

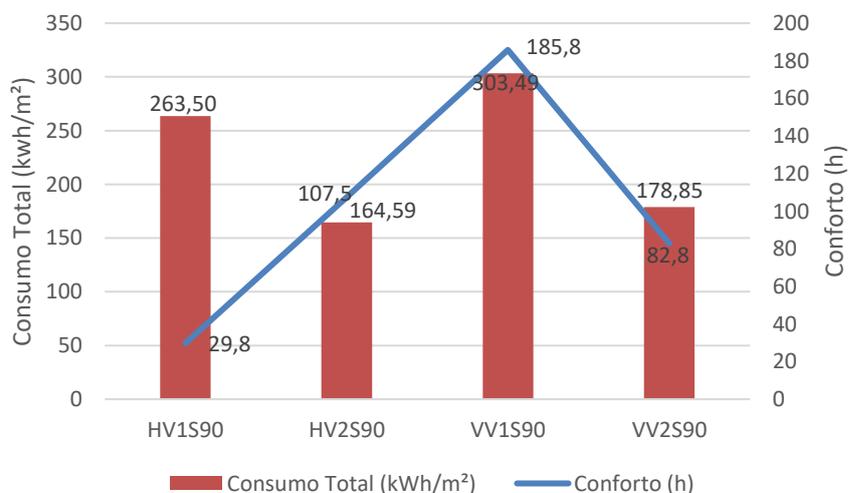
Para definir um único modelo para a fachada oeste, possibilitando servir como base de dados para instruir novos projetos de sombreamento em edificações em regiões de clima tropical, que sejam eficazes trazendo conforto aos usuários e uma eficiência energética à edificação, insere-se o critério conforto térmico para concluir essa análise. Feita a análise do conforto térmico dos usuários, chega-se aos valores conforme mostrados na Tabela 7. Na Figura 11 tem-se o gráfico mostrando as horas de conforto e consumo total destes modelos.

Tabela 7 - Consumo total, taxa de radiação solar e horas de conforto dos melhores modelos

Modelo	Conforto (h)	Consumo Total (kWh/m ²)	Taxa Radiação solar (W)
HV1S90	29,8	263,5	33,3
HV2S90	107,5	164,6	5,8
VV1S90	185,8	303,5	278,8
VV2S90	82,8	178,9	48,5

Fonte: os autores.

Figura 11 - Consumo x Conforto



Fonte: os autores.

Conforme visto na Tabela 7, os modelos HV2S90 e VV2S90 são os melhores modelos analisando o critério consumo total, porém são os que possuem menores taxas de radiação. O inverso ocorre com os modelos HV1S90 e VV1S90. Logo, ao analisar o conforto, percebe-se que os modelos HV2S90 e VV1S90 são os que possuem mais horas de conforto, nos valores de 107,5h e 185,8h respectivamente. Xue, Mak e Huang (2016) propõem que um projeto definido como energeticamente eficiente deve assegurar um nível satisfatório de iluminação natural, sem limitar-se apenas à redução do consumo de energia. Sendo assim, visando o conforto dos usuários, analisa-se os resultados mostrados na Figura 11 e na Tabela 7 e, observa-se que o modelo HV2S90 se apresenta como melhor opção, já que possui o menor consumo, no valor de 164,6kWh/m² (redução de 46% quando comparado ao modelo de maior consumo) e apresenta o segundo melhor resultado quanto às horas de conforto.

Uma observação é importante, pois esse modelo é o que possui menor taxa de radiação solar e o modelo que possui mais horas de conforto é o que possui maior taxa de radiação. O que diferencia os modelos HV2S90 e VV1S90 é justamente o tipo de vidro, pois o vidro V2, por ser laminado, possui a maior espessura devido à sua dupla camada de vidro intercaladas pelo PVB (polivinil butiral), ou seja, ele permite que a luz natural entre no ambiente, ao mesmo tempo em que barra o calor da radiação. Isso fica evidente quando se compara dois modelos com mesmo tipo de brise e diferente vidro, como o HV1S90 que consome 227,09kWh/m² com refrigeração e 36,4kWh/m² com iluminação artificial, ao ponto que o modelo HV2S90 consome 124,01kWh/m² com refrigeração e 40,58kWh/m² com iluminação. Veja como os valores com refrigeração são discrepantes e os de iluminação são similares.

