A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS URBANÍSTICAS NA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL NO AMBIENTE INTERNO

Stella B. Hoppe (1); Cristina E. de Alvarez (2); Andréa C. Laranja (3)
(1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, stellahoppe@yahoo.com.br
(2) PhD, Professora no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, cristina.engel@ufes.br
(3) PhD, Professora no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, andreacoelholaranja@gmail.com
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, Laboratório de Planejamento de Projetos, Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória–ES, 29075-910, Tel.: (27) 4009-2581

RESUMO
No atual contexto de pandemia pela COVID-19, em que as pessoas tendem a permanecer por longos períodos no interior das edificações, tem aumentado a importância do adequado aproveitamento da luz natural nos ambientes internos, visto seus efeitos na saúde física e mental da população. Nesse sentido, destaca-se que a quantidade e a qualidade da luz natural no interior das edificações sofre a influência do ambiente construído, especialmente dos elementos obstruidores do entorno. Diante do exposto, esta pesquisa objetivou avaliar a influência de variáveis urbanísticas no desempenho da iluminação natural no ambiente interno. A metodologia consistiu em um estudo paramétrico, por meio de simulações computacionais no Programa *TropLux* para três tipos de céu padrão da CIE (3, 7 e 12). A análise foi realizada a partir da comparação dos valores médios anuais de iluminância, dos percentuais enquadrados nos intervalos das UDI's (*Useful Daylight Illuminances*) e dos índices de uniformidade, considerando as principais orientações cardeais. Constatou-se que, dentre as variáveis urbanísticas analisadas, a altura das edificações é o índice que exerce maior influência para a variação dos níveis lumínicos e dos percentuais das UDI's, contudo, o efeito das obstruções pode ser minorado através da ampliação da largura de via, reforçando a relevância da vinculação entre a altura das edificações e afastamentos entre as mesmas. Além disso, observou-se que as demais variáveis externas pouco contribuem para alterações nos índices de uniformidade da iluminação no ambiente interno.

Palavras-chave: iluminação natural, variáveis urbanísticas, simulação computacional.

ABSTRACT
In the current context of the pandemic by COVID-19, in which people tend to stay for long periods inside buildings, the importance of adequate use of natural light in indoor environments has increased, given its effects on the physical and mental health of the population. In this sense, it is noteworthy that the quantity and quality of daylight inside the buildings is influenced by the built environment, especially by the obstructing elements of the surroundings. Given the above, this research aimed to evaluate the influence of urban variables on the performance of natural lighting in the indoor environment. The methodology consisted of a parametric study, using computer simulations in the TropLux Program for three types of CIE standard skies (3, 7 and 12). The analysis was carried out by comparing the average annual values of illuminance, the percentages within the intervals of the IDUs (Useful Daylight Illuminances) and the uniformity indexes, considering the main cardinal orientations. From the results, it was verified that, among the urban variables analyzed, the height of buildings is the index that has the greatest influence on the variation of lighting levels and the percentages of UDIs. However, the effect of obstructions can be reduced by expanding the width of the road , reinforcing the relevance of the link between the height of the buildings and the distance between them. In addition, it was observed that the other external variables had a small contribution related to the changes in the uniformity indexes of lighting in the internal environment.

Keywords: daylighting, urban variables, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural destaca-se pela vantagem de ser uma fonte de energia natural, não poluente e de custo zero, podendo o seu aproveitamento ser uma eficiente ferramenta na redução do gasto energético de uma edificação. Ao mesmo tempo, os benefícios proporcionados pela utilização adequada da luz natural transcendem à esfera do ambiente construído, influenciando na saúde, bem-estar, produtividade e comportamento dos seres humanos, observando-se ainda a preferência majoritária dos usuários por ambientes iluminados naturalmente (YAO et al., 2020; ERIKSSON, 2019).

