XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DA ÁREA ENVIDRAÇADA E SUA INFLUÊNCIA PARA O CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS EM BRASÍLIA – DF

Paulo Cabral (1); Thiago Góes (2) Cláudia Amorim (3) Caio Frederico e Silva (4)
(1) Mestre, arquiteto, pauloneto2101@gmail.com, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, 61 99983-5080
(2) Doutorando, arquiteto, tgoes@hotmail.com, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, 61 98322-8564
(3) Doutora, Professora, clamorim@unb.br, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, 61 98122-2576
(4) Doutor, Professor, caiosilva@unb.br, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, 61 98157-5708

RESUMO
A incidência de radiação solar direta nas aberturas envidraçadas dos edifícios é uma das principais causas de desconforto térmico em climas quentes, como em grande parte do território brasileiro. O objetivo deste trabalho é analisar a influência da taxa de envidraçamento no conforto térmico de ambientes residenciais no contexto climático de Brasília, Distrito Federal. Investiga-se a influência dos parâmetros de taxa de envidraçamento, orientação e emprego de sombreamento no conforto térmico. A esse fim, realiza-se um estudo paramétrico por meio de uma análise termoenergética com o *EnergyPlus* (versão 8.5) com auxílio da interface gráfica *Design Builder* (versão 5.01.021) de um módulo correspondente a um ambiente residencial de permanência prolongada. Utiliza-se o modelo adaptativo de conforto e o método de graus-hora e posterior sintetização em percentual de horas ocupadas em conforto (POC), assim como novo indicador, o iPOC, que agrupa os resultados do POC em níveis classificatórios, um índice de porcentagem de horas de conforto. Os resultados destacam uma relação inversamente proporcional entre a taxa de envidraçamento e o conforto térmico, com as orientações sul e nordeste com a maior e menor percentual de horas ocupadas em conforto, respectivamente. Para melhor compreensão dos resultados, desenvolvem-se duas ferramentas gráficas, um diagrama e uma matriz, que copilam todos os resultados em um único elemento e auxiliam os projetistas na leitura dos resultados e na tomada de decisão de projeto desde as etapas inicias.
Palavras-chaves: Conforto térmico, Simulação termoenergética, Envidraçamento, Estudo paramétrico, Visualização.

ABSTRACT
Direct solar radiation in buildings glazed openings is one of the major causes of thermal discomfort in hot climates like Brazilian's. This paper objective is to analyze the glazed opening area influence on the thermal comfort of residential dwellings in the climatic context of Brasília, Federal District of Brazil. The inquiry investigates the parameter influence of the glazed area, orientation, and shading. To this end, it is carried a parametric study by means of thermoenergetic analysis with EnergyPlus aided by Design Builder of a long-term stay residential dwelling. The adaptative comfort model and the degree-hour method are adopted and later the percentage of occupied comfort hours (POC) are calculated, as well as a new indicator named iPOC, which ensembles POC results in classificatory levels, a percentage of hours of confort. The results show an inverse correlation between glazed area and thermal comfort, and also indicate the south and northeast orientation as the highest and lowest POCs, respectively. For better results comprehension it was developed two graphical tools, a diagram, and a matrix, which compile all results in an only gadget that can aid results understanding and help architectural decision making early on in the design.
Keywords: Thermal comfort, Thermoenergetic Simulation, Glazed, Parametric study, Visualization.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades termofísicas da envoltória dos edifícios têm implicações diretas no seu desempenho térmico (AZARNEJAD; MAHDAVI, 2015) e consequentemente no conforto térmico do usuário. Em climas quentes, o calor proveniente da fachada é responsável por até 40% das cargas de refrigeração nos edifícios (HAMZA, 2004).

Jaber e Ajib (2011) em estudo sobre as ideais dimensões e tipo de aberturas colocam que embora cerca de um terço da transmissão total de calor de edifícios ocorra através de janelas, há poucos estudos publicados sobre a otimização do envidraçamento em edifícios. No estudo, que inclui simulações em três diferentes climas, Amã, Ácaba (na Jordânia) e Berlim (Alemanha), os autores concluem que o ganho de energia anual é linear conforme a área das janelas aumenta.

As aberturas envidraçadas são elementos centrais no projeto arquitetônico e desde o início da modernidade têm ganhado cada vez mais destaque. Se por um lado, as aberturas envidraçadas possuem grande apelo estético, também há grande preocupação em razão da sua influência no consumo de energia nas edificações por afetar diretamente o dimensionamento dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar (MARINOSKI *et al.*, 2005). Quanto à carga térmica de resfriamento proveniente das aberturas envidraçadas, esta não depende apenas das características térmicas do vidro e dos componentes da esquadria, mas também do clima local, da orientação e dos componentes da envoltória (SINGH; GAR, 2009).

Segundo Corbella e Yannas (2009), o controle solar das aberturas é indispensável, qualquer que seja a sua orientação, e deve combinar-se com outras estratégias, como a correta escolha da orientação e do cuidado com áreas envidraçadas. Compreender a influência da abertura no desconforto térmico pode colaborar na elaboração de projetos adequados do ponto de vista do conforto térmico. A análise desse componente da envoltória é um dos caminhos para compreender os efeitos do projeto no conforto térmico dos ambientes. É papel do arquiteto dimensionar corretamente as aberturas a partir do conhecimento dos conceitos de transmissão de calor, e do entendimento de que são pelos fechamentos transparentes as principais trocas térmicas de uma edificação (LAMBERTS *et al.,* 2014).

