

Relação entre dimensões de janela e piso para iluminação natural e eficiência energética em edificações no trópico úmido

Window to wall ratio for daylighting and energy efficiency in rooms in the humid tropic

Iuri Ávila Lins Araújo 

Leonardo Salazar Bittencourt 

Resumo

O presente trabalho teve por objetivo identificar a razão entre área de janela e piso, associada à iluminação natural eficaz e à eficiência energética, no trópico úmido. As recomendações de pré-dimensionamento mais usadas por arquitetos nas etapas preliminares de projeto, visando a uma iluminação natural eficaz, abordam o tamanho da janela e a profundidade do ambiente. Códigos de obras brasileiros determinam relações entre área de janela e piso para garantir iluminação natural adequada, mas essas relações não estão respaldadas em trabalhos científicos. O método consistiu em uma análise comparativa do desempenho de modelos quanto à iluminância natural útil, à uniformidade da iluminação natural, à iluminância natural excessiva e ao consumo energético com iluminação e resfriamento a fim de comparar relações janela/piso em condições de janela sombreada, ar-condicionado e iluminação híbrida. As iluminâncias e o consumo energético foram simulados com as ferramentas Daysim e DesignBuilder. A análise dos dados comparou a amplitude de variação do desempenho de grupos de modelos, classificados por quatro valores da razão janela/piso. Os resultados validaram a eficácia da razão 1/6, mas não da razão 1/8, ambas exigidas por códigos de edificações brasileiros. Também demonstraram a eficácia das razões 2/6 e 2/8, que não constam nos códigos de cidades com clima quente e úmido.

Palavras-chave: Iluminação natural. Sombreamento. Trópico úmido. Área de janela. Profundidade de ambiente.

Abstract

This study aimed to identify the window to floor ratio associated with effective daylighting and energy efficiency in the humid tropics. The rule of thumb most used by architects in preliminary design stages, aiming at adequate natural lighting, addresses window area and room depth. Brazilian building codes determine window to floor ratio values to ensure better natural lighting conditions, but those ratios are not based on scientific works. The method of this study consisted of a comparative analysis of the performance of models regarding useful daylight, daylight uniformity, daylight glare, and energy consumption with lighting and cooling, in order to compare the window to floor ratios under a shaded window, air conditioning, and hybrid lighting. The Daysim and DesignBuilder tools simulated illuminances and energy consumption. Data analysis compared the range of variation in the performance of groups of models, classified by four window-to-floor ratios. The results validated the effectiveness of the 1/6 ratio, but not the 1/8 ratio, both required by Brazilian building codes. The results showed the effectiveness of the 2/6 and 2/8 ratios, which are not included in the codes of cities with hot and humid climates.

Keywords: Daylight. Shading devices. Humid tropics. Window size. Room depth.

¹Iuri Ávila Lins Araújo

¹Universidade Federal de Alagoas
Arapiraca - AL - Brasil

²Leonardo Salazar Bittencourt

²Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Recebido em 14/12/21

Aceito em 24/02/22

Introdução

A iluminação natural é determinante para o conforto visual e a eficiência energética nas edificações. As decisões de projeto que mais afetam a iluminação natural são tomadas pelo arquiteto durante a etapa preliminar de projeto e com base em recomendações de pré-dimensionamento (REINHART; FITZ, 2006; GALASIUS; REINHART, 2007). É frequente que questões de projeto envolvendo iluminação natural sejam decididas apenas com base em recomendações de pré-dimensionamento, embora a simulação computacional de iluminâncias seja um meio efetivo para orientar decisões de projeto. Estudos vêm apontando que a parcela de arquitetos que utiliza simulação como suporte à decisão é pequena (VENÂNCIO, 2012; MATOS; SCARAZZATO, 2017).

A iluminação natural por meio de janelas é a solução de projeto mais comum e varia em função do tamanho da janela e da profundidade do ambiente. As recomendações mais usadas por projetistas de 27 países para promover iluminação natural adequada enfocavam essas duas variáveis de projeto (REINHART; FITZ, 2006).

A NBR/ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) é a norma brasileira específica para iluminação artificial e natural, mas ela não apresenta recomendações para tamanho de janela e profundidade de ambiente. O projeto de emenda à NBR 15575, Desempenho (ABNT, 2021), pretende estipular o limite máximo de área de janela para iluminação equivalendo a 20% da área útil do recinto. Aberturas maiores poderiam ser admitidas em função do sombreamento aplicado (PEREIRA *et al.*, 2020). O limite de 20% da área de piso consta em publicações técnicas brasileiras como o máximo recomendado para iluminação natural com eficiência energética. Há também a recomendação de manter a profundidade do ambiente limitada a 1,5 vez a altura da borda superior da janela (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A publicação “Dicas para iluminação natural com janelas” recomenda manter a área de janela entre 20% a 30% da área da fachada, não indo além de 40%, para uma iluminação natural adequada (O’CONNOR *et al.*, 1997). O resultado de estudos de campo na publicação “Guia de Padrões de Iluminação Natural” confirmou a eficácia dessas recomendações (WYMERLEBERG; MEEK, 2013). Referências técnicas norte-americanas e europeias recomendam manter a profundidade do recinto entre 1,5 e 2,0 vezes a altura da borda superior da janela (REINHART, 2005). No entanto, essas recomendações não têm base científica explícita em sua definição e não especificam objetivamente o que seria “iluminação natural adequada” (REINHART, 2005). Não mencionam também a condição de sombreamento da janela, apesar de ela ter potencial para impactar a iluminação natural e a eficiência energética, como demonstrado por Lima e Caram (2015) e Brugnera *et al.* (2019).

As variáveis de projeto “Tamanho de janela e profundidade do recinto” podem ser relacionadas por meio da razão entre área de janela e áreas úteis do recinto. Códigos de obras de municípios brasileiros adotam essa razão com valores de 1/6 (17%) e 1/8 (12,5%) para cômodos de permanência prolongada e transitória, respectivamente (FORTALEZA, 1981; RECIFE, 1997; BRASÍLIA, 1998; FLORIANÓPOLIS, 2000). A adoção desses valores é frequente em municípios de diferentes zonas climáticas e não está respaldada em trabalhos científicos (PEREIRA; SCHMITT; MORAES, 2015).

Estudos já mostraram que a profundidade-limite da iluminação natural adequada varia em função do tamanho e da orientação da janela, do tipo de sombreamento, da transmitância do vidro e do parâmetro aplicado na análise do desempenho (REINHART, 2005; TRISHA; AHMED, 2017). As recomendações derivadas das conclusões desses estudos precisam ter sua abrangência bem delimitada, devido à natureza multivariada do fenômeno. O tema já foi alvo de pesquisas no Brasil. Albuquerque e Amorim (2012) concluíram que a profundidade-limite, com janela de área de 1/6 (17%) do piso, era de 2,57 vezes a altura da borda superior da janela, sem uso de sombreamento. O parâmetro utilizado para avaliar a iluminação natural foi a autonomia com base em 60 lx, em 70% do ano e em 70% do espaço. Essa pesquisa serviu de base para que o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) (INSTITUTO..., 2012) adotasse a profundidade-limite de 2,4 vezes a altura do topo da janela, como bonificação.

Leader, Leal e Lima (2015) concluíram que, em residências no estado da Paraíba, uma janela representando 15% da área útil do recinto garante autonomia com base em 300 lx em mais de 60% do ano e em mais de 70% do espaço, desde que não tenha sombreamento. Esses estudos não avaliaram a uniformidade na distribuição de iluminâncias nem a ocorrência de iluminâncias excessivas, além de não considerarem o conforto térmico e a eficiência energética.

Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) concluíram que janelas menores e ambientes mais profundos reduziam o consumo com ar-condicionado em edifício de escritório, contrariando limites recomendados pela literatura técnica para iluminação natural adequada. Essas conclusões estavam baseadas em janela sem sombreamento. O método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (INSTITUTO..., 2010) classifica a eficiência energética tão melhor quanto menor for o percentual de abertura na fachada (PAF) e atribui um peso menor ao sombreamento.

Um estudo para o município de Natal-RN concluiu que janela maior e sombreada esteve associada ao menor consumo com ar-condicionado (RODRIGUES; DIAS; PEDRINI, 2011). Esse estudo não avaliou a iluminação natural em recintos com diferentes profundidades. Um estudo realizado para o município de Maceió-AL demonstrou que o sombreamento por *brises* teve maior impacto na eficiência energética que o tipo de vidro usado e que janela maior e sombreada apresentou menor consumo com ar-condicionado e iluminação artificial, além de promover melhor iluminação natural (LIMA; CARAM, 2015). Esses resultados foram demonstrados mesmo com os estudos não considerando o efeito positivo na eficiência energética da iluminação híbrida, que integra iluminação natural e artificial, como demonstrado por Rupp e Ghisi (2013). Esses estudos também não buscaram identificar a razão janela/piso mais eficaz.

O balanço eficiente entre essas variáveis de projeto é complexo de determinar, mas essencial para o alcance de boa iluminação natural com eficiência energética. Não há recomendações para a razão janela/piso em publicações brasileiras que tenham baseado sua proposição em múltiplos parâmetros de desempenho da iluminação natural e da eficiência energética. Estudos anteriores não responderam integralmente às questões envolvidas na definição da razão janela/piso mais eficaz para iluminação natural e eficiência energética na condição do trópico úmido. Essas respostas podem contribuir significativamente para o aperfeiçoamento de recomendações de pré-dimensionamento para iluminação natural em climas quentes, em que o sombreamento contínuo da janela é estratégia prioritária e o uso de resfriamento artificial é frequente.

O presente trabalho tem por objetivo identificar a razão entre área de janela e piso mais eficaz para iluminação natural e eficiência energética, considerando iluminância natural útil, uniformidade da iluminação natural, iluminância natural excessiva e consumo energético, na condição de janela sombreada, iluminação híbrida automatizada e uso de ar-condicionado no trópico úmido do Brasil.

Método

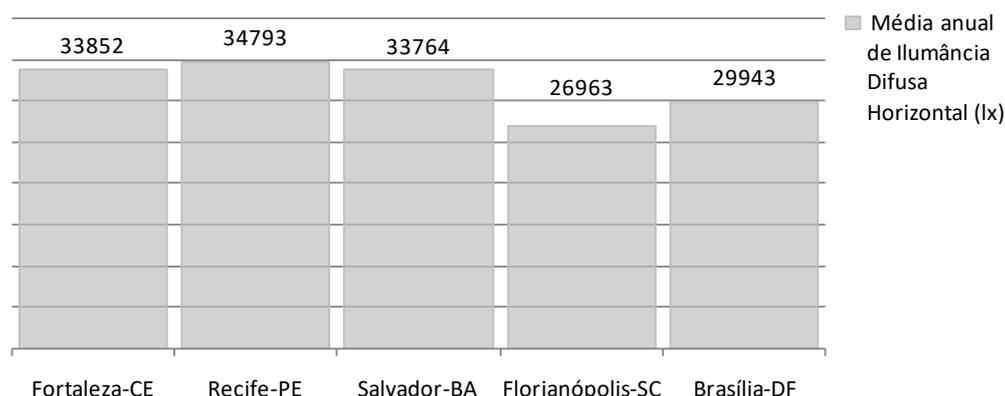
O método adotado consistiu em uma análise comparativa do desempenho de modelos quanto à iluminação natural e ao consumo energético em uma amostra de climas quentes e úmidos do Brasil e na condição de janela sombreada, iluminação híbrida automatizada e uso de ar-condicionado. A análise do desempenho baseou-se em dados gerados por simulação computacional, com as ferramentas Daysim e DesignBuilder, para quatro grupos de modelos, com diferentes razões janela/piso. Os procedimentos de simulação são descritos na seção Simulações de Desempenho. O desempenho foi avaliado pelo intervalo de variação de cada grupo e a partir de quatro indicadores: iluminância natural útil, uniformidade da iluminação natural, iluminância natural excessiva e consumo energético. Essas métricas são descritas na seção Análise de Dados.

Modelos usados nas simulações

O trópico úmido possui céus mais luminosos, devido ao efeito combinado de elevada radiação solar e umidade (CABÚS, 2002). A Figura 1 permite comparar a média anual de iluminância difusa horizontal em três municípios com climas quentes e úmidos, em um município com clima subtropical úmido e em um município com clima seco da região central do país, respectivamente: Fortaleza-CE (lat. 4° S e long. 38° O), Recife-PE (lat. 9° S e long. 35° O), Salvador-BA (lat. 13° S e long. 64° O), Florianópolis-SC (lat. 28° S e long. 48° O) e Brasília-DF (lat. 16° S e long. 48° O). O método proposto adotou, para a variável localização, os três climas quentes e úmidos, representados pelo arquivo climático dos três municípios, situados no litoral da região Nordeste do Brasil: Fortaleza-CE, Recife-PE e Salvador-BA. Os arquivos climáticos usados nas simulações pertencem à base de dados U.S.DOE/Weather (U.S. DEPARTMENT..., 2009).

Os modelos comparados no presente estudo representam variações de uma sala de comércio e serviço quanto a seis variáveis: profundidade e largura do recinto, tamanho, posição, orientação e visão de céu da janela. O Quadro 1 mostra uma síntese das variáveis e dos valores analisados. A amostra usada tinha 240 modelos, formados pela combinação dos valores em cada variável. As demais características dos modelos foram mantidas constantes.

Figura 1 - Médias anuais de iluminância horizontal difusa em cinco municípios do Brasil



Fonte: dados climáticos da base U.S.DOE/Weather (U.S. DEPARTMENT..., 2009).

Quadro 1 - Variáveis e valores representados na amostra de 240 modelos

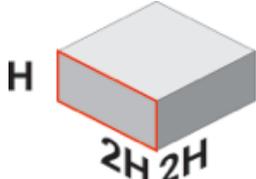
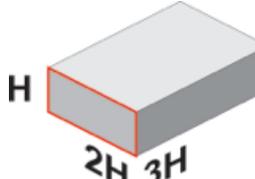
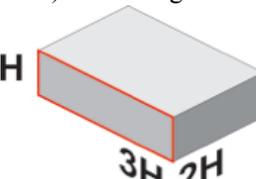
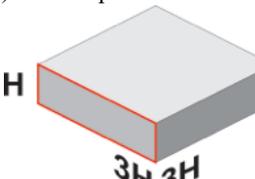
Variável	Valores				
Profundidade do ambiente	P2 (duas vezes a altura do topo da janela)			P3 (três vezes a altura do topo da janela)	
Largura do ambiente	L2 (duas vezes a altura do topo da janela)			L3 (três vezes a altura do topo da janela)	
Tamanho da janela	J1 (1/3 da área da parede)			J2 (2/3 da área da parede)	
Orientação da janela (Azimute)	0° (norte)	45° (nordeste)	90° (leste)	135° (sudeste)	180° (sul)
Visão de céu da janela (A.V.C.V.)	10°			20°	
Localização do modelo	Fortaleza-CE		Recife-PE		Salvador-BA

A altura do teto nos modelos é de 3 m e está representada pela letra “H”. O valor nas variáveis largura e profundidade está definido como múltiplo de “H”. Essa definição relativa das dimensões dos modelos permite que eles representem ambientes com diferentes dimensões absolutas, já que a escala do modelo não afeta a iluminação natural. Os valores adotados aparecem na Figura 2. O valor P2 está próximo ao limite de profundidade da zona de iluminação natural de 2,0 vezes a altura do topo da janela, como indicado em publicações nacionais e internacionais (REINHART, 2005; GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 2014). O valor P3 representa uma profundidade que está além desse limite.