Conclusão

A pesquisa desenvolvida, com o intuito de estudar o comportamento de uma edificação diante do uso de protetores solares em edificações comerciais com fachadas envidraçadas na cidade de Belo Horizonte/MG, possibilita analisar a influência de cada elemento que compõe o sistema envolvendo os *brises-soleils*. As aberturas com grandes dimensões, características destes tipos de edificações permitem a entrada de luz solar, o que possibilita ao usuário ter a percepção do período do dia, da condição climática no momento e orientação espacial, o que aumenta o interesse e estimulação do usuário. Demonstra-se nesse estudo a relação entre os tipos de vidros, que influencia diretamente no recebimento de luz no ambiente, resfriamento e sombreamento, com foco em aumentar a qualidade visual a partir de redução de ofuscamento e melhoria no desempenho térmico e energético pela eficiência desses sistemas.

Salienta-se a importância do correto dimensionamento dos *brises*, com base na latitude do modelo a ser estudado e horários em que se deseja o bloqueio da radiação excessiva e prejudicial, permitindo a passagem de iluminação natural suficiente para que o usuário tenha a percepção do clima externo e aproveite dos benefícios desse tipo de iluminação. E deve-se dar muita atenção quanto ao tipo de vidro escolhido, visto que em edifícios comerciais percebe-se forte tendência e utilização de fachadas totalmente envidraçadas, o que faz com que o interior do ambiente fique muito exposto às radiações solares, que trazem como consequência calor e excessiva iluminação caso não haja elementos de proteção solar.

Ao variar os tipos de vidros percebe-se que o vidro V1 possui maior taxa de radiação solar, o que reforça a observação feita quando analisado seu comportamento, relacionado à influência da angulação. Essa taxa de radiação solar tem seu comportamento (aumento e redução) conforme o valor da transmitância dos vidros. Logo, como os vidros têm uma transmitância decrescente, a partir do vidro V1, seguido

do vidro V3, V2 e V4, a taxa de radiação solar tende a ter essa mesma ordem decrescente. Espera-se que a relação entre taxa de aquecimento devido à iluminação, radiação solar e energia de resfriamento siga a proporção da ordem da transmitância, o que de fato ocorre na maioria dos modelos analisados.

Ao analisar os modelos comparando-se o tipo de *brise* (horizontal, vertical e sem *brise*) escolhe-se como melhores opções aqueles com menor consumo total (soma do consumo com iluminação e refrigeração). Observa-se que os modelos sem *brise* em todos os casos possuem maior consumo com refrigeração e menor consumo com iluminação e, entre os modelos horizontais e verticais, ao se comparar mesmo tipo de vidro entre *brises* diferentes (vertical e horizontal), os *brises* verticais são os que possuem maior consumo total (refrigeração e iluminação). Isto ocorre pois os *brises* verticais possuem maior taxa de radiação solar, o que é vantajoso já que a radiação excessiva já está bloqueada.

A partir das análises feitas sob o ponto de vista da influência do tipo de vidro e tipo de *brise*, chega-se a vários modelos ideais que contemplam cada um desses critérios e, para chegar a apenas um modelo para servir como base de dados a projetistas e construtores, baseia-se também no conforto dos usuários. Esse estudo realizado envolve complexidade que seria inviável a projetistas de edificações no país, visando, a partir das simulações computacionais realizadas, ampliar e difundir esse conhecimento. Os resultados indicam que o modelo HV2S90 apresenta-se como mais adequado, visto que possui o menor consumo e uma quantidade expressiva de horas de conforto. Dessa forma, busca-se alinhar uma combinação de proteção da radiação solar através das janelas, mantendo-se o bem-estar dos usuários alinhado à uma edificação com bom desempenho termoenergético e lumínico. Saliencia-se a importância das propriedades térmicas e ópticas do vidro, que representam elevada influência na incidência da radiação solar no ambiente, além de apresentarem uma característica conflituosa para o projeto, uma vez que, o vidro deve proteger a edificação da radiação solar e ao mesmo tempo permitir a entrada de boa parte do espectro de luz visível.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, Brasil.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição, Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-1**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.665**: Cálculo do tráfego nos elevadores, Rio de Janeiro, 1983.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.199**: Projeto, execução e aplicação de vidros na construção civil, Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/CIE 8.995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior, Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005a.