Conforme Robbins (1986) e Harb e outros (2015), a luz natural é a fonte luminosa mais próxima da resposta visual humana, fato este que, somado a fatores como quantidade, distribuição da iluminância, entre outros, contribuem para uma maior qualidade visual no ambiente iluminado, diminuindo o esforço físico ocular e melhorando a percepção do ambiente construído pelo usuário. Além disso, a variação da luz natural ao longo do dia e estações do ano é fundamental para o funcionamento do corpo humano, pois regula o sistema circadiano, interferindo nos níveis hormonais, como na melatonina e no cortisol, os quais estão relacionados a transtornos do sono e sintomas depressivos (HARB et al., 2015; KONIS, 2019; ALBINI, 2020).

No cenário atual, devido à pandemia ocasionada pelo novo Coronavírus (COVID-19), medidas de controle e prevenção, como o distanciamento social, a quarentena e o isolamento, têm sido adotadas visando atenuar a transmissão e propagação do vírus (WORLD..., 2020; FARÓ et al., 2020). Diante disso, grande parte da população tem permanecido mais tempo em casa, passando a executar as atividades cotidianas de forma remota. Assim, os espaços residenciais estão sendo utilizados para trabalhar, estudar, fazer compras, exercícios físicos e momentos de lazer. Logo, o conforto ambiental no interior das edificações assume uma importância ainda maior, tendo em vista que esses espaços precisam ser confortáveis, sob o ponto de vista lumínico, térmico, acústico e ergonômico, visando estimular a permanência do usuário, por um tempo prolongado, no recinto (PETERS; HALLERAN, 2020).

Diversas pesquisas têm investigado os efeitos do novo Coronavírus sobre a saúde física e mental da população, bem como apontado a relevância do ambiente construído e da luz natural no enfrentamento da Covid-19 (FARÓ et al., 2020; CARRIGAN et al., 2020; PETERS; HALLERAN, 2020). Segundo um estudo realizado por Peters e Halleran (2020), no Reino Unido, as restrições provocadas pela pandemia no que tange à redução dos exercícios ao ar livre e à exposição à luz natural tem impactado negativamente o ciclo fisiológico e a qualidade do sono das pessoas, resultando em quadros de ansiedade e piora do humor.

Carrigan e outros (2020), realizaram uma revisão bibliográfica, em mais de 140 publicações, sobre assuntos relacionados à psicologia ambiental, tecnologia das construções, arquitetura e qualidade de vida em edifícios residenciais, bem como os possíveis impactos negativos da Covid-19 na habitação. A partir desse levantamento, os autores identificaram correlações entre as estratégias de projeto de arquitetura e a promoção da saúde dos usuários. Em síntese, os ambientes residenciais projetados de forma adequada podem contribuir positivamente para o bem-estar, conforto, qualidade de vida, melhorando a saúde física e mental dos seus ocupantes. Nesse sentido, percebe-se a ampliação da importância em desenvolver estratégias de projeto que possibilitem o melhor aproveitamento da luz natural, seja para proporcionar qualidade visual para a realização das atividades, seja como forma de ampliar a relação interior/exterior necessária em função das longas permanências em ambientes internos.

A disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno depende, dentre outros fatores, da geometria urbana, sendo este resultado dos parâmetros estabelecidos pelas regulamentações urbanas, como gabarito, afastamentos e recuos, altura das edificações, taxa de ocupação, entre outros (LARANJA, 2010; STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011; HOPPE, 2016; LEAL; LEDER, 2018; BECK et al., 2019; ROSA et al., 2019). Dentre as variáveis da geometria urbana, destacam-se as obstruções do entorno. Segundo Li e outros (2009), o desempenho da iluminação natural é influenciado pelas obstruções externas, logo, quando prédios vizinhos estão muito próximos, os efeitos do sombreamento podem afetar significativamente a quantidade de luz que penetra no interior do edifício. Petersen e outros (2014) afirmam ainda que ambientes internos, situados em um contexto urbano com acesso restrito à luz natural, geralmente, possuem grande parte do céu e do sol bloqueados pelas massas edificadas. Sendo assim, percebe-se a importância de se considerar a iluminação natural na elaboração das legislações urbanísticas que regulam o crescimento de uma cidade.