Vários estudos, Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005), Bisinotto (2012), Sales, Akutsu e Brito (2014) utilizaram como uma das variáveis as dimensões das aberturas para observar o comportamento energético dos ambientes. Esses estudos analisam proporções entre as aberturas e a área de fachada e zonas bioclimáticas distintas das de Brasília.

O estudo de Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) avalia as dimensões de abertura preconizadas pelo *Code of practice of daylighting* (BSI, 1992) para melhor vista exterior, comparando com a área ideal de janela (AIJ), que corresponde à área na qual o consumo de energia do ambiente analisado é mínimo.

Bisinotto (2012) identificou a influência da porcentagem da área de janela no consumo de energia, determinando, especificamente quanto à variável PAF a importância relativa dessa variável para o consumo energético em porcentagem, quando comparada a outras variáveis, como o volume, o potencial instalado, a ocupação, a cor da fachada e a orientação.

Sales, Akutsu e Brito (2014) verificaram o aumento de até 1°C na temperatura interna a cada 5% de acréscimo de área envidraçada, na edificação de baixa inércia térmica, a depender das condições climáticas do local em que a edificação está implantada.

Ainda na elaboração do estudo preliminar, várias ferramentas podem ser utilizadas para que se avaliem as condições básicas de orientação, clima e desempenho térmico. As ferramentas podem ser simplificadas no formato das cartas solares e dos cálculos prescritivos, assim como ferramentas mais sofisticadas, por exemplo, *softwares* de simulação computacional.

Os programas de simulação computacional, mais especificadamente de eficiência energética, permitem verificar o impacto no conforto térmico, no consumo de energia da edificação e nos custos da energia, com diferentes formas de ocupação (OLIVEIRA; CUNHA, 2016). Por meio da simulação computacional é possível obter um grande volume de dados, variando a proporção das áreas de abertura em relação à área de piso de determinado ambiente.

Com custo reduzido, sobretudo se comparado aos valores e prazos de construção de um edifício ou mesmo de diversos protótipos, os *softwares* de simulação auxiliam na elaboração de projetos eficientes, de forma econômica, podendo ser utilizados desde a concepção do estudo preliminar. Neste sentido, avaliação de modelos virtuais permite alternar as variáveis de forma rápida, variando o desenho arquitetônico, os componentes da envoltória, o sistema de iluminação e os sistemas de ar condicionado, como propõe Mendes (2005).

O volume de dados obtido com as simulações pressupõe sua sistematização, e gráficos, diagramas e matrizes que compilam grande número de informação podem ser elaborados de forma a disseminar essas informações e facilitar o entendimento e a utilização dos conhecimentos obtidos, especialmente na fase de

estudo preliminar, sobretudo para projetos de habitações de interesse social, para as quais os recursos na concepção de fachadas são restritos em razão do custo limitado para execução das edificações.

2. OBJETIVO

Analisar a influência da área envidraçada de abertura no percentual de horas em conforto térmico dos usuários de ambientes residenciais no contexto climático de Brasília, Distrito Federal, Brasil.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos foram separados em quatro etapas: definição e caracterização modelo, definição dos cenários avaliados, caracterização da simulação e análise dos dados.

3.1. Definição e caracterização do modelo

As dimensões do modelo utilizado neste trabalho têm como referência o que é colocado no Código de Obras e Edificações de Brasília, que exige como menor área para dormitório 8 m² com dimensão mínima de 2,4 m. Outros estudos determinam dimensões especificas para obtenção de resultados parametrizados, similarmente a Ghisi *et al.* (2002) que utilizam uma proporção de 1,5:1. A partir disso, define-se as dimensões para o ambiente de 2,4 m x 3,6 m com área total de 8,64 m² (conforme Figura 1). Utiliza-se o pé-direito de 2,5 m (Figura 1), dimensão mínima indicada pelo Código de Obras e Edificações de Brasília.

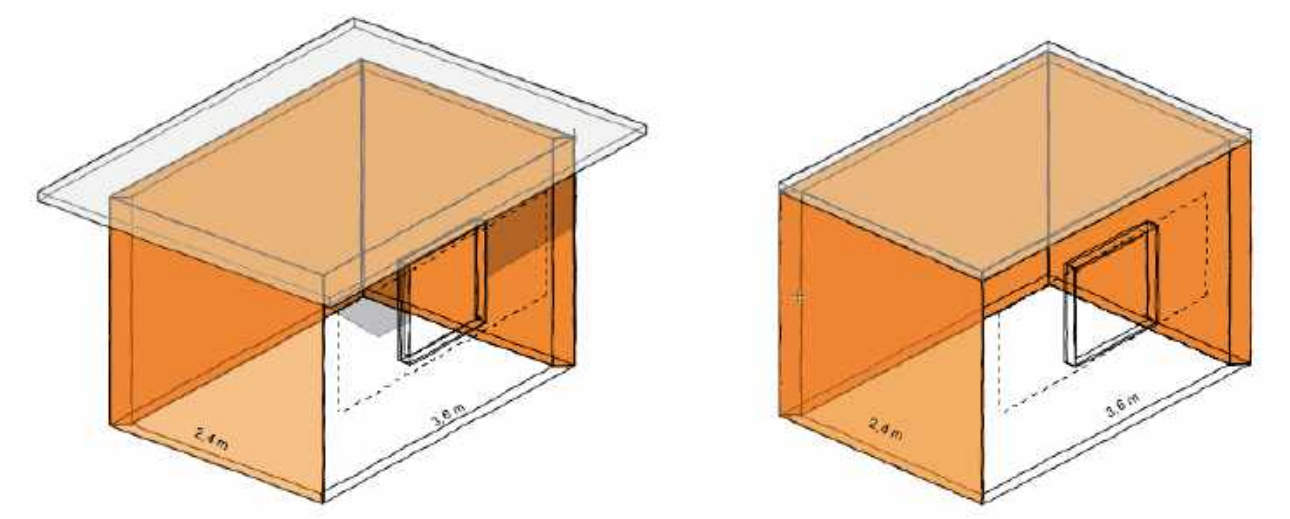


Figura 1 – Croqui do módulo com sombreamento (1a à esquerda) e croqui do módulo sem sombreamento (1b à direita).

