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

IMPACTO DO CONTEXTO URBANO NA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL NO AMBIENTE INTERNO E NO CONSUMO ENERGÉTICO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Franciele Fontana da Rosa (1); Raphaela Walger Fonseca (2); Fernando O. R. Pereira (3)
(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, franciele@labcon.ufsc.br
(2) Dr, Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, raphaela.walger@ufsc.br
(3) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ruttkay.pereira@ufsc.br Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Cx Postal 476, Florianópolis–SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-4974

RESUMO
A análise de desempenho lumínico já vem sendo incorporada tanto em normas como certificações ambientais e energéticas visando melhorar a qualidade do ambiente interno. Com o adensamento dos centros urbanos, há a necessidade de se verificar qual o impacto do contexto urbano no desempenho das edificações. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência do entorno no desempenho lumínico dos ambientes internos e no consumo energético do sistema de iluminação artificial de uma edificação comercial localizada em São Paulo. Foram analisadas duas situações: um contexto urbano adensado hipotético e um contexto totalmente desobstruído. Como medida de eficiência energética, a edificação em estudo utilizou dimerizadores sensíveis à luz natural para redução do consumo do sistema de iluminação artificial. O estudo aplica simulação computacional realizada nos moldes da LM-83, método americano que define parâmetros de análise da suficiência de iluminação natural e a classificação de eficiência da edificação se deu de acordo com a Instrução Normativa do Inmetro (INI-C), em consulta pública desde 2018. Como resultado, observou-se que há uma variação de mais de 50% entre os dois casos simulados com relação à suficiência de luz natural e um aumento de 52% no consumo anual de energia no sistema de iluminação artificial em um contexto de alta densidade urbana. Com isso, pode-se concluir que a consideração do cenário urbano na análise de desempenho de edificações pode implicar tanto no atendimento às normas e certificações como também em falhas na otimização dos sistemas.
Palavras-chave: Iluminação Natural, Contexto Urbano, Consumo Energético, Eficiência Energética

ABSTRACT
The daylighting performance analysis has been incorporated as in mandatory standards as in environmental and energy certifications. Due to the urban density increased, there is a need to verify how much the urban context can impact on building performance. In this sense, the objective of this paper was to analyze the influence of the urban context in the daylighting access and lighting system energy consumption of a commercial building located in Sao Paulo. It was analyzed in two cases: a hypothetical high-rise urban context and an unobstructed context. As an energy efficiency measure, the building incorporates photo controls use to reduce the consumption of the lighting system. The study applies computational simulation for LM-83, an international method that defines parameters for daylighting access and classification of the building efficiency by following Instrução Normativa do Inmetro (INI-C), in public consultation since 2018. As a result, it can be observed that there is a variation of 50% between the two cases in the daylight performance analysis and an increase of 52% of the lighting energy consumption in a high-rise context. It can be concluded that the consideration of the urban scenario in building's performance analysis can imply both the compliance to the standards and certifications as well as to failures in the system's optimization.
Keywords: Daylighting, Urban Context, Energy Consumption, Energy Efficiency

1. INTRODUÇÃO

A luz natural é um recurso natural, inesgotável e vital para o ser humano em todos os seus aspectos: fisiológico, cognitivo e psicológico. Diversos estudos mostram o quanto a luz natural pode impactar na produtividade dos usuários em ambientes de escritórios (HESHONG, 2003). A produtividade do ser humano é influenciada por diversos fatores, dentre eles a qualidade do ambiente interno que está fortemente relacionada às condições de iluminação (BOYCE *et al*., 2003). Pesquisas baseadas em entrevistas mostram que a maioria dos usuários preferem trabalhar em ambientes majoritariamente iluminados naturalmente (HESHONG, 2011). A luz também pode provocar um efeito de estado de alerta nos seres humanos, funcionando como um estimulante, e, portanto, supõe-se que a exposição a 'altos' níveis de iluminação de efeito circadiano, pode também aumentar os níveis de alerta e vitalidade de usuários em ambientes de escritórios (FIGUEIRO *et al*., 2018).

Outro aspecto relevante em relação ao fenômeno da luz natural é a possibilidade de redução no consumo energético do sistema de iluminação artificial. De acordo com um levantamento realizado pelo CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) (2014), com base em dados da Eletrobrás de 2007, a participação do uso final no consumo energético de edificações comerciais e públicas representa em torno de 45% para ar condicionado e em torno de 20% para iluminação. Novas tecnologias como foto-controles (sensíveis à iluminação natural), por exemplo, podem auxiliar na redução do consumo energético no sistema de iluminação. Um estudo realizado para 536 escritórios existentes na Califórnia, a fim de analisar o quanto foto controles conseguem otimizar o uso de iluminação natural resultou em um potencial de economia de 458,5 GWh de energia por ano e 184,2 MW por demanda de pico (BONNEVILLE *et al*., 2013). Essas tecnologias aliadas a um bom projeto arquitetônico podem, além de trazer benefícios na redução do consumo de energia elétrica, melhorar a qualidade do ambiente interno.