A janela unilateral nos modelos tem formato horizontal, com largura igual à do ambiente, posicionada acima do plano de trabalho e junto ao teto. Isso mantém a altura da borda superior da janela igual ao pé-direito do recinto. Os dois tamanhos de janela (J1 e J2) são soluções convencionais que têm área efetiva para iluminação equivalendo, respectivamente, a 1/3 (33%) e 2/3 (66%) da área da parede. A área absoluta da janela nos modelos variou em função da largura do ambiente, já que a largura da janela foi mantida sempre igual à do ambiente. Os dois tamanhos usados afetaram a posição da janela na parede, gerando os dois padrões descritos no Quadro 2. Cada padrão tem características próprias sobre provisão de vista do exterior e risco de ofuscamento. A janela J1 corresponde à tipologia clerestório. Esse termo tem origem na arquitetura medieval e se refere a aberturas para iluminação posicionadas na porção superior da parede, acima da altura das portas. Esse tipo de abertura é frequentemente usado sobreposto a uma janela convencional, combinada ou não com prateleira de luz. Nos casos representados por “J1”, a janela convencional proveria apenas ventilação e vista do exterior, podendo estar obstruída por cortinas ou *brises*, enquanto a iluminação natural ficaria a cargo do clerestório.

A combinação dos dois tamanhos de janela (J1 e J2) com os dois valores de profundidade (P1 e P2) gerou quatro valores para a razão entre área de janela e piso, como aparece no Quadro 3. A variação em largura do ambiente não afetou essa razão, já que esta foi mantida sempre igual à largura da janela nos modelos da pesquisa.

Figura 2 - Formatos de planta, a partir da combinação de valores das variáveis largura e profundidade

		Profundidade do ambiente (xH)	
		P2	P3
Largura do ambiente (xH)	L2	(L2xP2) Planta quadrada menor 2H x 2H 	(L2xP3) Planta profunda 2H x 3H 
	L3	(L3xP2) Planta larga 3H x 2H 	(L3xP3) Planta quadrada maior 3H x 3H 

Quadro 2 - Opções de tamanho da janela contidas na amostra de modelos

Tamanho	Descrição
1/3 J1 	Clerestório com área efetiva para iluminação equivalente a 1/3 da área da parede, posicionado junto ao teto. Esse padrão tem menor probabilidade de ofuscamento, mas não provê vista significativa do exterior. Ele proporciona uma iluminação mais uniforme, em maior profundidade que janelas convencionais.
2/3 J2 	Combinação de janela convencional e clerestório, com área efetiva para iluminação equivalente a 2/3 da área da parede. Esta janela provê vista significativa do exterior, mas tem maior probabilidade de ofuscamento. A iluminância média tende a ser mais alta, mas as iluminâncias excessivas também.

Quadro 3 - Razão entre área efetiva da janela para iluminação e área útil do ambiente (piso), gerada a partir da combinação de profundidade e tamanho de janela

Profundidade	Tamanho de janela	
	J1	J2
P2	0,17 ou 1/6	0,33 ou 2/6
P3	0,11 ou 0,9/8 \approx 1/8	0,22 ou 1,8/8 \approx 2/8

O sombreamento total da janela é contínuo no horário entre 8h e 17h, por meio de protetor externo, fixo, misto, simples, de cor clara e reflexão difusa. O ângulo vertical externo nas proteções solares foi fixado em 25°. Essa opção proporcionou sombreamento total e contínuo da janela entre 8h e 17h para todas as combinações entre as variáveis localização do modelo e orientação da janela. O presente estudo considerou as orientações norte, nordeste, leste, sudeste e sul, evitando as orientações para o hemisfério oeste. Os ganhos de calor proporcionados pela incidência de radiação nas janelas orientadas a oeste nas últimas horas da tarde precisam ser evitados em climas quentes. Isso exige que as proteções solares obstruam consideravelmente a visão de céu das janelas, reduzindo a captação de luz natural. Exemplos de sombreamento nas orientações norte, leste e sul são mostrados na Figura 3 para a localização do município de Salvador-BA. Os dois analemas destacados na carta solar representam os horários 8h e 17h. Há uma incidência de sol na orientação norte, próximo às 17h, nos meses entre o outono e a primavera. Mas esta não alcançou o plano de trabalho nas simulações, devido ao ângulo de incidência do sol na janela nesse período e à obstrução do entorno.

A opção por manter o ângulo vertical externo de sombreamento constante em diferentes localizações e orientações permitiu manter a independência entre as variáveis localização, orientação e ângulo vertical de céu visível (A.V.C.V.). Isso tornou a análise dos resultados menos incerta. Ainda assim, os ângulos horizontais externos de sombreamento da janela foram de 47° a 70°, em função da variável largura, mesmo

com a adaptação feita no protetor solar, acrescentando um terceiro plano vertical, como pode ser visto na Figura 4. Mas o sombreamento se manteve total e contínuo no horário entre 8h e 17h.

A variável visão de céu da janela foi expressa pelo ângulo vertical de céu visível, definido como a diferença entre o ângulo vertical externo de sombreamento e o ângulo vertical externo de obstrução pelo entorno. Os dois valores nessa variável foram de 10° e 20°. Estes representam uma condição menos favorável à iluminação natural, mas que é frequente com janela sombreada em áreas urbanas. Esses ângulos podem ser vistos na Figura 5. A variação de A.V.C.V. foi promovida apenas pela alteração do ângulo vertical de obstrução pelo entorno, já que o ângulo de sombreamento vertical frontal externo foi mantido fixo em 25°. A alteração do ângulo de obstrução foi feita modificando a altura do plano vertical externo, que representava o entorno construído. Esse plano ficava a uma distância de 10 m à frente da fachada do modelo e se projetava 10 m além das extremidades laterais da fachada, formando ângulos horizontais externos de obstrução de 45°, como pode ser visto na Figura 5. Esse plano externo foi configurado com refletância de 0,5.

Simulações de desempenho

Os indicadores de desempenho da iluminação natural foram obtidos a partir das iluminâncias simuladas com a ferramenta Daysim, baseada em *Radiance Ray-tracing*, coeficientes de luz natural e modelos de céu de Perez (REINHART, 2010) e validada por Reinhart e Walkenhorst (2001). Os dados de consumo final de energia com ar-condicionado e iluminação elétrica foram obtidos com o programa DesignBuilder (DESIGNBUILDER, 2011), baseado em EnergyPlus. Ambas as ferramentas são recomendadas pelo regulamento RTQ-C (INSTITUTO..., 2010). O presente trabalho optou por simular consumo de energia no EnergyPlus, usando rotinas de operação do sistema de iluminação geradas pelo Daysim, como em Didoné e Pereira (2011), Rupp e Ghisi (2013) e Lima e Caram (2015).