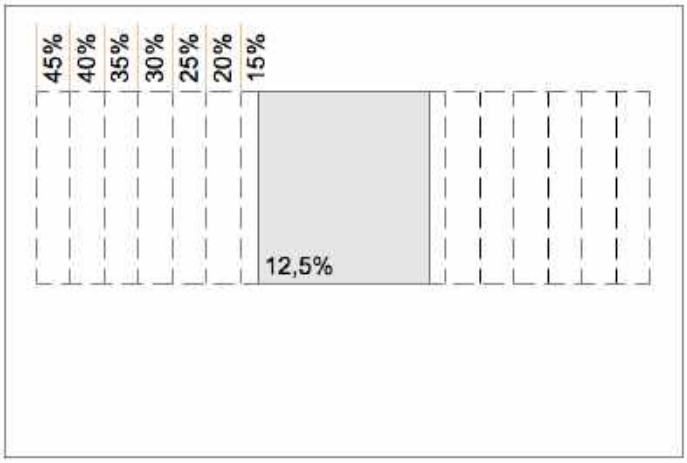


Figura 2 – Esquema de alteração das dimensões das aberturas na fachada.

O sistema construtivo utilizado na envoltória segue o preconizado pela ABNT NBR 15.575/2013 para atendimento do nível mínimo, conforme indicado na Tabela 1, com características termofísicas extraídas da Portaria Inmetro n° 50/2013. Por avaliar somente um cômodo inserido em uma edificação, que poderia pertencer a uma edificação unifamiliar como também para uma multifamiliar – nesse caso como

pavimento de cobertura, as paredes em laranja foram determinadas adiabáticas, como pode ser notado na Figura 1, e o piso, em contato com o solo.

Tabela 1 Caracterização termofísica dos elementos da envoltória

	materiais	dimensões	absortância	U(W/m2K)	CT(KJ/m2K)
parede	pintura externa		0,6	2,97	159
	argamassa externa	2,5 cm			
	bloco de concreto	9x19x39 cm			
	gesso interno	0,2 cm			
vidro	simples incolor	0,6 cm		6,121	
	Fator solar	0,775			
	Transmissão luminosa	0,881			
cobertura	telha de fibrocimento	0,6 mm	0,65	2,06	233
	câmara de ar	> 5 cm			
	laje maciça	10 cm			

3.2. Cenários avaliados

No presente trabalho, definem-se os cenários a partir da combinação de 3 parâmetros distintos: taxa de envidraçamento, orientação e sombreamento. São 8 alternativas de taxa de envidraçamento, 8 orientações e duas de sombreamento, que totalizam 128 cenários.

Para a definição das diferentes taxas de envidraçamento, utilizam-se os valores indicados no Código de Obras e Edificações de Brasília, também utilizados como referência para na NBR ABNT 15.575/2013, que são dados por meio da Porcentagem da Razão de Área de Abertura pela Área de Piso (PRAP), colaborando com o projetista quando do lançamento inicial do projeto para o cumprimento das normas locais. Os valores utilizados são 12,5% e 15% a 45% em intervalos de 5%. A abertura possui peitoril de 1 m em relação ao piso e 1,1 m de altura, com variação somente da largura.

Quanto às orientações utilizam-se as quatro orientações cardeais (norte, sul, leste e oeste) e as quatro colaterais (noroeste, nordeste, sudeste e sudoeste).

Já a respeito da utilização do sombreamento, foram simuladas duas alternativas: uma sem sombreamento e outra com sombreamento. A opção com sombreamento corresponde à utilização de um beiral de 0,50 m no modelo, o que significa a utilização de um ângulo alfa de 22,48˚.

Além de analisar somente um tipo de sombreamento horizontal, outra limitação da pesquisa é a avaliação de somente um tipo de vidro, incolor de 6 mm.

3.3. Caracterização da simulação

Para a realização das simulações utiliza-se o *software EnergyPlus* (versão 8.5) por meio da interface gráfica *Design Builder* (versão 5.01.021). Desenvolvido pelo departamento de energia do EUA, o *EnergyPlus* é software validado pela ASHRAE e recomendado pela ABNT NBR 15575/2013 e pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012) para simulação computacional termoenergética. Contudo, sua versão *stand-alone* não apresenta interface amigável, por isso a opção pela utilização de um programa de terceira parte que serve de interface gráfica ao *EnergyPlus* (CRAWLEY *et al.*, 2001). O *Design Builder* se destaca entre as interfaces gráficas pelo ambiente de modelagem 3D, sua vasta biblioteca de *templates,* materiais, componentes, rotinas e facilidade de extração dos dados de saída (WASILOWSKI; REINHART, 2009).