Com o crescimento acelerado das cidades, muitas vezes edificações são construídas em condições ambientais desfavoráveis. Uma alternativa para solucionar estes problemas foi definindo instrumentos regulatórios obrigatórios que definam parâmetros para minimizar este tipo de situação. No Brasil, um destes instrumentos é o código de obras que estabelece a área mínima de abertura para iluminação e ventilação. Em 2013, foi publicada a norma de desempenho de edificações residenciais, ABNT NBR 15:575:2013 (ABNT, 2013), que estabelece, entre outros aspectos, níveis mínimos de desempenho quanto à suficiência de luz natural nos ambientes internos. Atualmente, o Brasil não apresenta nenhum regulamento normativo proposto para avaliar o desempenho lumínico para edificações comerciais. Já no cenário internacional, em 2018, foi reformulada a norma europeia prEN 17037:2018 – Daylight in buildings (CEN, 2018) que prevê que ambientes sejam iluminados naturalmente visando garantir suficiência para o desenvolvimento de tarefas e uniformidade de luz no ambiente interno, determinando iluminâncias necessárias para esses critérios.

Ao longo dos anos também começaram a surgir certificações ambientais e energéticas com o objetivo de incentivar um desempenho superior dos edifícios. Certificações como BREEAM e LEED incorporaram requisitos de iluminação natural a fim de garantir qualidade do ambiente interno das edificações. A certificação LEEDv4, por exemplo, aplica o método LM-83 (IES, 2012), desenvolvido pela Illuminating Engeneering Society – IES. A LM-83, que define duas medidas para a avaliação da iluminação natural: *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) e *Anual Sunlight Exposure* (ASE). A primeira é avalia a suficiência de iluminação para o desenvolvimento de tarefas ao longo do ano. A segunda avalia a possibilidade de desconforto visual. No contexto brasileiro, a Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (INMETRO, 2018), atualmente em processo de consulta pública, permite a contabilização e classificação da economia de energia devido ao aproveitamento da luz natural no consumo energético global de energia primária da edificação. A contabilização se dá pelo levantamento da redução do tempo de uso e/ou da intensidade da potência devido à instalação de foto sensores. Para a avaliação do aproveitamento de iluminação natural a INI-C considera os mesmos critérios da IES LM-83 (IES, 2012). A INI-C avalia o desempenho energético de edificações em uma escala que varia de A, mais eficiente, a E, menos eficiente. Para a avaliação, a edificação é confrontada com uma versão de referência e o seu desempenho é dado pela comparação entre o consumo de ambas. A versão de referência não contempla o uso de sensores e adota uma potência instalada classe D, de acordo com a atividade realizada.

Dentre as normas e certificações citadas, a consideração do entorno das edificações normalmente é citada nos procedimentos para a verificação do desempenho das mesmas, mas não há informações claras quanto à sua abordagem na determinação dos limites mínimos ou escalas de desempenho estabelecidas por elas. A avaliação do desempenho luminoso e energético das edificações levando em conta o seu entorno imediato é de suma importância para caracterizar a condição real de aproveitamento da luz natural como também para garantir um dimensionamento eficaz do sistema de iluminação artificial quando o mesmo está buscando otimizar o uso de iluminação natural. Simulações computacionais devem analisar o entorno das edificações principalmente em situações de meios urbanos já consolidados e adensados visando antecipar

situações que podem comprometer a iluminação natural nos ambientes.

2. OBJETIVO

Analisar o impacto do entorno construído nos níveis de desempenho luminoso e energético de uma edificação comercial.

3. METODOLOGIA

Este estudo foi feito por meio da análise da variação de desempenho luminoso e energético de uma edificação comercial em um contexto urbano de alta densidade construída e em um contexto totalmente desobstruído.

Os procedimentos metodológicos deste trabalho são apresentados em três etapas. Na primeira, foram definidos os parâmetros arquitetônicos e urbanísticos a serem estudados. Na segunda, foram definidos os parâmetros de entrada para a simulação computacional, tais quais recomendados pela LM-83 (IES, 2012), o posicionamento dos sensores de iluminação natural e a densidade de potência de iluminação. Na terceira, verificou-se a consumo anual de iluminação resultantes da simulação para classificação de acordo com a INI-C.

Para se atingir o objetivo proposto, a edificação comercial em seus dois contextos, teve o seu desempenho luminoso e energético simulado considerando a simulação anual horária baseada no clima. Para viabilizar a análise da variação de desempenho, adotou-se o método da INI-C (INMETRO, 2018), e os resultados obtidos para a edificação em seus dois contextos foram comparados com a edificação em sua condição de consumo do sistema de iluminação classe D e na sua condição real caso não houvessem sensores de luz natural instalados na edificação.

3.1. Definição do modelo de simulação

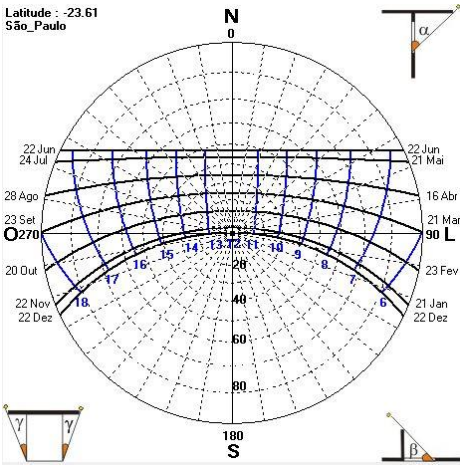


Figura 1 – Carta Solar São Paulo
Fonte: Sol-AR 6.2

O modelo arquitetônico foi desenvolvido no software Rhinoceros/Grasshopper (MCNEEL; ASSOCIATES, 2014). A modelagem baseou-se no edifício adotado como exemplo para a aplicação do novo método da INI-C (INMETRO, 2018) fornecido pelo site CB3e (CB3e, 2018). Para a elaboração do modelo, adotaram-se as características da condição real da edificação. A edificação exemplo é de uso comercial, tipologia escritório com planta livre, sua geometria é retangular e composta por 5 pavimentos. A edificação possui aberturas laterais em fita para as quatro orientações e não possui abertura zenital.