ALVES, T.; MACHADO, L.; SOUZA, R. G.; WILDE, P. de. A methodology for estimating office building energy use baselines by means of land use legislation and reference buildings. **Energy and Buildings**, v.143, p. 100-113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.017>.

ANSI/ASHRAE. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta, 2017.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento Bioclimático e Arquitetura Brasileira: qualidade do ambiente construído.** 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/78378>. Acesso em: 20 out. 2022.

BEKKOUICHE, S. M. E. A; BENOUAZ, T; CHERIER, M. K; HAMDANI, M; YAICHE, R. M; KHANNICHE, R. Influence of Building Orientation on internal temperature in saharian climates, building located in Ghardaia region (Algeria). **Thermal Science**, v. 2, n. 17, p. 349-364, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI110121112B>.

BOURGEOIS, D.; REINHART, C.; MACDONALD, I. Adding Advanced Behavioral Model in Whole Building Energy Simulation: A Study on the Total Energy Impact of Manual and Automated Lighting Control. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 814-823, July 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.002>.

CALAMA-GONZÁLEZ, C. M.; SUÁREZ, R.; LEÓN-RODRÍGUEZ, Á. L. Thermal and lighting consumption savings in classrooms retrofitted with shading devices in a hot climate. **Energies**, v. 11, n. 10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11102790>.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/11790/8471>. Acesso em: 20 out. 2022.

CARLO, J. C.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação Natural Para Redução do Consumo de Energia de Edificações de Escritório Aplicando Propostas de Eficiência Energética Para o Código de Obras do Recife. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2004.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste.** 2006. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2006.394917>.

CB3E. CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil.** Florianópolis: UFSC, 2015. 7 p. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/publicacoes>. Acesso em: 27 abril 2020.

CRAWLEY, B. D. B.; PEDERSEN, C. O.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C. EnergyPlus: Energy Simulation Program. **Ashrae Journal**, v. 42, p. 49-56, Apr. 2000.

CRUZ E SILVA, V. S. **A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios.** 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/10396>. Acesso em: 20 nov. 2020.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, dez. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400010>.

FONTENELLE, M. R.; BASTOS, L. E. G. The multicriteria approach in the Architecture Conception: defining windows for an office building in Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 74, p. 96-105, Apr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.005>.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GHULE, R.; TAYADE, N.; PADVI, S.; NAGOTI, H.; NARWADE, D.; HIRAY, P. Sustainable Building. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v.5, n. 1, p. 1179-1183. 2018. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I1251.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2016. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>. Acesso em: 11 set. 2018.

KAVOUSIAN, A.; RAJAGOPAL, R.; FISCHER, M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. **Energy**, v. 55, p. 184-194, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.

LAZZARIS, M.; CARVALHO, C. R.; GALAFASSI, M. Análise da influência de diferentes modelos de elementos de sombreamento no consumo energético de ambientes hipotéticos de uso comercial. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: MUDANÇAS, 11.; João Pessoa, 2019. **Anais [...]**. João Pessoa: ANTAC, 2019.

LIMA, K. M.; CARAM, R. M. Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 117-133, jul./set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300030>.

LOURA, R. M. **Procedimento de identificação de variáveis e análise de sua pertinência em avaliações termo energéticas de edificações**. 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MARCONDES CAVALERI, M. P.; CUNHA, G. R. M.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 1, p. 19-34, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650725>.

MELLO, M. B. **Análise da influência do tipo de vidro na eficiência energética da envoltória de edificações comerciais na cidade de Passo Fundo - RS**. 2019. 240 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola Politécnica, Faculdade Meridional - IMED, Passo Fundo, 2019.

OLIVEIRA, A. G. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente e úmido**. 2006. 201 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12295>. Acesso em 20 março de 2018.