Figura 3 - Máscaras de sombra da janela dos modelos, nas orientações norte, leste e sul e na localização de Salvador, BA



Figura 4 - Máscara de sombra para janela com tamanho J1 e J2 em modelos com largura de 2H e 3H

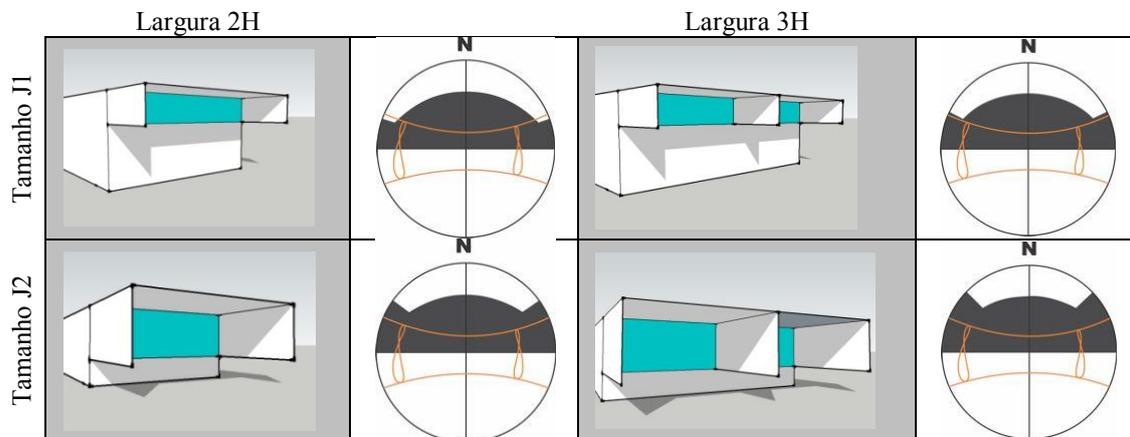
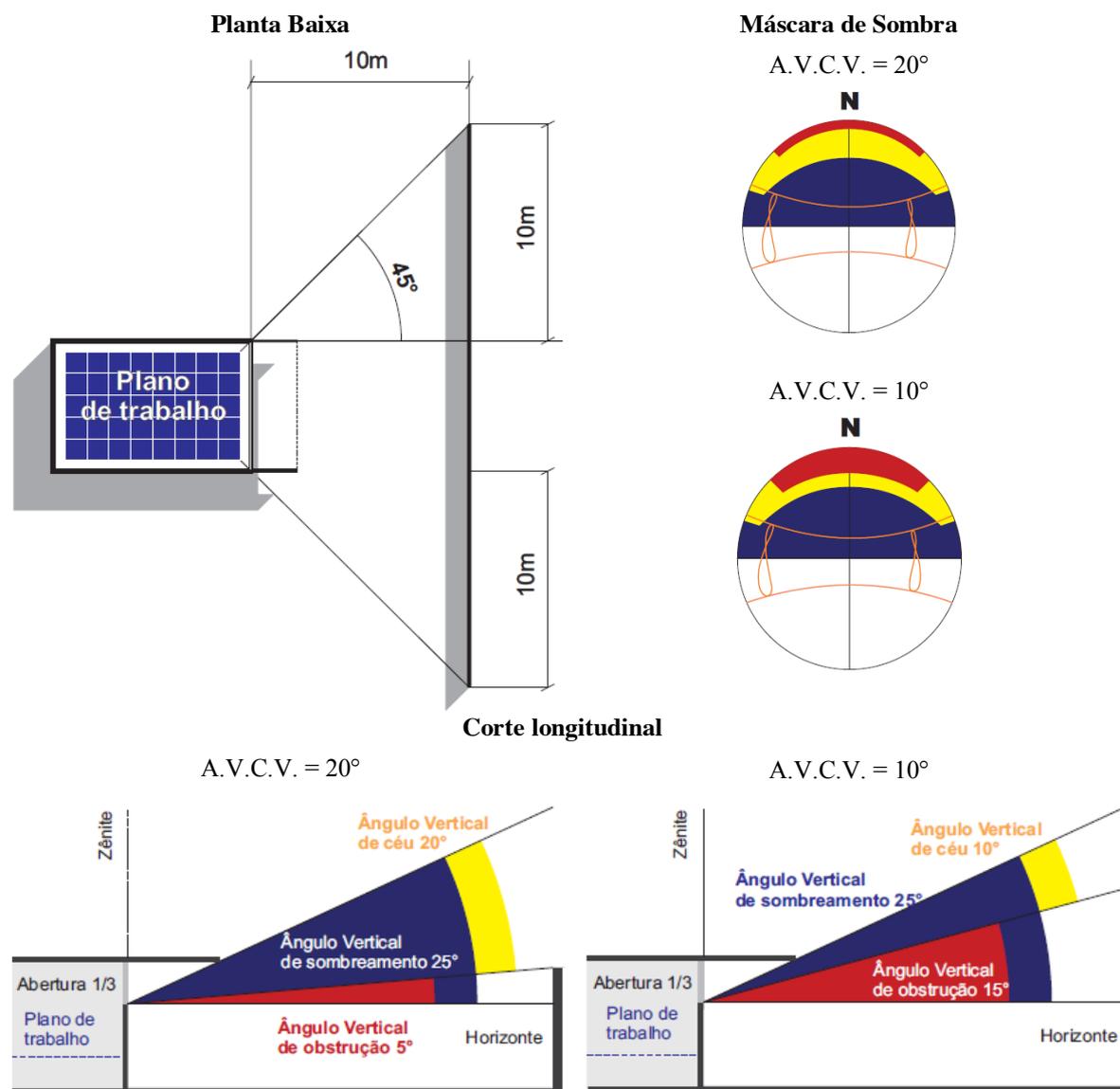


Figura 5 - Planta baixa de modelo (acima e à esquerda), máscaras de sombra (acima e à direita) e corte longitudinal de dois modelos (abaixo), exemplificando os dois valores de ângulo vertical de céu visível



Algumas configurações foram comuns a todas as simulações com a ferramenta Daysim. A complexidade de cena foi configurada como baixa, usando a opção "Cena 1", que tem o menor tempo de processamento e pode ser usada quando as proteções solares são simples (REINHART, 2010). As iluminâncias foram simuladas para um plano de trabalho com altura de 0,75 m acima do piso e uma malha de pontos abrangendo todo o ambiente com 1 m de distância entre os pontos da malha e 0,5 m de distância das paredes. O interior dos modelos era claro, com refletância média de 0,65, correspondendo às refletâncias: teto (0,8), paredes (0,7) e piso (0,5). O sistema de iluminação artificial tinha densidade de potência de 10 W/m², segundo simulação com a ferramenta ReluxPro (RELUX..., 2011), usando luminária Osram Ledvance Downlight XLWT 930 L60 DALI, de 28 W de potência, para iluminância de projeto de 500 lx. O RTQ-C classifica o nível de eficiência desse sistema com a etiqueta "A" (INSTITUTO..., 2010). A rotina de ocupação nas simulações totalizava 2.610 horas por ano e abrangia o horário de 8h às 18h, sem intervalos, nos dias de segunda-feira a sexta-feira. O sistema de iluminação era híbrido e controlado de modo contínuo, por *dimmer*, no horário de funcionamento. A iluminação artificial era acionada apenas quando as iluminâncias ficavam abaixo de 300 lx, funcionando com potência parcial de pelo menos 20%, para complementar as iluminâncias. A iluminação artificial era desativada quando todas as iluminâncias se mantinham acima de 300 lx. O comportamento do usuário foi configurado no modo "Usuário Ativo", para controle de persianas, que não podiam ser desativadas. Nesse padrão, as persianas são baixadas apenas se uma irradiância solar de 50 W/m² incide em algum ponto da malha no plano de trabalho, voltando a ser suspensas ao cessar essa

incidência (REINHART, 2010). No entanto, o padrão “Usuário Ativo” não operou as persianas em nenhuma das simulações, uma vez que não houve incidência de sol no plano de trabalho, devido ao sombreamento total e contínuo da janela no horário de uso.

Algumas das configurações foram comuns a todas as simulações com a ferramenta DesignBuilder. O sistema de ar-condicionado apresentava temperatura de *setpoint* de 25 °C e coeficiente de performance 3 (COP 3). A janela dos modelos permanecia fechada e tinha um único pano de vidro incolor, de transmitância visível de 0,85. Esse vidro foi representado pelo padrão Asahimas Indoflot Clear 10,0 < FL10.amg, que consta na lista de vidros disponível no programa DesignBuilder e tem coeficiente de ganho de calor solar de 0,756 e transmitância térmica de 5,67 W/m²·K. A envoltória do modelo era leve, formada por paredes de 15 cm, com transmitância térmica de 2,48 W/m²·K, capacidade térmica 159 kJ/m²·K e refletância 0,89. Essas paredes foram combinadas com cobertura de transmitância térmica 2,95 W/m²·K, capacidade térmica 167 kJ/m²·K e refletância 0,89. As densidades de potência para ocupantes e equipamentos foram mantidas iguais a zero, equivalendo a um espaço desocupado. A opção por deixar essas densidades assim teve o intuito de manter o foco da análise na relação entre o edifício e o desempenho, em vez da relação entre o padrão de uso do edifício e o seu desempenho.