O modelo foi simulado considerando o arquivo climático de São Paulo. Na Figura 1, é apresentada a carta solar da cidade apresentando os dados de latitude, altitude e trajetória solar. Considerou-se que a fachada principal, com maior afastamento das obstruções e, consequentemente, maior visibilidade de céu, fosse orientada à Sul, de forma a simular uma condição restritiva para a suficiência de iluminação natural, considerando que esta recebe pouca incidência solar direta. O modelo a ser simulado possui dimensões 20 m x 25 m e foi centralizado no lote e alinhado com as demais edificações. As aberturas da edificação estão centralizadas na parede e possuem dimensões iguais a 0,50 m de peitoril e 1,60 m de altura, que representa 50% de abertura na fachada conforme identificado na Tabela 1.

O modelo foi estudado em dois cenários, o primeiro, em uma condição hipotética de obstrução densa (ver Figura 2a e 2b) e o segundo em um contexto completamente desobstruído (ver Figura 3a e 3b). Para caracterização do entorno construído, considerou-se que todas as edificações seriam mais altas que a edificação analisada e possuiriam uma taxa de ocupação também alta. O entorno se caracteriza por uma malha ortogonal, regular e homogênea. Os lotes possuem dimensões de 30 m x 35 m. As edificações vizinhas possuem dimensões 26,50 m x 31,50 m e estão afastadas 1,75 m dos limites do terreno. As informações sobre os parâmetros arquitetônicos e urbanísticos encontram-se listadas na Tabela1.

Tabela 1 – Listagem de parâmetros arquitetônicos e urbanísticos

Parâmetros Arquitetônicos	**Condição avaliada**	**Parâmetros Urbanísticos**	**Condição avaliada**
Forma	Retangular	Morfologia urbana	Regular

Orientação solar	N, S, L, O	Tipo de entorno	Homogêneo
PD - Pé Direito (piso a teto) (m)	3,00	Taxa de Ocupação (%)	80
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	50	Coeficiente de aproveitamento	5,56
Número de pavimentos	5	Altura (m)	22
Refletância Teto	0,8	Caixa da rua (m)	17
Refletância Piso	0,2	Afastamento entre edifícios (m)	1,75
Refletância Parede	0,5	Refletância Edifícios	0,5
Transmissão Visível Vidro	0,55		

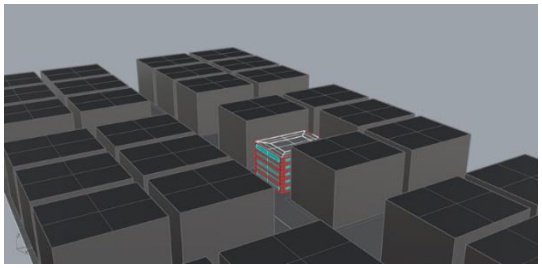


Figura 2a: Entorno de alta densidade em perspectiva

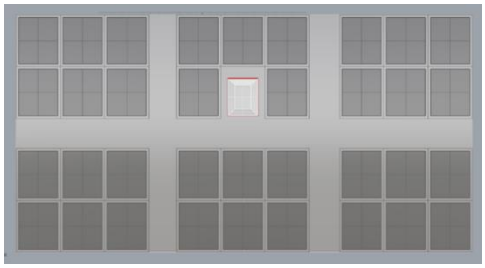


Figura 2b: Entorno de alta densidade em planta baixa

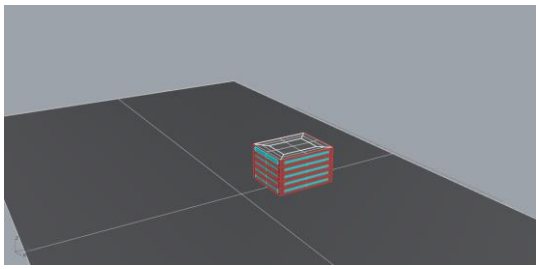


Figura 3a: Entorno totalmente desobstruído em perspectiva

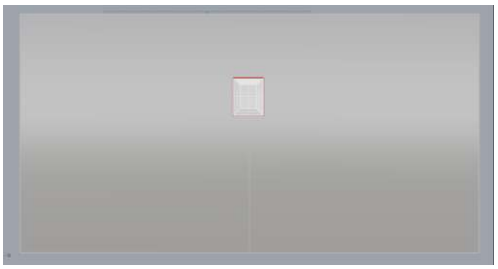


Figura 3b: Entorno totalmente desobstruído em planta baixa

3.2. Definição dos parâmetros de entrada da simulação

A simulação computacional de iluminação natural foi desenvolvida no software Rhinoceros/Grasshopper MCNEEL; ASSOCIATES, 2014), utilizando o plug-in DIVA (Design, Interate, Validate, and Adapt) (SOLEMMA LLC, 2014). A INI-C (INMETRO, 2018) avalia a edificação com base em uma análise por zona térmica. Dessa forma, como o modelo arquitetônico adota a tipologia de um edifício de escritórios de planta livre e a divisão das zonas para gerar as malhas de cálculo dos planos de análise se deu com base no modelo térmico da ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2016), ver Figura 4. O plano de análise foi posicionado a 0,75 metros de altura do piso acabado e o espaçamento da malha foi considerado 0,5 m x 0,5 m.