Utiliza-se um arquivo climático tipo TRY (*Typical Reference Year)* compilado pela ASHRAE-IWEC, disponível no próprio *Design Builder*. Realizam-se simulações termoenergéticas anuais, com resultados para a temperatura interna da zona térmica em intervalos horários.

O ambiente é ventilado naturalmente, com 5 renovações de ar por hora, enquanto que os equipamentos de HVAC (*Heationg, Ventilation and Air Conditioning*) são mantidos desligados. Além disso, a iluminação artificial é mantida desligada, o que segue a determinação da ABNT NBR 15.575/2013. Pela mesma razão, o ambiente é considerado sem ocupação.

3.4 Análise dos dados

Para a análise de conforto térmico, utiliza-se o modelo de conforto adaptativo, com a ideia de que ocupantes interagem dinamicamente com o ambiente, adaptando-se a diferentes temperaturas durante variadas épocas do ano, a partir do uso do método graus-hora, que é a obtenção do montante de horas que, a partir de uma referência de temperatura, extrapola o referencial máximo ou mínimo (ASHRAE, 2010). Para isso, utilizam-se dados relativos à temperatura operativa, que é a temperatura que mais se aproxima da percepção do conforto do usuário (SANTOS, 2017). Extraem-se dados em intervalos horários que são avaliados pelo método graus-hora e posteriormente gera-se um percentual de horas em conforto (POC) que contempla todas as horas do ano.

Pereira e Assis (2010), em estudo que avalia os modelos de índices adaptativos, observaram que o modelo de Aluciems (Equação 1) apresentou resultados mais próximos entre as cidades estudadas, inclusive para localidades com amplitudes térmicas maiores, característica de climas subtropicais ou tropicais mais secos, como o de Brasília. As autoras verificaram também que com relação à amplitude da zona de conforto térmico, o melhor resultado encontrado para zona de leve desconforto é a faixa de Tn ±2 ºC, valor utilizado nesse estudo.

$$TN = 17{,}6 + Tar.0{,}341$$

Equação 1 – Temperatura Neutra (AULICEMS, 1981)

Onde:
TN é a temperatura neutra [°C];
Tar é temperatura do ar [°C].

Para avaliação dos resultados, optou-se pela utilização da classificação de percentual de horas de conforto da indicada pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). Essa abordagem classifica os resultados em 5 categorias, de A a E, em que A corresponde ao maior percentual de horas em conforto e E à pior avaliação.

Para melhor compreensão dos resultados, normalizam-se os resultados por meio do POC em uma escala percentual. Esses valores são divididos níveis classificatórios em a partir dos valores de graus-hora de resfriamento para zona climática 4 em um índice POC, denominado neste trabalho de iPOC, apresentado na Tabela . Além disso, para melhor visualização dos níveis classificatórios, emprega-se uma escala de cores de verde a vermelho, em que verde representa a classificação A e vermelho a classificação E.

Tabela 2 - Classificação dos níveis de conforto pelo índice de POC (iPOC)

Graus-hora de resfriamento para ZB4*	Porcentagem equivalente de horas de desconforto por calor	Porcentagem equivalente de horas de conforto	Porcentual de horas ocupadas de conforto (POC)	Índice de POC-(iPOC)
727	8,30%	91,70%	100% e 91,70%	**A**
1453	16,59%	83,41%	91,69% e 83,40%	**B**
2180	24,89%	75,11%	83,4% e 75,11%	**C**
2906	33,17%	66,83%	75,1% e 66,83%	**D**
			abaixo de 66,82%	**E**

*Zona Bioclimática 4

Fonte: Baseado no RTQ-R (INMETRO, 2012) e adaptado pelos autores

4. RESULTADOS

Os resultados do POC para todas as horas do ano e para todos os cenários possíveis do cruzamento das variáveis dos três parâmetros estudado (taxa de envidraçamento, orientação e sombreamento) são apresentados nas Tabela 3 e 4.

O primeiro aspecto marcante que se observa é o efeito positivo do sombreamento. Para todas as configurações de orientação e taxa de envidraçamento há aumento no POC com o emprego do sombreamento. Observa-se uma diferença que varia desde 0,46 pontos percentuais, para taxa de envidraçamento de 12,50% na fachada sul, até 16,01 pontos percentuais, para taxa de envidraçamento de 45% na fachada norte. Isso indica uma maior influência da proteção solar no aumento do POC para as fachadas críticas, que apresentam menor POC durante o ano sem o emprego do sombreamento (leste, nordeste, norte e noroeste).

Por outro lado, observa-se uma relação inversamente proporcional entre o parâmetro da taxa de envidraçamento e o POC. Verifica-se esse padrão de diminuição do POC com o aumento da taxa de envidraçamento para todas as orientações, independente do uso ou não de sombreamento. Nota-se que a diminuição do POC é maior nas fachadas mais críticas. No pior cenário, a fachada nordeste, a diferença de POCs entre as taxas de envidraçamento de 12,5% e 45% é de 28,57 pontos percentuais, enquanto que no melhor cenário, a fachada sul, é de somente 9,66 pontos percentuais, em ambos os casos sem o emprego de sombreamento, conforme mostra a Tabela 3. Também se percebe efeito similar nos casos com o emprego do sombreamento Tabela 4, entretanto o efeito é menos acentuado. Na fachada nordeste a diferença de POCs entre as taxas de envidraçamento de 12,5% e 45% é de 26,64 pontos percentuais, enquanto que na fachada sul é de 6,03 pontos percentuais.