Análise de dados

Os procedimentos descritos geraram dados de iluminância e consumo de eletricidade com iluminação híbrida automatizada e ar-condicionado para os modelos da amostra. As iluminâncias foram usadas no cálculo de três indicadores de desempenho da iluminação natural. Os dados de consumo foram usados para comparar a eficiência energética dos modelos. Os três indicadores de desempenho da iluminação natural são dinâmicos, baseados em ano climático de referência, e abordam aspectos distintos: iluminação suficiente, uniformidade e iluminação excessiva. O primeiro indicador adotado foi a frequência anual de iluminâncias no intervalo útil entre 300 lx e 3.000 lx, que representa iluminação natural autônoma, efetiva ou tolerável (MARDALJEVIC *et al.*, 2011). Esse indicador é afetado pela média anual das iluminâncias, mas não tem relação com a uniformidade. O desempenho é tão melhor quanto maior for essa frequência. O indicador de uniformidade adotado na análise foi a razão entre a maior e a menor autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; REINHART; WEISSMAN, 2012). Esse indicador é afetado pela uniformidade da iluminação durante o ano, mas não tem relação com a média anual das iluminâncias. O desempenho é tão melhor quanto maior for o valor dessa razão. A frequência anual de iluminâncias acima de 3.000 lx indicou a iluminação excessiva (MARDALJEVIC *et al.*, 2011). Esse indicador é afetado pela média anual das iluminâncias e está associado à probabilidade de ofuscamento. O desempenho é tão melhor quanto menor for essa frequência.

Os procedimentos de análise no presente estudo compararam o intervalo de variação do desempenho em quatro grupos de modelos, classificados segundo sua razão janela/piso. Essa comparação foi feita com base em cada indicador de desempenho separadamente. Esse procedimento buscou identificar qual razão janela/piso alcança os melhores desempenhos, apesar do efeito das outras variáveis. A amplitude da variação do desempenho em cada agrupamento deve-se ao efeito dos diferentes valores de localização do modelo, largura do ambiente, orientação e visão de céu da janela. Intervalos de variação de menor amplitude indicam menor sensibilidade às demais variáveis. Essa característica é relevante para abrangência de aplicação e validade de recomendações de pré-dimensionamento.

Resultados e discussões

A apresentação dos resultados está dividida em desempenho luminoso e eficiência energética. O desempenho luminoso foi avaliado por três indicadores, sendo os resultados apresentados segundo a seguinte sequência:

- (a) frequência anual de iluminâncias no intervalo útil entre 300 lx e 3.000 lx;
- (b) razão entre a menor e a maior autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx;
- (c) frequência anual de iluminâncias no intervalo acima de 3.000 lx; e
- (d) consumo final anual com ar-condicionado e iluminação híbrida.

Os dados de frequência anual de iluminâncias no intervalo entre 300 lx e 3.000 lx aparecem no gráfico da Figura 6. Esses dados são referentes aos 240 modelos da amostra, mas estão apresentados em quatro grupos, classificados por sua razão janela/piso. Essas frequências anuais são um indicador de iluminação autônoma, efetiva ou tolerável. Os dados mostraram que os melhores desempenhos foram alcançados pelos dois grupos

com a profundidade menor (P2), representados pelas razões 0,17 e 0,33, que tiveram frequências anuais acima de 70% e intervalos de variação com menor amplitude. O grupo J1xP2 alcançou maior amplitude de variação que o grupo J2xP2, que variou apenas entre 75% e 80%. A profundidade menor (P2) foi determinante para esse resultado. Entre os dois grupos com a maior profundidade (P3), os melhores desempenhos e a menor amplitude de variação ocorreram com o grupo J2xP3 (0,22). Este apresentou frequências anuais acima de 60%, um desempenho intermediário, apesar da profundidade de 3,0 vezes a altura do topo da abertura, que está além do limite recomendado. Os desempenhos do grupo J1xP3 (0,11) foram consideravelmente inferiores, mostrando frequências abaixo de 50% e amplitude de variação consideravelmente maior. O tamanho de janela maior (J2) determinou a diferença de desempenho entre esses dois grupos com a maior profundidade.

O grupo J1xP2 é representado por 0,17 (1/6). Essa razão já é frequentemente recomendada em códigos de obra de municípios brasileiros para promover iluminação natural adequada. No entanto, é relevante que os desempenhos do grupo J2xP2, representado pela razão 0,33 (2/6), tenham estado também entre os melhores, já que essa combinação possui janela ocupando 2/3 (66%) da área da parede e essa área de janela está além do que a literatura recomenda para iluminação natural eficaz. Isso se deve ao efeito positivo do sombreamento da janela na iluminação natural (LIMA; CARAM, 2015), que pode não ter sido considerado na proposição das recomendações correntes em códigos de obras.

O gráfico da Figura 7 mostra valores da razão entre a maior e a menor autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx. Esses valores referem-se aos 240 modelos da amostra e aparecem organizados em quatro grupos, classificados por sua razão janela/piso. Esse indicador foi usado como parâmetro de uniformidade de distribuição das iluminâncias durante o ano. Os dados no gráfico mostraram que o grupo J2xP2, correspondente à razão 0,33, apresentou os melhores desempenhos, com valores mais altos e menor amplitude de variação entre os quatro grupos. Os desempenhos nesse grupo ficaram acima de 0,85. A combinação do maior tamanho de janela (J2) com a menor profundidade de ambiente (P2) foi determinante para esse resultado. Entre os dois grupos com a maior profundidade (P3), o grupo J2xP3 (0,22) teve desempenhos melhores, exibindo valores acima de 0,65 e menor amplitude de variação. Já o grupo J1xP3 teve desempenhos abaixo de 0,45 e amplitude consideravelmente maior. O tamanho de janela maior (J2) foi determinante para o resultado nesses dois grupos.

Figura 6 - Frequência de iluminâncias no intervalo entre 300 lx e 3.000 lx para quatro grupos de modelos, com diferentes razões janela/piso