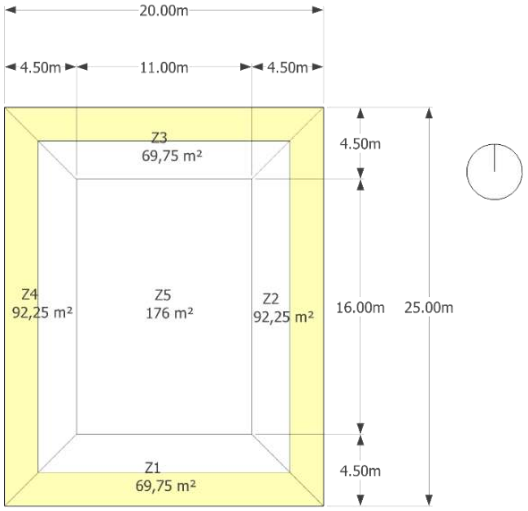


Figura 4: Zoneamento da malha e posicionamento dos sensores

Para a análise de desempenho energético, o modelo foi calibrado com sensores de dimerização ideal sensíveis à iluminação natural. O posicionamento dos sensores foi definido de acordo a zona primária de iluminação natural lateral também definida pela ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2016). Esta se refere à área diretamente adjacente à área de abertura vertical. A largura dessa zona é dada pela largura da abertura que está sendo analisada, somada à metade da altura da abertura, medida do piso acabado até a verga, para cada lado. A sua profundidade é definida como a distância horizontal perpendicular à altura da fenestração. Sua dimensão é equivalente a uma vez a altura do piso acabado até a verga. Sendo assim, os sensores foram posicionados a 2,1 m de profundidade seguindo o posicionamento da malha, conforme a zona em cor amarela apresentada na Figura 4. A largura considerada foi equivalente à largura total do pavimento visto que as aberturas analisadas ocupam toda a fachada da edificação. O *set point* para a ativação dos sensores foi de 500 lux, conforme estabelece a norma brasileira para iluminação de interiores para ambientes com atividades de escritório (ABNT ISO-CIE 8995-1 2013). Adotou-se a densidade de potência de iluminação da condição real do edifício exemplo fornecido pelo CB3e (CB3e, 2018), igual a 9,6 W/m^2.

A simulação para analisar o desempenho de iluminação natural foi programada nos moldes da LM-83 (IES, 2012), método desenvolvido pela DMC (Daylighting Metrics Committee) da Illuminating Engeneering Society – IES para a avaliação do desempenho luminoso de ambientes internos. O método define que a iluminação natural deve ser avaliada de acordo com o parâmetro de Autonomia da Luz Natural Espacial (*Spatial Daylight Autonomy*, $sDA_{300lx,50\%}$) que é de 300 lux para 50% das horas anuais, considerando um período anual. Segundo o método, são considerados limites aceitáveis quando 55% da área do ambiente atingir estes critérios e são considerados limites preferíveis quando 75% da área atingir os mesmos critérios.

Segundo esta metodologia também é possível identificar os níveis de Exposição Anual à Luz Solar Direta (*Anual Sunlight Exposure,* $ASE_{1000lx,250h}$) que consiste na variação de 0 a 100% da área do piso com iluminância que excede 1000 lux a partir de 250 horas anuais. Para a análise desta medida, de acordo com o protocolo de simulação da LM-83, a mesma deve ser calibrada de modo que a malha possua sensores de persianas que devem ser acionados sempre que 2% da área total da zona que está sendo analisada atingir valores superiores a 1000 lux (IES, 2012).

A simulação foi realizada no modelo *CBDM (Climate Based Daylight Modelling),* que se caracteriza pela previsão de qualquer quantidade luminosa, usando condições realistas de sol e céu, derivadas de dados climáticos padronizados (MARDALJEVIC, 2000, REINHART e HERKEL, 2000). As avaliações que utilizam a CBDM são realizadas, geralmente, para um ano inteiro, em um intervalo de tempo de uma hora ou menos, a fim de capturar a dinâmica diária e sazonal da luz natural (MARDALJEVIC E CHRISTOFFERSEN, 2017). Neste estudo foi utilizado o arquivo climático da base INMET 2018 para São Paulo. O arquivo climático está disponibilizado no site do LABEE (LABEE, 2018). Foram consideradas 10h de ocupação, das 8h às 18h, ao longo dos 365 dias do ano, sem variação de padrão de uso e ocupação durante todo o período, exceto pelos sensores de luz natural.

3.3. Cômputo da potência de iluminação em uso e aplicação da INI-C

Para analisar o potencial de economia de energia primária para o sistema de iluminação foi utilizado como base o documento da INI- C que está em consulta pública, fornecido pelo INMETRO em 10 de julho de 2018, a respeito do aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e de Serviços Públicos (INMETRO, 2018).

Os dados do consumo energético do sistema de iluminação artificial foram obtidos por meio da simulação computacional, com base nos dados de entrada descritos no item 3.2. A partir dos dados de consumo foi possível quantificar a potência de iluminação instalada em uso no edifício considerando o aproveitamento de luz natural. Os resultados obtidos foram analisados de acordo com os horários de ocupação previstos na etiquetagem para edificações de escritórios (10 horas por dia e 260 dias no ano) (INMETRO, 2018).