Tabela 3 - Porcentagem de horas de conforto e iPOC (TN +2) para modelo simulado sem sombreamento.

média anual	**POC sem sombreamento**							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
	12,5	15	20	25	30	35	40	45
LESTE	90,13%	88,15%	84,34%	80,88%	76,58%	71,50%	67,19%	63,17%
NORDESTE	87,69%	85,45%	80,44%	76,34%	71,33%	66,35%	62,39%	59,12%
NOROESTE	87,35%	86,06%	82,92%	79,61%	75,92%	71,77%	68,86%	65,88%
NORTE	87,33%	85,76%	82,75%	79,84%	75,73%	71,60%	68,17%	64,95%
OESTE	90,98%	89,71%	87,33%	84,23%	80,09%	76,23%	73,23%	70,19%
SUDESTE	96,09%	95,14%	93,09%	90,94%	87,53%	84,01%	81,28%	78,60%
SUDOESTE	96,09%	95,44%	93,91%	92,12%	89,56%	86,86%	84,79%	82,63%
SUL	99,29%	99,05%	98,43%	97,56%	95,91%	93,66%	91,78%	89,63%

Tabela 4 - Porcentagem de horas de conforto e iPOC (Tn +2) para modelo simulado com sombreamento.

média anual	**POC com sombreamento**							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
	12,5	15	20	25	30	35	40	45
LESTE	94,54%	93,20%	90,09%	86,47%	82,31%	78,55%	75,54%	71,84%
NORDESTE	94,88%	93,07%	88,95%	84,88%	79,29%	74,85%	71,56%	68,24%
NOROESTE	91,86%	90,64%	87,82%	85,60%	82,34%	79,05%	76,62%	74,26%
NORTE	93,96%	92,69%	90,04%	87,55%	84,27%	81,10%	78,26%	75,35%
OESTE	93,51%	92,65%	90,84%	88,53%	85,53%	81,87%	79,46%	76,60%
SUDESTE	98,49%	97,91%	96,42%	94,59%	92,18%	89,67%	87,03%	84,62%
SUDOESTE	97,66%	97,28%	96,10%	94,97%	93,18%	91,11%	89,22%	87,39%
SUL	99,75%	99,63%	99,40%	98,96%	98,07%	96,74%	95,26%	93,72%

A influência da taxa de envidraçamento e do emprego do sombreamento podem ser melhor compreendidas pelos gráficos de linha expostos na Figura 3. Além dos valores de POC, os gráficos apresentam uma estratificação por cores relativas aos níveis classificatórios do iPOC. Esse agrupamento por iPOCs também facilita à melhor compreensão da influência desses dois parâmetros. Enquanto que a Figura 3a apresenta os resultados sem o emprego do sombreamento, por outro lado a Figura 3b expõe os resultados com seu emprego.

Por meio dos gráficos na Figura 3, evidencia-se a relação inversamente proporcional entre taxa de envidraçamento e POC para todas as orientações, com e sem o emprego de sombreamento, como mencionado anteriormente.

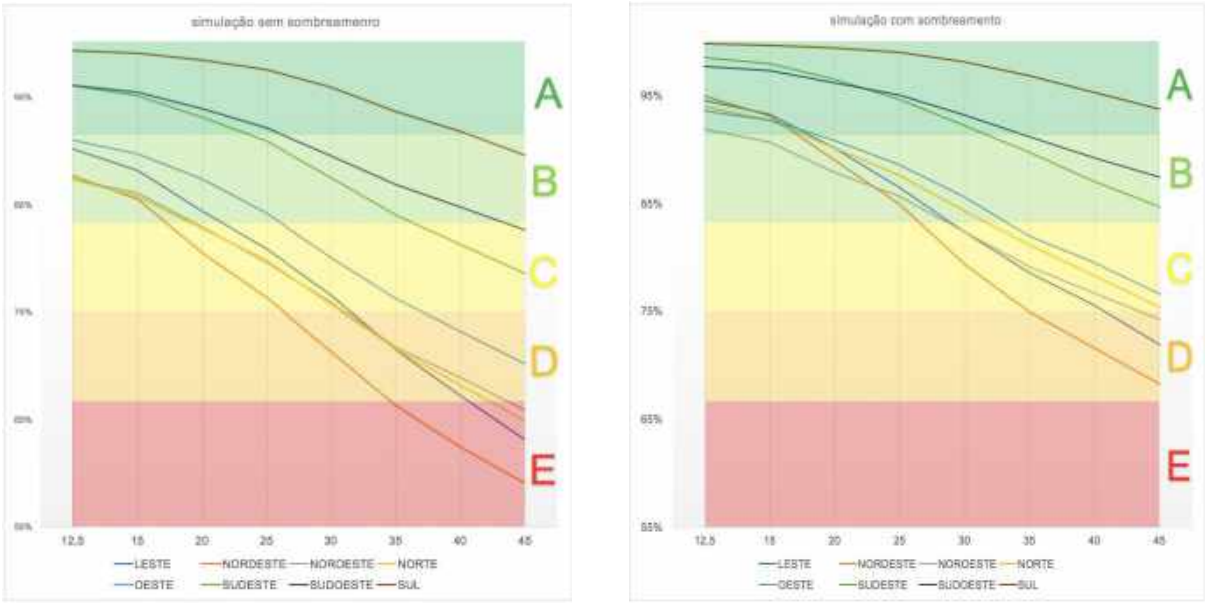


Figura 3- Gráficos com a média anual de horas de conforto, sem sombreamento (3a à esquerda) e gráficos com a média anual de horas de conforto, com sombreamento (3b à direita).