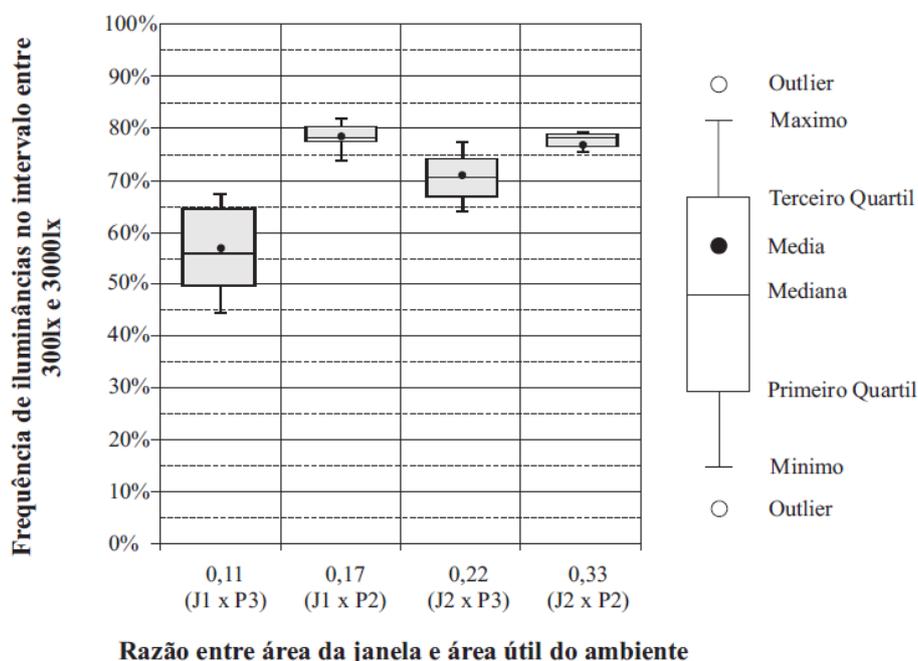
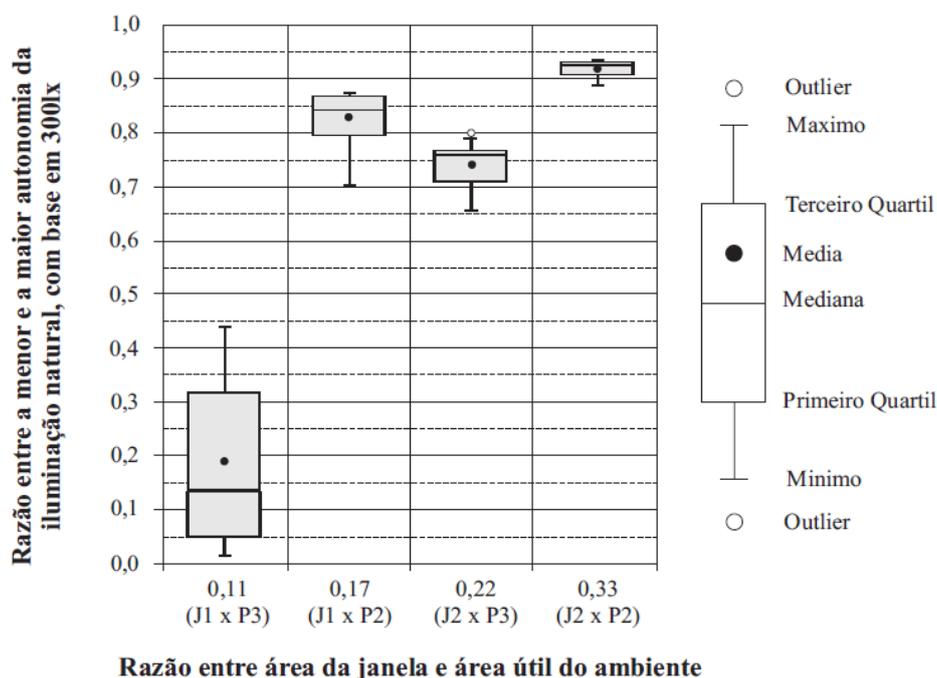


Figura 7 - Razão entre a menor e a maior autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx, para quatro grupos de modelos, com diferentes razões janela/piso



Os dados de frequência anual de iluminâncias acima de 3.000 lx são mostrados no gráfico da Figura 8. Esses dados são referentes aos 240 modelos da amostra e aparecem organizados em quatro grupos, classificados por sua razão janela/piso. Esse indicador está relacionado ao risco de ocorrência de ofuscamento por iluminâncias excessivas. Os grupos com o menor tamanho de janela (J1) tiveram desempenhos melhores que os grupos com maior tamanho de janela (J2), independentemente da profundidade dos modelos. Além da diferença de área de janela, uma maior diferença entre a altura do peitoril e a altura do plano de trabalho também contribuiu para um melhor resultado com J1. No entanto, mesmo os piores desempenhos nos grupos com a maior janela (J2) corresponderam a frequências anuais abaixo de 8,5%, o que pode ser considerado tolerável (MARDALJEVIC *et al.*, 2011). O desconforto visual é afetado pela duração do estímulo e a frequência anual representa o somatório da duração de ocorrências singulares em diversos momentos no decorrer do ano, que podem ser imperceptíveis devido a sua brevidade.

Os dados de consumo final anual de energia para ar-condicionado e iluminação híbrida são apresentados na Figura 9. Esses dados são referentes aos 240 modelos da amostra e aparecem organizados em quatro grupos, classificados por sua razão janela/piso. Os dados de consumo mostraram que o grupo J2xP2 (0,33) apresentou os menores consumos e o menor intervalo de variação, embora os desempenhos nos grupos J1xP2 (0,17) e J2xP3 (0,22) tenham ficado relativamente próximos a ele. O resultado mais relevante é que entre os menores consumos estão os de modelos com o maior tamanho de janela (J2) e a menor profundidade (P3). Isso difere das conclusões de Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) para janela sem sombreamento e concorda com as conclusões de Rodrigues, Dias e Pedrini (2011) e de Lima e Caram (2015) quanto à relação entre tamanho de janela sombreada e eficiência energética. É relevante que modelos com a maior janela tenham estado entre aqueles com os menores consumos energéticos, já que janelas ocupando 66% (2/3) da área da parede contrariam a recomendação corrente de 20% para garantia de eficiência energética (LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 2014; ABNT, 2021).

Uma síntese dos resultados aparece na Figura 10, considerando o valor médio alcançado pelos quatro agrupamentos, nos três indicadores de iluminação natural. O melhor e o segundo melhor desempenho ocorreram no grupo J1xP2 (razão 1/6 = 0,17), pelos três indicadores. O grupo J2xP2 (razão 2/6 = 0,33) teve também os melhores desempenhos, com exceção apenas para o terceiro indicador: iluminação excessiva. O terceiro melhor desempenho ocorreu no grupo J2xP3 (razão 2/8 = 0,22), pelos três indicadores. O grupo J1xP3 (razão 1/8 = 0,11) teve o pior desempenho em dois dos quatro indicadores, com exceção para o terceiro.

Em geral, os resultados indicaram que janela maior gerou maiores frequências de iluminância útil (primeiro indicador), independentemente da profundidade do ambiente. A combinação de janela maior com menor

profundidade gerou maior uniformidade da iluminação (segundo indicador). Janela menor gerou menos iluminação excessiva, independentemente da profundidade (terceiro indicador). Janela maior gerou menor consumo de energia (quarto indicador), efeito que foi mais perceptível na maior profundidade.

Figura 8 - Frequência de iluminâncias no intervalo acima de 3.000 lx para quatro grupos de modelos, com diferentes razões janela/piso

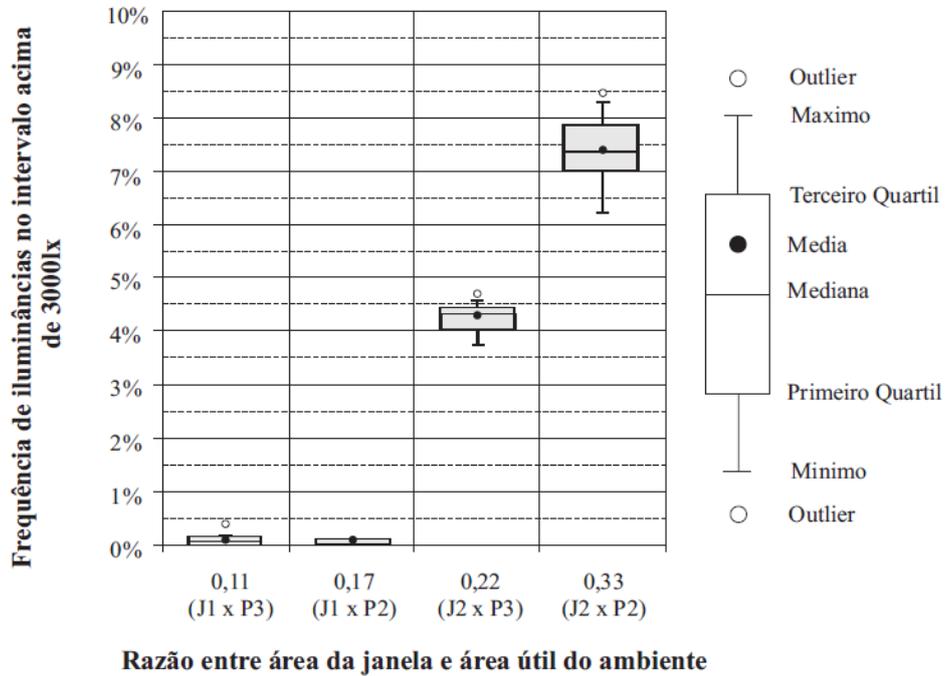


Figura 9 - Consumo de energia elétrica para iluminação e ar-condicionado para quatro grupos de modelos, com diferentes razões janela/piso