Para a classificação do sistema de iluminação dos casos estudados foi utilizada a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), também presente no anexo A do regulamento descrito na consulta pública do INMETRO, e segue a seguinte escala:

Tabela 2: Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética do sistema de iluminação artificial

Classe de Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> PI_{TREF} - 3i	> PI_{TREF} - 2i	> PI_{TREF} - i	> PI_{TREF}
Limite inferior	≤ PI_{TREF} - 3i	≤ PI_{TREF} - 2i	≤ PI_{TREF} - i	≤ PI_{TREF}	-

Fonte: INMETRO, 2018

Para o cálculo *i* do intervalo é utilizada a seguinte equação:

$$i = \frac{(PPI_{TREF} ITREF - PI_{TA} PITA)}{3} \quad \text{Equação 1}$$

Fonte: INMETRO, 2018

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre classes;

PI_{TREF} é a potência instalada total considerando-se a condição de referência D do método escolhido [kW];

PI_{TA} é a potência instalada total considerando-se a classe A do método escolhido [kW].

Para fins de comparação, os resultados foram confrontados com os resultados da avaliação da condição real e a condição de referência apresentados no exemplo de aplicação do INI-C para edificações de escritórios, disponível no site do CB3e (CB3e, 2018). O sistema de iluminação da condição real não possui sensores instalados para o aproveitamento da iluminação natural, corresponde à classe B, com potência instalada de 24,25 kW e o consumo anual de 63.050 kWh/ano. A condição de referência, classe D, considerou uma potência instalada de 35,25 kW e um consumo anual de 91.650 kWh/ano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados para os dois cenários analisados, em um contexto totalmente desobstruído e em um contexto urbano altamente adensado. As análises foram realizadas para todos os pavimentos e zonas da edificação.

4.1. Comparação de resultados para sDA e ASE

A primeira análise realizada foi a quantificação da área total de piso que atende aos critérios de iluminação natural de acordo com a LM-83. Os resultados obtidos pelas simulações mostraram que, para o contexto urbano de alta densidade, apenas 35% da área total da edificação atinge ou supera o alvo de $sDA_{300lx,50\%}$, enquanto no contexto totalmente desobstruído é possível atingir 87% da área para o mesmo critério. Quanto ao $ASE_{1000lx,250h}$, foram obtidos resultados iguais a 4% da área total do edifício para o contexto altamente adensado e 35% para o contexto totalmente desobstruído. O entorno reduz a área do ambiente que recebe radiação solar direta, mas aumenta a contribuição da componente refletida externa - CRE. Dessa forma, com a consideração do entorno, a probabilidade de ofuscamento, associada ao ASE é reduzida, diminuindo a frequência de fechamento das persianas computadas pela simulação. Com isso, o modelo com entorno contabiliza a contribuição da CRE para o ambiente interno, favorecendo o aumento dos níveis de $sDA_{300lx,50\%}$. Entretanto, o caso estudado mostrou que a condição desobstruída resultou em desempenho superior de $sDA_{300lx,50\%}$, mesmo com a simulação considerando o fechamento automático das persianas por um período maior que o cenário anterior.

De acordo com os gráficos apresentados na Figura 5 e na Figura 6, pode-se perceber que para o cenário em que o contexto é altamente adensado, mesmo o entorno apresentando características homogêneas com relação à altura dos edifícios e às refletâncias, todas as zonas e todos os pavimentos apresentaram grande variabilidade nos resultados para as duas medidas analisadas. No cenário em que o contexto está totalmente desobstruído, os valores de $sDA_{300lx,50\%}$ atingiram 100% da área em todas as zonas de todos os pavimentos, exceto a zona central (zona 5). A variação da área de atendimento ao $sDA_{300lx,50\%}$. na zona central foi de aproximadamente 60%, para todos os pavimentos da edificação do contexto desobstruído. Quanto ao cenário de entorno adensado, a variação da área de atendimento foi de 0 a 10%, conforme o pavimento.

Notou-se que a fachada sul foi a que resultou na melhor classificação de sDA. Na Figura 5, pode-se perceber que a zona 1, que representa a área voltada para a fachada sul, no contexto de alta densidade atinge

níveis de $sDA_{300lx,50\%}$, superiores a 75% da área, em todos os pavimentos mesmo apresentando níveis de ASE nulos. Já para as demais orientações, não foi possível atingir o mesmo resultado, ainda que estas apresentem uma porcentagem da área contabilizada pela métrica ASE, que se caracteriza pela incidência de radiação solar direta. Esta situação ocorre, pois de acordo com a Carta Solar de São Paulo (ver Figura 1) apresentada no item 3.1, a fachada sul recebe incidência solar direta somente no início da manhã e no final da tarde durante o período de verão (de 20 de outubro a 23 de fevereiro), quando o sol está a uma altura de aproximadamente 50° a 80°. Com isso, pode-se perceber que as zonas localizadas na fachada sul não recebem incidência solar direta suficiente para atingir uma iluminância superior a 1000 lux em sua área por mais de 250 horas no período anual considerado pela simulação.

Podemos analisar que o aspecto que possivelmente gerou esta diferença entre as quatro zonas foi o fator de céu visível, que caracteriza a posição da janela com maior ou menor visibilidade de céu. A fachada sul, por estar voltada para a caixa da rua possui maior afastamento da obstrução e, portanto, maior visibilidade de céu. Já nas fachadas norte, leste e oeste, a proximidade entre fachada e obstrução externa proporciona menor visibilidade de céu o que impacta tanto na radiação solar direta quanto indireta que incidem no ambiente interno.