No entanto, embora os aspectos relacionados à iluminação natural estejam presentes nos denominados "códigos de obras", o mesmo não acontece nos planos diretores, visto que os parâmetros considerados para a definição de gabaritos e afastamentos raramente estão vinculados à disponibilidade de luz. Assim, tendo em vista os problemas inerentes à mobilidade urbana, criação de infraestrutura e valor da terra, a verticalização

desponta como um elemento otimizador no uso do solo, porém podendo trazer consequências indesejáveis na qualidade de vida dos usuários dessas edificações.

Diante do exposto, considerando: os benefícios proporcionados em função do aproveitamento da luz natural; o contexto de pandemia e a necessidade de longa permanência dos usuários nos ambientes residenciais; que a disponibilidade de luz natural no interior das edificações está relacionada com o ambiente construído, inclusive com as variáveis urbanísticas; e a indiscutível importância de incorporar a iluminação natural nos processos de projeto e planejamento urbano; esta pesquisa concentrou-se em investigar a relação entre parâmetros do entorno construído pré-definidos e a disponibilidade de luz natural no ambiente construído, visando contribuir com a definição de estratégias mais eficazes, tendo em vista a atual crise na saúde pública, bem como no cenário futuro.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência de variáveis urbanísticas no desempenho da iluminação natural no ambiente interno, considerando a cidade de Domingos Martins-ES como objeto de estudo em função de suas características enquanto comunidade urbana em crescimento, através de ensaios realizados por simulação computacional.

3. MÉTODO

O método deste trabalho dividiu-se basicamente em três etapas principais: 1. Caracterização do cenário modelo; 2. Simulações computacionais; 3. Análise dos resultados.

3.1. Caracterização do cenário modelo

O recorte territorial adotado foi a cidade de Domingos Martins, localizada no Estado do Espírito Santo (Brasil), nas coordenadas LAT 20° 18' S e LONG 40° 43' W, classificada como cidade de pequeno porte em função de sua população estimada em 33.986 habitantes. No entanto, sua proximidade com a capital, Vitória – 46 km de rodovias de boa qualidade –; seu clima mais ameno proporcionado por sua condição geográfica a 542 metros de altitude (DOMINGOS MARTINS, 2021) e sua singular paisagem natural, fazem com que seu crescimento seja acelerado, colocando em risco a atual qualidade urbana que a caracteriza como um dos locais mais atraentes para o turismo na região.

De acordo com o regulamento estabelecido no Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257 (BRASIL, 2001), o Município desenvolveu seu Plano Diretor Municipal - Lei Complementar nº 25/2013 (DOMINGOS MARTINS, 2013), o qual foi aprovado em agosto de 2013. A legislação vigente até essa data era o Código de Obras de 1992 - Lei nº 1.238/1992 (DOMINGOS MARTINS, 1992) que estabelecia índices urbanísticos mais permissivos, dentre eles, gabarito máximo de 7 pavimentos. Com a nova legislação do PDM em vigor, foram estabelecidos parâmetros mais restritivos, limitando o gabarito máximo em 2, 3 e 4 pavimentos de acordo com o zoneamento urbano (DOMINGOS MARTINS, 2013), alavancando, à época, uma discussão e dualidade de opiniões entre a população local (HOPPE, 2016).

Considerando que dentre os aspectos externos que interferem no acesso da luz natural no ambiente interno destacam-se as obstruções e a distância entre as mesmas, foram adotados os parâmetros largura da via, altura das edificações obstruidoras e afastamento lateral para realizar a investigação da influência desses parâmetros, visto serem os mais suscetíveis a mudanças a partir do adensamento urbano.