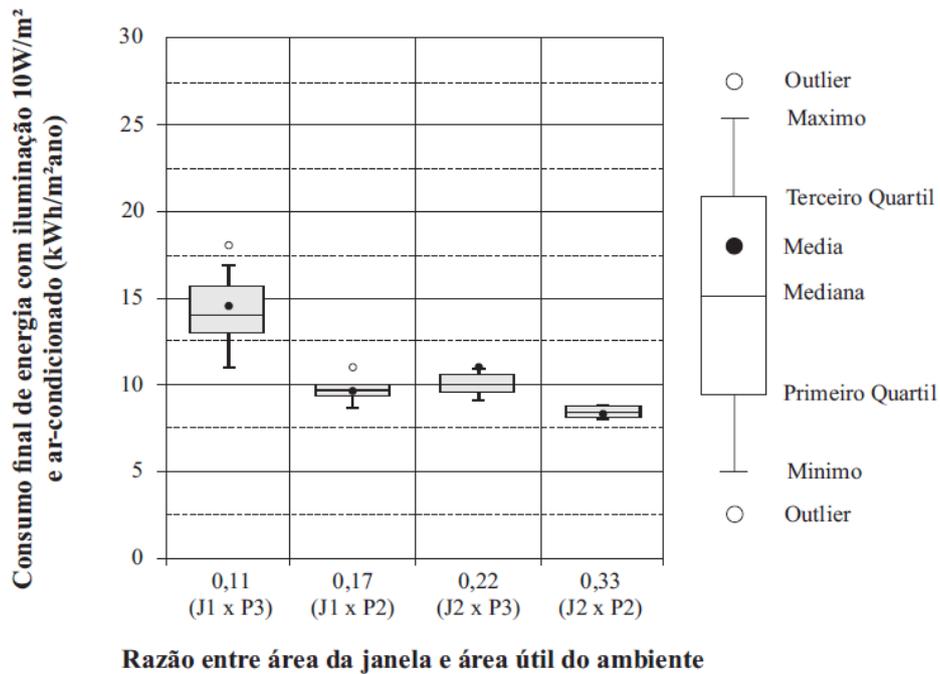
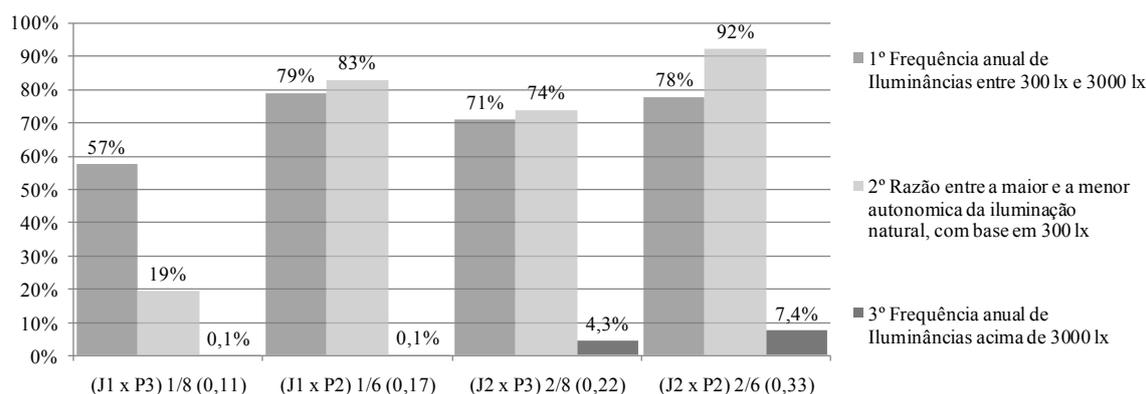


Figura 10 - Síntese da análise pelos três indicadores de iluminação



A avaliação pelos quatro indicadores mostrou que a razão 1/6 (0,17) é eficaz, ratificando recomendação frequente em códigos de obra de municípios brasileiros para cômodos de permanência prolongada (FORTALEZA, 1981; RECIFE, 1997; BRASÍLIA, 1998; FLORIANÓPOLIS, 2000). No entanto, a razão 2/6 (0,33) também apresentou os melhores desempenhos, apesar de estar associada a maiores frequências de iluminação excessiva (> 3.000 lx). Ainda assim, essa razão foi bem-sucedida, uma vez que as frequências anuais de iluminâncias acima de 3.000 lx ficaram abaixo de 8,5% e seu resultado pelos três indicadores restantes foi o melhor. A razão 2/6 (0,33) corresponde a janelas ocupando 2/3 (66%) da área da parede, o que está além do limite de 20% a 30% recomendado na literatura para iluminação natural eficaz e energeticamente eficiente (O'CONNOR *et al.*, 1997; WYMENLEBERG; MEEK, 2013; ABNT, 2021).

Os modelos com profundidade equivalendo a três vezes a altura da borda superior da janela apresentaram desempenho aceitável, mas apenas quando combinados com janela ocupando 2/3 da parede. A razão janela/piso 0,22 ou 1,8/8 ($\approx 2/8$) representa essa combinação. A profundidade equivalente a três vezes a altura da borda superior da janela está além do limite de 1,5 vez, recomendado pela literatura técnica (REINHART, 2005; LAMBERTS; PEREIRA; DUTRA, 2014). A razão 1/8 (0,12) é recomendada em códigos de obra de municípios brasileiros para cômodos de permanência transitória (FORTALEZA, 1981; RECIFE, 1997; BRASÍLIA, 1998; FLORIANÓPOLIS, 2000). O presente estudo avaliou a razão 0,11 ou 0,9/8, que apresentou os piores desempenhos, com exceção apenas para o indicador de iluminação excessiva.

Assim, a razão 2/6 poderia ser também recomendada em códigos de obras, permitindo janelas sombreadas e maiores para o trópico úmido. A razão 2/8 poderia ser recomendada alternativamente, quando recintos mais profundos fossem necessários e desde que se admitisse um desempenho luminoso intermediário.

Essas recomendações seriam válidas dentro das condições de contorno do estudo, que envolveram:

- iluminação híbrida de controle contínuo para iluminância mínima de 300 lx;
- sombreamento total e contínuo da janela entre 8h e 17h, por meio de protetor misto, simples, de cor clara e reflexão difusa, mantendo ângulo vertical de céu visível na janela entre 10° e 20°;
- janela unilateral de formato horizontal, com largura igual à do ambiente, posicionada acima do plano de trabalho e junto ao teto;
- janela com orientação equivalente a azimutes variando positivamente de norte (0°) a sul (180°); e
- largura do ambiente entre duas e três vezes a altura do topo da janela.

Nessas condições, o desempenho luminoso esperado para uma janela equivalendo 2/6 da área útil do ambiente (0,33) no trópico úmido, entre 8h e 17h, atenderia aos seguintes critérios sem prejuízo para a eficiência energética:

- razão entre a menor e a maior autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx, acima de 0,85;
- frequência anual de iluminâncias, no intervalo entre 300 lx e 3.000 lx, acima de 70% das horas de uso; e
- frequência anual de iluminâncias acima de 3.000 lx abaixo de 10% das horas de uso.