Em especial no caso do contexto urbano de alta densidade, uma baixa transmissão visível do vidro (55%) pode ter influenciado no atendimento ao alvo $sDA_{300lx,50\%}$. Entretanto, caso fosse considerada uma transmissão visível maior (p.ex. vidro comum), acredita-se que o desempenho lumínico dos ambientes seria superior.

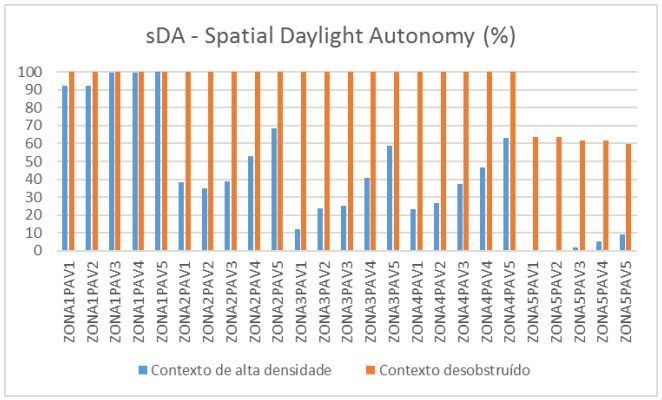


Figura 5: Comparação entre os valores de sDA em contexto urbano de alta densidade e contexto desobstruído

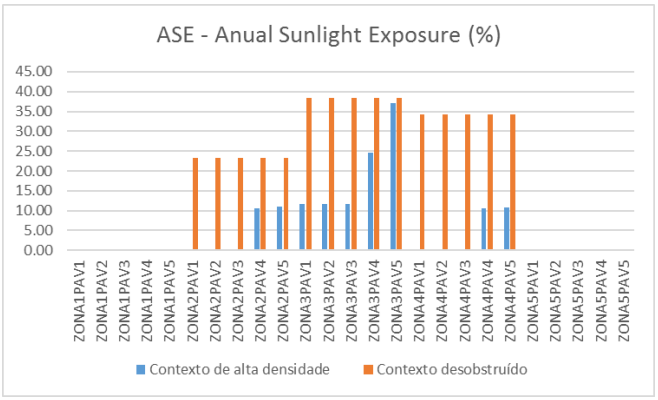


Figura 6: Comparação entre os valores de ASE em contexto urbano de alta densidade e contexto desobstruído

As figuras 7 à 14 apresentam os gráficos da distribuição da iluminação natural no plano de análise, vista em planta. Os resultados apresentados correspondem ao pavimento térreo e ao quinto pavimento da edificação, com e sem entorno. Esses pavimentos foram escolhidos buscando analisar os dois extremos da edificação. No cenário com entorno altamente adensado, o primeiro pavimento apresentou sDA igual a 26% da área e ASE igual a 2%. Enquanto no quinto pavimento o sDA foi de 50% da área e o ASE, 9%. Nota-se que apesar do aumento da área em que o sDA foi atendido e o ASE foi excedido, o aumento da área de atendimento do sDA foi significativamente superior ao excesso de ASE, resultantes da maior disponibilidade de luz do quinto pavimento. Quando o edifício foi colocado numa situação de entorno completamente desobstruído, o alvo de $sDA_{300lx,50\%}$ foi atingido em 87% e 86% da área para o primeiro e o quinto pavimento, respectivamente. Já para o ASE, ambos os pavimentos obtiveram 16% da sua área superando o limite de 1000 lux, em 250h do período de ocupação.