Inicialmente, modelou-se um cenário fictício, mas coerente com o desenho urbano atual, composto pelo edifício estudado e três edificações obstruidoras (Figura 2). Os terrenos foram projetados com dimensões de 12 m x 30 m, de acordo com o exigido pela legislação municipal atual para a maioria das zonas quanto ao parcelamento do solo (testada mínima de 12 m; área mínima de 360 m²). Neste cenário, os parâmetros variáveis foram a altura das edificações obstruidoras, os afastamentos laterais, a largura e a orientação das vias, os quais foram definidos em observância dos seguintes instrumentos reguladores: (a) legislação anterior (Código de Obras), pois grande parte das áreas consolidadas resultaram dos parâmetros nela estabelecidos; (b) legislação vigente (PDM), tendo em vista que os parâmetros urbanísticos atuais têm sido aplicados na produção de novos loteamentos; e (c) das características locais (Figura 2). Logo, foi possível avaliar o comportamento da luz natural em cenários consolidados e em cenários que estão sendo produzidos, bem como sugerir possíveis modificações na ocasião da revisão da legislação, visando o melhor aproveitamento da iluminação natural no interior das edificações.

A partir do cenário modelo, como referência, utilizou-se a situação considerada menos favorável, ou seja, largura da via de 12 m, altura da edificação obstruidora de 21 m (7 pavimentos) e sem afastamento

lateral (Figura 2). Além disso, nas simulações foram consideradas as quatro principais orientações (Norte – Sul – Leste – Oeste), visto que a orientação de via e fachada da edificação interfere significativamente na iluminância do ambiente interno.

VARIÁVEIS		
Largura das vias	12 metros	Largura existente predominante para as vias coletoras e arteriais (áreas consolidadas); largura (aprox.) indicada pela legislação vigente para vias locais
	15 metros	Largura desejável indicada pela legislação vigente para vias coletoras
	18 metros	Largura (aprox.) desejável indicada pela legislação vigente para vias coletoras
Altura das edificações obstruidoras	2 pavimentos	Limite estabelecido pela legislação vigente para a maioria dos zonas
	4 pavimentos	Limite máximo permitido pela legislação vigente
	7 pavimentos	Limite máximo permitido pela legislação anterior
Afastamento lateral	Sem afastamento	Estabelecido pela legislação anterior para paredes cedas; tipologia predominante
	1,5 m	Estabelecido pela legislação anterior (para paredes com abertura) e pela vigente de acordo com a altura da edificação
	Variável (1,5 + H/10)	Estabelecido pela legislação vigente para a maioria das zonas, sendo H a altura total da edificação
Orientação das vias	Norte - Sul	Orientação das fachadas/edificações analisadas: Leste e Oeste
	Leste - Oeste	Orientação das fachadas/edificações analisadas: Norte e Sul

Figura 1- Quadro síntese das variáveis adotadas para as simulações.

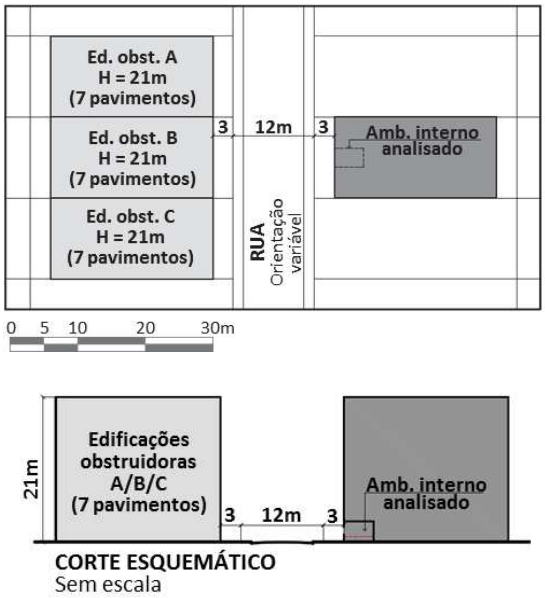

Figura 2- Esquema básico de situação das edificações no Cenário Modelo.