O desempenho luminoso esperado para uma janela equivalendo a 2/8 (0,22) da área útil do ambiente, sem prejuízo para a eficiência energética, corresponderia à:

- razão entre a menor e a maior autonomia da iluminação natural, com base em 300 lx, acima de 0,60;

- (b) frequência anual de iluminâncias entre 300 lx e 3.000 lx acima de 60% das horas de uso; e
- (c) frequência anual de iluminâncias acima de 3.000 lx abaixo de 10% das horas de uso.

Considerações finais

O presente trabalho teve por objetivo identificar a razão entre área de janela e piso mais eficaz para iluminação natural e eficiência energética no contexto do trópico úmido do Brasil. O procedimento usado permitiu comparar os desempenhos de grupos de modelos, por meio do intervalo de variação. Isso permite que as recomendações decorrentes das conclusões sejam aplicadas de modo abrangente, dentro dos limites do estudo. Esses limites são definidos pelos valores extremos adotados nas variáveis e pelas constantes consideradas nos modelos.

Os resultados validaram a eficácia da razão 1/6, mas não da razão 1/8, ambas exigidas por códigos de edificações brasileiros. Também demonstraram a eficácia das razões 2/6 e 2/8, com aberturas sombreadas. Essas recomendações não constam em códigos de cidades brasileiras com clima quente e úmido.

Trabalhos futuros poderão ampliar os limites do estudo, aplicando o método proposto na avaliação de outros padrões de recinto, janela e sombreamento em climas subtropicais e tropicais secos. Ainda assim, o presente trabalho demonstrou a existência de limitações nas recomendações correntes na literatura técnica no tocante ao trópico úmido e abordou aspectos não contemplados por estudos anteriores.

Espera-se com isso contribuir para o aperfeiçoamento de recomendações de pré-dimensionamento para iluminação natural eficaz em climas quentes e úmidos. Essas recomendações são importantes como suporte a decisões do arquiteto, durante a etapa preliminar do projeto, a fim de alcançar maior eficiência energética, por meio do aproveitamento da luz natural. Elas também têm influência considerável no ensino e na avaliação de projeto arquitetônico, podendo induzir ao seu aperfeiçoamento e à redução da demanda energética nos edifícios.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. S. C. D.; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicadores de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37-57, abr./jun. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-002 NBR 15575-4**: projeto de emenda: parte 4: requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASÍLIA. **Lei n.º 2.105**, de 8 de outubro de 1998, que dispõe sobre o código de edificações do Distrito Federal. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de outubro de 1998.
- BRUGNERA, R. R. *et al.* Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 295-315, jul./set. 2019.
- CABÚS, R. C. **Tropical daylighting**: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. Sheffield, 2002. Thesis (PhD in Architecture) – University of Sheffield, Sheffield, 2002.
- DESIGNBUILDER. **DesignBuilder v2.2.5.004**. United Kingdom, 2011. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk/>. Acesso em: 11 set. 2021.
- DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Integrated computer simulation for considering daylight when assessing energy efficiency in buildings. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 12., Sidney, 2011. **Proceedings [...]** Sidney, 2011.
- FLORIANÓPOLIS. **Lei Complementar n.º 60**, de 11 de maio de 2000, que institui o código de obras e edificações de Florianópolis e dá outras providências. Florianópolis, Diário Oficial do Município, 11 de maio de 2000.
- FORTALEZA. **Lei n.º 5.530**, de 17 de dezembro de 1981, que dispõe sobre o código de obras e postura do Município de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza, Diário Oficial do Município, 17 de dezembro de 1981.

- GALASIUS, A. D.; REINHART, C. Current daylighting design practice. **Building Research and Information**, v. 36, n. 2, 2007.
- GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambiente para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out./dez. 2005.
- GONÇALVES, J. C.; VIANNA, N. S.; MOURA, N. C. D. S. **Iluminação natural e artificial**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.
- LEADER, S. M.; LEAL, L. D. Q.; LIMA, E. F. C. Percentual de abertura na fachada e tipo de fechamento no desempenho lumínico da edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Campinas, 2015. **Anais [...]** Campinas: ANTAC, 2015.
- LIMA, K. M. D.; CARAM, R. M. Avaliação de sistema 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.
- MARDALJEVIC, J. *et al.* Daylighting metrics for residential buildings. In: SESSIONS OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, Sun City, 2011. **Proceedings [...]**. Sun City, 2011.
- MATOS, J. C. D. S. F.; SCARAZZATO, P. S. A iluminação natural no projeto de arquitetura: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 8, n. 4, p. 7, 2017.
- O'CONNOR, J. *et al.* **Tips for daylighting with windows: the integrated approach**. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- PEREIRA, F. O. R. *et al.* Ferramenta simplificada para a estimativa do desempenho da iluminação natural em edificações residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., Porto Alegre, 2020. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2020.
- PEREIRA, F. O. R.; SCHMITT, M.; MORAES, L. N. Zoneamento luminoso do território brasileiro através de histogramas de frequência acumulada de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas externas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Campinas, 2015. **Anais [...]** Campinas: ANTAC, 2015.
- RECIFE. **Lei n.º 16.292**, de 29 de janeiro de 1997, que regulamentada pelo Decreto n.º 26.688, de 5 de outubro de 2012. Regula as atividades de edificações e instalações, no Município do Recife, e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Recife, 29 de janeiro de 1997.
- REINHART, C. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 9., Montreal, 2005. **Proceedings [...]** Montreal: IBPSA, 2005.
- REINHART, C. F.; WEISSMAN, D. A. The daylit area: correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environment**, v. 50, 2012.
- REINHART, C. **Tutorial on the use of daysim simulations for sustainable design**. Ottawa: National Research Council Canada, 2010.
- REINHART, C.; FITZ, A. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 11, 2006.
- REINHART, C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2006.

REINHART, C.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic radiance-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, p. 283-297, 2001.

RELUX INFORMATIK AG. **Relux Professional**. Münchenstein, 2011. Disponível em: <https://reluxnet.relux.com/en/downloads.html>. Acesso em: 11 set. 2021.

RODRIGUES, C. O. de M.; DIAS, A. R. D.; PEDRINI, A. Grandes aberturas, porém sombreadas: análise da caracterização do sombreamento visando à eficiência energética para o clima quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Búzios, 2011. **Anais [...] Búzios: ANTAC**, 2011.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso de luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 75-86, out./dez. 2013.

TRISHA, S. H.; AHMED, Z. N. A review of the daylight rule of thumb: assessing window head height to daylight zone depth for shading devices in commercial buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN ARCHITECTURE, 1., Dhaka, 2017. **Proceedings [...] Grace**, 2017.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S. **EnergyPlus/Weather**. 2009. Disponível em: <https://energyplus.net/weather>. Acesso em: 15 set. 2021.

VENÂNCIO, R. **Modos projetuais de simulação**: uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura. Natal, 2012. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

WYMELENBERG, K. V. D.; MEEK, C. **Daylight pattern guide**. University of Idaho/University of Washington: New Buildings Institute, 2013. Disponível em: <http://patternguide.advancedbuildings.net/home>. Acesso em: 4 set. 2021.

Iuri Ávila Lins Araújo

Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Arapiraca | Universidade Federal de Alagoas | Rua Dep. José Lages, 345, Ponta Verde | Maceió - AL - Brasil | CEP 57035-330 | Tel.: (82) 99308-5395 | E-mail: iuriav@gmail.com

Leonardo Salazar Bittencourt

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Universidade Federal de Alagoas | Rua Jerônimo de Albuquerque, 431, Ponta Verde | Maceió - AL - Brasil | CEP 57035-020 | Tel.: (82) 99919-8009 | E-mail: lsb54@hotmail.com

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

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

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



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