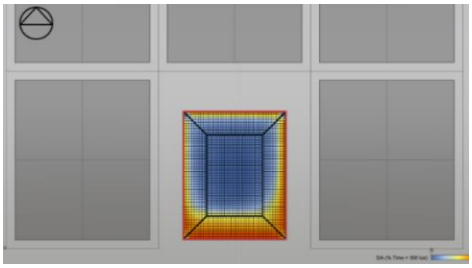


Figura 7: sDA no pavimento térreo com entorno

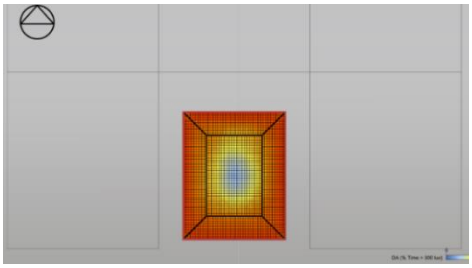


Figura 8: sDA no pavimento térreo sem entorno

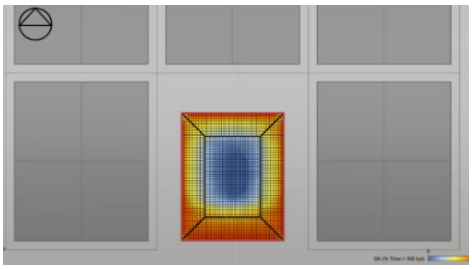


Figura 9: sDA no quinto pavimento com entorno

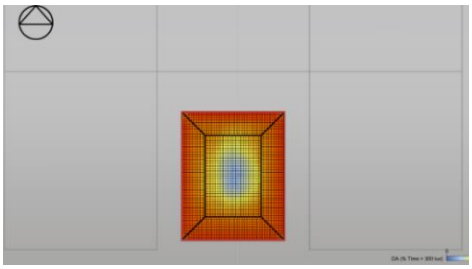


Figura 10: sDA no quinto pavimento sem entorno

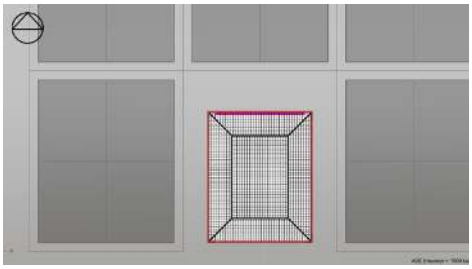


Figura 11: ASE no pavimento térreo com entorno

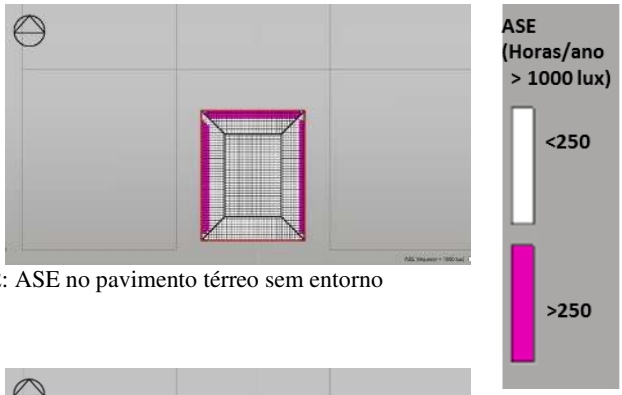


Figura 12: ASE no pavimento térreo sem entorno

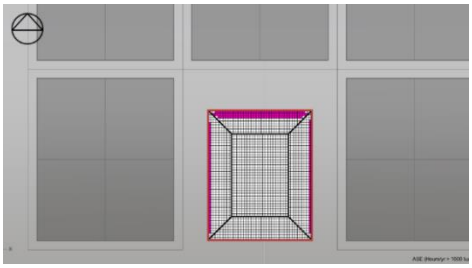


Figura 13: ASE no quinto pavimento com entorno

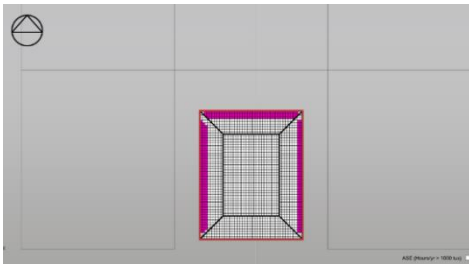


Figura 14: ASE no quinto pavimento sem entorno

4.2. Aplicação dos resultados obtidos à INI-C - Comparação consumo energético

Com base nas simulações realizadas, obtiveram-se resultados que mostram que o consumo energético do sistema de iluminação é 52% maior no cenário com entorno em relação ao cenário totalmente desobstruído. A Figura 15 mostra o quanto o sistema consumiu por zona analisada considerando um período anual. Nota-se novamente, que a situação com entorno apresenta uma variabilidade maior de resultados entre os pavimentos, se comparada com o cenário totalmente desobstruído.

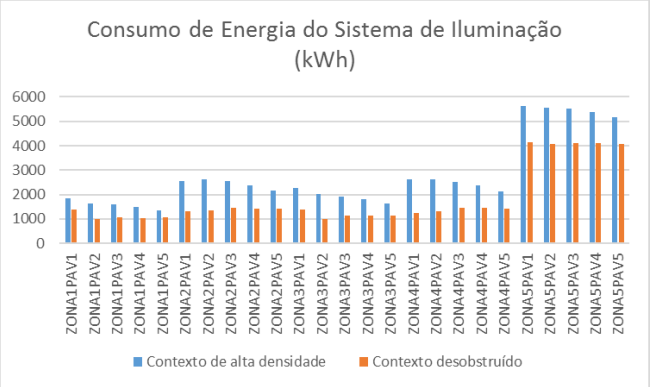


Figura **15**: Comparação consumo de energia anual do sistema de iluminação em contexto urbano de alta densidade e contexto desobstruído

A partir dos resultados gerados com as simulações foi possível quantificar e comparar os resultados obtidos com a condição de referência e a condição real do edifício exemplo do CB3e (CB3e, 2018). As tabelas 3 e 4 mostram os resultados obtidos. Para ambos os casos, o aproveitamento da iluminação natural por meio da consideração de sensores, elevou a classificação do sistema de iluminação da edificação em sua condição real para A, considerando-se ambos os cenários estudados, com e sem entorno.

Tabela 3 – Consumo do sistema de iluminação

	Condição Real com iluminação natural e sem entorno	**Condição Real com iluminação natural e com entorno**	**Condição Real sem iluminação natural**	**Condição de Referência (D)**
hOcc* (Edif. Exemplo)	10			
Média de dias úteis/ ano	260			
Consumo Total Iluminação (kWh/ano)	**32.513,70**	**49.330,12**	**63.050,00**	**91.650,00**

Tabela 4 – Potência instalada e classificação da etiqueta

	Condição Real com iluminação natural e sem entorno	**Condição Real com iluminação natural e com entorno**	**Condição Real sem iluminação natural**	**Condição de Referência (D)**
Potência instalada de iluminação do Edifício (kW)	12,51	18,97	24,25	35,25
Classificação	**A**	**A**	**B**	**D**

*hOcc: Horas de Ocupação Diária

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho analisou a variação de desempenho luminoso e energético de uma edificação comercial em um contexto urbano de alta densidade construída e em um contexto totalmente desobstruído. Os resultados mostraram uma variação do desempenho luminoso superior a 50% entre os dois casos, considerando condições de suficiência de iluminação natural. Quanto ao desempenho energético, a edificação simulada em um contexto urbano de alta densidade apresentou um consumo 52% superior em relação à edificação simulada em um contexto totalmente desobstruído para o sistema de iluminação artificial.