Observa-se mais uma vez a influência do emprego do sombreamento, visto que em todos os cenários como seu emprego não há nenhum iPOC E. Enquanto que para menor taxa de envidraçamento (12,5%), todas as orientações obtêm iPOC A, nos casos com o emprego de sombreamento. Também se nota que para os casos sem o emprego de sombreamento é possível obter iPOC A ou B somente para taxas de envidraçamento de até 15%, enquanto que para os casos com emprego do sombreamento esse valor de taxas de envidraçamento sobe para até 25%.

4.1 Diagrama

Para melhor a compreensão dos resultados obtidos, parte-se ao desenvolvimento de um diagrama, uma representação mais visual que expõe os dados de forma simples e direta, mais prática para o uso profissional dos projetistas. Em específico, esse diagrama visa possibilitar uma compreensão mais rápida e clara da influência da orientação e taxa de envidraçamento no iPOC. Além disso, possibilita a visualização da questão da sazonalidade, não apresentada nas tabelas anteriormente. Assim, busca-se fornecer maior volume de informações de maneira mais palatável.

A Figura 4 fornece as informações necessárias para compreensão do diagrama. Cada anel representa uma taxa de envidraçamento da fachada, em ordem crescente de dentro para fora. Por sua vez, cada coluna representa um mês do ano. Além disso, cada gomo indica uma orientação, o que facilita sua compreensão visto que as orientações estão posicionadas da mesma forma que na rosa dos ventos. Os resultados são expressados por meio das cores que representam os níveis classificatórios do iPOC. Além disso, a célula mais interna de cada gomo indica um valor de iPOC médio, representativo daquela orientação.

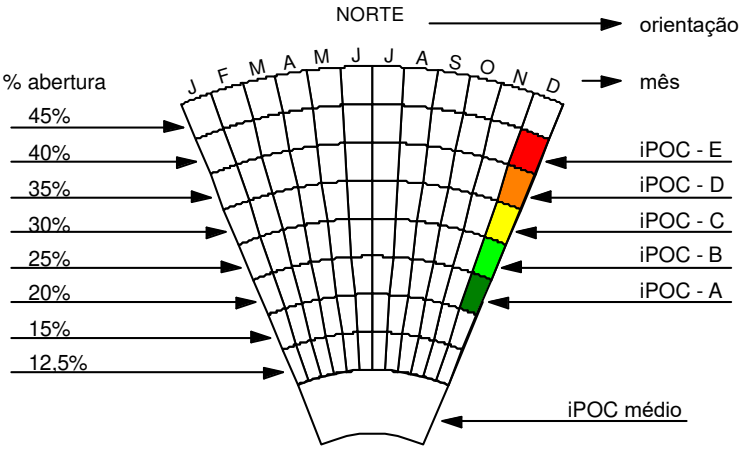


Figura 4 - Legenda para o Diagrama

A Figura 5 apresenta dois diagramas completos, tanto para os cenários sem o emprego de sombreamento (Figura 5a) quanto com o emprego do mesmo (Figura 5b). Nessas duas visualizações estão expostos os resultados de todos os 128 cenários, em intervalos mensais.

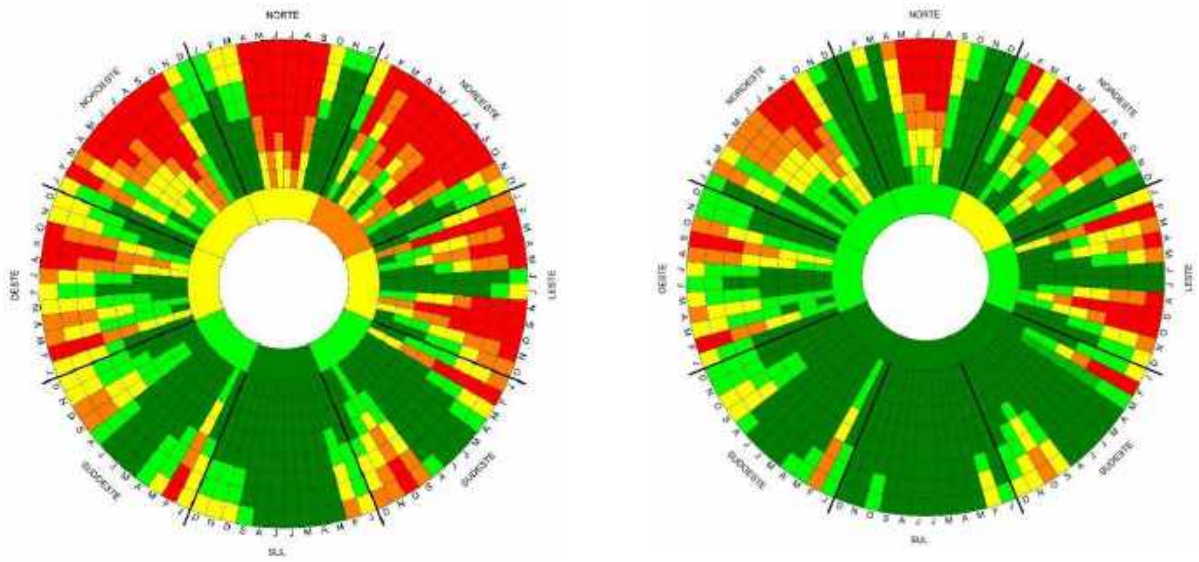


Figura 5 - Diagrama do iPOC para todos os meses do ano, sem sombreamento (5a à esquerda) e com sombreamento (5b à direta).