OUAHRANI, D.; TOUMA, A. A. Selection of slat separation-to-width ratio of brise-soleil shading considering energy savings, CO2 emissions and visual comfort: a case study in Qatar. **Energy & Building**, v. 165, p. 440-450, Apr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.053>.

PAGEL, E. C.; GOUVEIA, G. L. O.; MARTINS, R. S.; CRUZ, M. V. G. Ventilação natural e desempenho térmico sob diferentes configurações de aberturas em uma sala de aula. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 133-157, jul./set. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000300612>.

PEREIRA, F. O. R. **Conforto Ambiental: Iluminação**. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 120f.

PYRGOU, A.; CASTALDO, V. L.; PISELLO, A. L.; COTANA, F.; SANTAMOURIS, M. Differentiating responses of weatherfiles and local climate change to explain variations in Building thermal energy performance simulations. **Solar Energy**, v. 153, p. 224-237, Sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.040>.

QUEIROZ, N.; WESTPHAL, F. S.; PEREIRA, F. O. R. A Influência dos elementos de sombreamento e vidros no consumo de energia em climatização e iluminação em edifícios de escritórios. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., João Pessoa, 2019. **Anais [...]**. João Pessoa: ANTAC, 2019.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Cambridge: Harvard University, 2010.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **Leukos – The Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 3, n. 1, p. 7-31, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>.

SALDANHA, A. M. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edifício de Escritório: Análise do Uso de Fachadas de Vidro Diretamente Expostas à Radiação Solar na Cidade de Cuiabá – MT**. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012. Disponível em: <http://ri.ufmt.br/handle/1/1660>. Acesso em: 20 out. 2021.

SANTIN, O. G.; ITARD, L.; VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 11, p. 1223–1232, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.002>.

SILVA, J. S.; AMORIM, C. N. D. O Brise-soleil como elemento de controle solar: Estudo de caso de um edifício no Plano Piloto de Brasília. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 7, São Paulo, 2008. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2008.

STEFFY, G. R. **Architectural lighting design**. New York: Wiley, 1990, 216 p.

SU, X.; ZHANG, X. Environmental performance optimization of window–wall ratio for different window type in hot summer and cold winter zone in China based on life cycle assessment, **Energy Buildings**, v. 42, n. 2, p. 198–202, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.015>.

TOUMA, A. Al.; GHALI, K.; GHADAR, N.; ISMAI, N. Solar chimney integrated with passive evaporative cooler applied on glazing surfaces. **Energy**, v. 115, part 1, p. 169–179, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.020>.

WESTPHAL, F. S. Avaliação de desempenho térmico de fachadas com vidros de controle solar em um edifício de escritórios. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., Porto Alegre, 2019. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/379>. Acesso em: 01 ago. 2021.

XUE, P.; MAK, C. M.; HUANG, Y. Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 117, p. 99-108, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.026>.

1 Luma de Souza Dias

Engenheira Civil. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Endereço postal: Universidade Federal de Ouro Preto. Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto-MG, Brasil, 35400-000.

2 Henor Artur de Souza

Engenheiro Mecânico. Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor titular aposentado da Universidade Federal de Ouro Preto. Endereço Postal: Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto-MG, Brasil, 35400-000.

3 Adriano Pinto Gomes

Arquiteto e Urbanista. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Professor do

Instituto Federal de Minas Gerais-Campus Ouro Preto. Endereço postal: Rua Pandiá Calógeras, 898, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto-MG, Brasil, 35400-000.

4 Lucas Fonseca Caetano

Engenheiro Civil. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Professor substituto da Universidade Federal de Ouro Preto. Endereço postal: Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto-MG, Brasil, 35400-000.

5 Bruno Henrique Lourenço Camargos

Engenheiro Civil. Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Professor na Universidade do Estado de Minas Gerais. Endereço postal: -Campus Divinópolis. Avenida Paraná, 3001, Jardim Belvedere I, Divinópolis-MG, 35501-170.

6 Arlindo Tribess

Engenheiro Mecânico. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo. Professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Avenida Professor Mello Moraes, 2231, Butantã, São Paulo-SP, 05508-30.