Os resultados para condições de suficiência de iluminação natural (sDA) nos primeiros pavimentos da edificação no contexto adensado apresentaram valores abaixo dos critérios considerados aceitáveis pelo método LM-83, com exceção da zona voltada para a fachada sul. Ela apresentou um desempenho considerado preferível, de acordo com o método. Este resultado está relacionado ao fato dela estar voltada para a caixa da rua e possuir o maior afastamento em relação à obstrução externa. Já para o cenário totalmente desobstruído, todas as zonas periféricas de todos os pavimentos superaram o desempenho considerado preferível, enquanto a zona central apresentou desempenho considerado aceitável.

Observou-se também que mesmo em um contexto adensado foi possível atingir uma redução considerável no consumo do sistema de iluminação. A utilização de sensores fotométricos elevou a classificação do sistema de iluminação da classe B para classe A, de acordo com a INI-C. Segundo os cálculos realizados, o cenário que a edificação estava em um contexto adensado apresentou uma redução de 22% no consumo em relação à condição real (edifício exemplo) em que a potência de iluminação não leva em

consideração a aplicação de foto sensores. A integração dos sistemas de iluminação natural e artificial por meio do projeto luminotécnico, com a adequada combinação entre divisões dos circuitos e o uso de sensores de aproveitamento de luz natural, possibilita um potencial de economia considerável.

A consideração do entorno em avaliações de iluminação caracteriza uma maior aproximação das condições reais. Avaliar o desempenho de um edifício quanto à iluminação natural sem considerar seu contexto urbano consiste em uma situação praticamente inexistente na atualidade. Análises que desconsideram a influência do entorno podem implicar no atendimento a normas, classificação certificações e no dimensionamento adequado dos sistemas em geral, mas, principalmente, o de iluminação. Sugere-se que futuros trabalhos se aprofundem no tema, principalmente, levando em consideração contextos urbanos reais que se encontram em situações de entorno já consolidado e adensado. Além disso, também se sugere que futuros estudos levem em consideração o entorno para simulações termo energéticas, visto que o contexto urbano também pode causar influência na carga térmica das edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residencial Buildings **American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers**. 90.1Atlanta, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO/CIE 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

BONNEVILLE, C.; SAXENA, M.; PERRY, T.; HESCHONG, L. **FINAL PROJECT REPORT OFFICE DAYLIGHTING POTENTIAL Task 3 of the PIER Daylighting Plus Research Program,** 2013.

BOYCE, P. R., HUNTER, C., & HOWLETT, O. The Benefits of Daylight through Windows. **Capturing the Daylight Dividend Program, 1,** 1–88, 2003

CB3E**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br> Acesso em dezembro de 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável. **CBCS, PNUMA e MMA: 2014**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/download.asp?fsfCode=21D41D25-00C8-07BF-9EAB-40FD3290798B>. Acessado em julho de 2019

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. prEN 17037:2018 – **Daylight of buildings. European Standards.** CEN/TC 169. Date: May 2018, ICS 91.160.01, 2018

FIGUEIRO, MG.; KALSHER M.; STEVERSONC BC.; HEERWAGEN J.; KAMPSCHROER K.; REA MS. Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers. **Lighting Research and Technology**. p. 1-13. 2018.

HESHONG, L. Daylight Metrics. **Heshong Mahone Group - Public Interest Energy Research - California Energy Commission.** Fair Oaks: fevereiro 2012. (CEC-500-2012-053), 387 p.

HESHONG, L. Window and Offices: A study of Office Worker Performance and the Indoor Environment. **Heschong Mahone Group - Public Interest Energy Research - California Energy Commission.** Fair Oaks: outubro 2003. (P500-03-082-A-9). 143 p.

ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) – **IES** LM-83-12. **Illuminating Engineering Society of North America**. Nova Iorque. 2012.

INMETRO. CONSULTA PÚBLICA. Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ministério do Desenvolvimento**. Portaria n.º 248. INMETRO, 2018.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018> Acesso em: dezembro de 2018.

MARDALJEVIC, J.; CHRISTOFFERSEN, J., `Climate connectivity' in the daylight factor basis of building standards. **Building and Environment**, v. 113, p. 200-209, 2017.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research and Technology**, v. 32, n. 2, 2000. 7 p.

MCNEEL, 2014. Rhinoceros. Disponível em < https://www.rhino3d.com/ > Acessado em novembro de 2018

PROCEL INFO . Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**. Edificações**. Disponível em http://www.procelinfo.com.br/>. Acessado em: maio de 2019.

REINHART, C. F.; HERKEL, S. The simulation of annual daylight illuminance distributions -- a state-of-the-art comparison of six RADIANCE based methods. **Energy and Buildings**, v. 32, n. 2, p. 167-187. 2000.

SOLEMMA LCC, 2014. DIVA-FOR-GRASSHOPPER. Disponível em <https://www.solemma.com/> Acessado em novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Bolsista do CNPq - Brasil 151988/2018-8 e bolsista do CNPq – Brasil 307179/2016-8) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.