Além de evidenciar a relação diretamente proporcional do emprego do sombreamento e inversamente proporcional da taxa de envidraçamento em relação ao conforto térmico, a influência da orientação e da sazonalidade ficam mais notórias.

O diagrama expressa de forma mais que os melhores iPOCs são encontrados no quadrante sul. A essa orientação com o emprego de sombreamento estudado, pode-se propor taxas de envidraçamento maiores sem maiores problemas com o conforto térmico. Enquanto que o quadrante em torno do nordeste é o que possui piores resultados de iPOC e dessa forma necessita de maiores cuidados por parte do projetista. Inclusive esse resultado demonstra que alguns conceitos tradicionalmente aceitos devem ser avaliados com maior cuidado, visto que normalmente acredita-se que a fachada oeste é que pode causar maior desconforto, o que não ocorre no presente estudo.

Quanto a sazonalidade, observa-se que os meses de agosto e setembro são no geral os que mais ocasionam desconforto térmico por calor, por serem os meses mais quentes. Contudo, nota-se que o mês de fevereiro também possui forte impacto, especialmente nos cenários com o emprego do sombreamento e para as orientações diferentes do quadrante norte. Isso provavelmente está relacionado ao emprego de um elemento de sombreamento como um beiral, uma proteção solar alfa, que tem efeito reduzido para essas orientações.

4.2 Matriz

Para uma análise visual dos dados ainda mais direta, que contempla somente os resultados anuais, também há como apresentar os resultados em forma de matriz, conforme a Figura 6. Nessa ferramenta os resultados são apresentados em somente três níveis em relação a taxa de envidraçamento e orientação, como: aconselháveis, aconselháveis com ressalva e desaconselháveis, do azul claro ao escuro, respectivamente. Esses níveis são equiparados aos iPOC, em que aconselhável corresponde aos níveis A e B, o aconselháveis com ressalva aos níveis C e D e desaconselháveis o nível E.

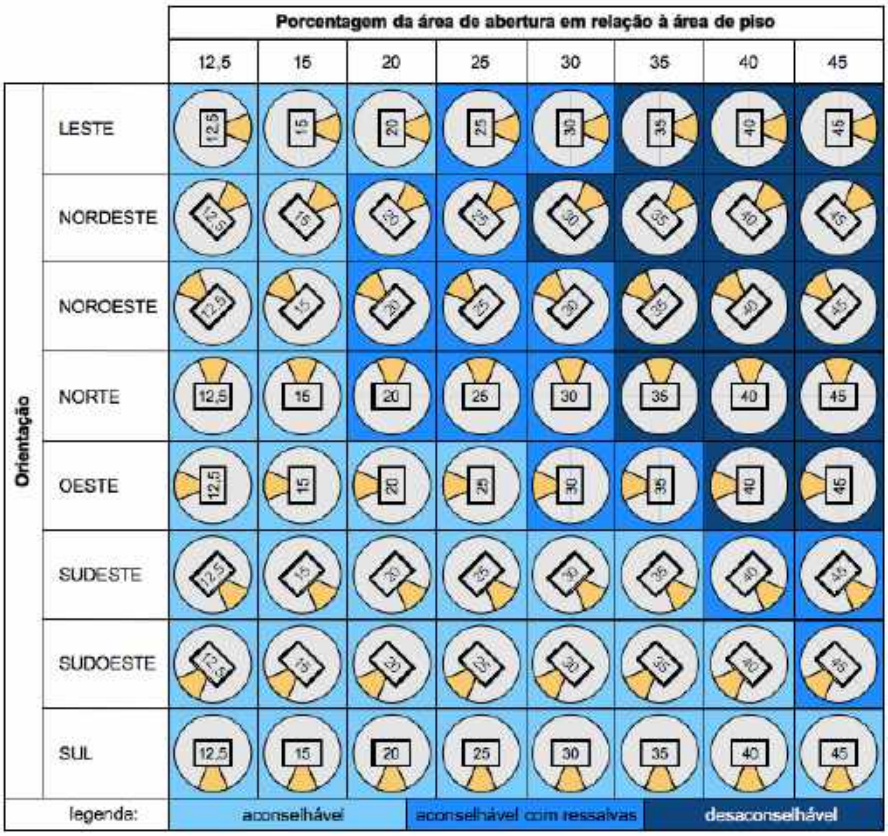


Figura 6 - Diagrama do iPOC com dados anuais, sem sombreamento.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um estudo sobre a influência dos parâmetros de taxa de envidraçamento, a orientação e o emprego de sombreamento no conforto térmico de ambientes residenciais no contexto climático de Brasília. A esse fim, realiza-se um estudo paramétrico por meio de simulação termoenergética com o programa *EnergyPlus* e da interface gráfica *Design Builder*, para a avaliação do conforto térmico por meio do modelo de conforto adaptativo com o método graus-hora e posterior sintetização em POC. Além disso, propõe-se um novo indicador, o iPOC, que agrupa os resultados do POC em níveis classificatórios. Por último, propõe-se ferramentas gráficas, em forma de diagrama e matriz, para melhor compreensão dos resultados apresentados.

Quanto à orientação, o quadrante sul apresenta melhores resultados de iPOC, enquanto os piores são encontrados no quadrante em torno do nordeste. Com o emprego de sombreamento, a orientação sul possui iPOC A para todas taxas de envidraçamento, enquanto que a orientação nordeste possui iPOC A somente até a taxa de envidraçamento de 15%.

A análise dos resultados por orientação implica a necessidade de se avaliar com cuidado pressupostos tradicionalmente aceitos, como por exemplo que a orientação oeste é a que causa mais desconforto térmico por calor. Outro cenário que merece atenção é das fachadas nordeste e noroeste, que apresentaram médias de desconforto térmico acima da obtida na fachada norte, mas que em situações específicas, a depender da área de abertura, do mês ou da proteção solar, podem indicar iPOCs com valores menores do que os alcançados na orientação norte. Isso aponta a necessidade de se estudar as situações caso-a-caso e que ferramentas como simulação computacional, ou outras ferramentas decorrentes de seus resultados, como o diagrama e as matrizes apresentadas podem ser muito úteis.

Conforme previsto na literatura os resultados comprovam a relação inversamente proporcional entre a taxa de envidraçamento e o conforto térmico. Esse padrão é perceptível para todas as orientações. No pior cenário, a fachada nordeste, a diferença de iPOCs entre as taxas de envidraçamento de 12,5% e 45% é de 28,57 pontos percentuais, enquanto que no melhor cenário, a fachada sul, é de somente 9,66 pontos percentuais. Apurou-se também que para todas as orientações, com área de abertura de até 15% obtém-se iPOC A ou B, contudo essa taxa de envidraçamento sobe para 25% com o emprego do sombreamento.

A interferência do sombreamento também é perceptível, visto que os resultados constatam a sua influência positiva no conforto térmico. Na comparação entre os cenários equivalentes, com e sem

sombreamento, há sempre melhoria dos resultados de iPOC, com acréscimo de até 16 pontos percentuais. Além disso, as melhorias mais marcantes ocorrem nos cenários mais críticos, que possuem piores resultados nos cenários sem sombreamento. Isso evidencia a relevância do sombreamento como estratégia bioclimática no contexto climático estudado. Além disso, os resultados demonstram que o emprego de sombreamento apresenta maiores benefícios no quadrante norte. Isso provavelmente está relacionado ao emprego de um elemento de sombreamento como um beiral, uma proteção horizontal, que tem maior efeito nessa orientação, porém efeito reduzido nas demais.

As ferramentas de visualização dos resultados demonstram grande potencial no auxílio ao desenvolvimento de projeto arquitetônico desde as fases iniciais no que diz respeito ao dimensionamento das aberturas. Ao conciliarem a representação por cores do iPOC em diagramas ou matrizes, possibilitam rápida compreensão do impacto da orientação, taxa de envidraçamento e emprego do sombreamento, assim como os padrões de sazonalidade no conforto térmico.

Esta pesquisa faz parte do desenvolvimento de um banco de dados de soluções bioclimáticas, que visa a criação de uma ferramenta *web* interativa para auxiliar o projetista. Nesse sentido, busca-se avaliar outros parâmetros de projeto, como dimensões do ambiente, diferentes tipologias e outros contextos climáticos. Inclusive almeja-se a avaliação de outros materiais da envoltória, especialmente como tipos vidro, além de uma análise mais especifica do potencial do sombreamento. Para mais do que a radiação solar, também se visa explorar outros aspectos relacionados ao conforto térmico decorrentes da abertura, como a ventilação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575-1: edifícios habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AZARNEJAD, A.; MAHDAVI, A. Building façades - visual reflectance and surface temperatures: a field study. IBPC, Viena, 2015.

BSI (2008). Lighting for buildings. Code of practice for daylighting BS 8206-2. British Standards Institute.

CÓDIGO DE OBRAS E EDIFICAÇÕES DE BRASÍLIA. Lei n° 6.138, de 26 de abril de 2018 e Decreto n° 39.272 de 2 de agosto de 2018.

CORBELLA, O; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental. 2a. edição e ampliação. Rio de Janeiro. 2009.

CRAWLEY, D., LAWRIE, L., WINKELMANN, F. C., PEDERSEN, C. O. EnergyPlus: A New-Generation Building Energy Simulation Program. Conference: Forum 2001: Solar Energy: The Power to Choose, At Washington, DC. 2001.

HAMZA, N. A. The performance of double skin facades in office building refurbishment in hot arid areas. PhD Thesis. Newcastle University. School of Architecture, Planning and Landscape. Newcastle, UK, 2004.

INMETRO. RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Manual RTQ-R. Portaria 18.2012.

JABER, S.; AJIB, S. Thermal and Economic windows design for different climate zones. Energy and Buildings, v. 43, p. 3208-3215, may/august 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3a. Edição. Florianópolis. Eletrobrás/Procel. 2014.

MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor através de aberturas. ENCAC, Maceió, 2005.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. Ambiente Constru.do, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

OLIVEIRA, W. C.; CUNHA, E. G. Uso da simulação computacional na gestão pública como ferramenta auxiliar para contratação de tarifas de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

PEREIRA, I.; ASSIS, E.; Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático. Ambiente Constru.do, Porto Alegre, v. 10, n.1, p. 31-51, jan./mar. 2010.

SINGH, M.C.; GARG, S.N. Energy rating of different glazings for Indian climates. Energy, v.34, p.1986-1992, 2009.

WASILOWSKI, H. A., REINHART, C. F. Modelling an existing building in Designbuilder/energyplus: custom versus default inputs. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland July 27-30, 2009.