3.2. Simulações computacionais

O principal instrumento para a obtenção dos dados foram as simulações computacionais realizadas no programa TropLux 6 (CABÚS, 2005), o qual permite a simulação da iluminação natural no ambiente interno, levando em consideração as características climáticas e arquitetônicas das regiões tropicais. Dentre as suas especificidades, ressalta-se a configuração do índice de refletância das superfícies internas e externas, e do tipo de céu da localidade segundo os padrões da CIE. O software é baseado nos métodos Monte Carlo, raio traçado e coeficientes de luz natural, e largamente referenciado em trabalhos técnico-científicos (LARANJA, 2010; HOPPE, 2016; WENA et al., 2017; CABÚS; CARVALHO, 2019). Foram adotados 3 tipos de céu padrão CIE: 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), os quais representam respectivamente os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual de iluminância para o ambiente interno, conforme os resultados encontrados na pesquisa realizada por Laranja (2010).

As características dos ambientes internos foram definidas de acordo com as especificações estabelecidas pelo Código de Obras da cidade (DOMINGOS MARTINS, 1992) e, de forma complementar, o Código de Obras de Vitória (VITÓRIA, 1998), bem como nas tipologias verificadas na região de estudo. Em relação ao tipo de ocupação das edificações analisadas, e consequentemente da função do ambiente interno adotado, considerou-se que as mesmas podem ser do tipo residencial (uni ou multifamiliar) e também de uso misto, com comércio no térreo e unidades residenciais nos demais pavimentos.

O modelo de ambiente adotado possui pé-direito de 3,00 m, largura de 2,80 m e comprimento de 4,30 m (Figura 5). As refletâncias internas foram adotadas conforme Laranja (2010), NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), Petersen e outros (2014) e Hoppe (2016), sendo piso =0.2, paredes = 0.5, e teto = 0.8. As aberturas dos modelos analisados localizam-se na fachada voltada para o exterior, centralizadas na parede, e foram orientadas à Norte, Sul, Leste e Oeste. São compostas por vidro liso

transparente, cuja transmitância à luz visível é de 90% (padrão do *software*), e possuem uma área de 1,54m² (1,40x1,10x1,10m), correspondendo a 1/8 da área do piso do compartimento (VITÓRIA, 1998).

A determinação do local e a quantidade de pontos avaliados dentro do ambiente interno foi baseada na NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) e representados nas Figuras 3 e 4. A análise considerou o andar térreo da edificação, uma vez que é o pavimento com situação mais crítica quanto ao acesso da luz natural, e a quantidade mínima de pontos encontrados foi 16. No entanto, optou-se por trabalhar com 20 pontos visando maior precisão nos dados de resposta.

Quanto às características do ambiente externo, foram consideradas três edificações obstruidoras para compor o cenário urbano, conforme anteriormente demonstrado na Figuras 2. A refletância das superfícies externas verticais (edificações) e horizontais (vias) foram definidas conforme Laranja (2010), Strømann-Andersen e Sattrup (2011) e Hoppe (2016), isto é, o valor da refletância média dos fechamentos opacos é de 40%, e o valor da refletância do solo é de 20%, sendo que para definição deste último também foi observado o tipo de pavimentação local – asfalto e paralelepípedo.

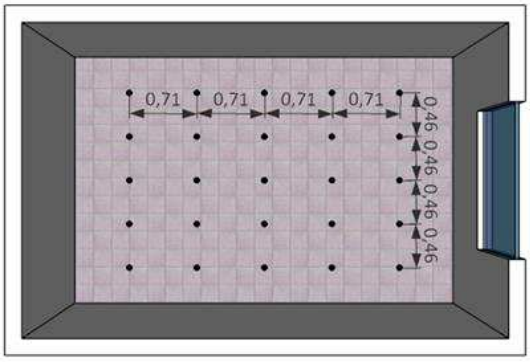

Figura 3- Planta baixa do modelo de simulação.

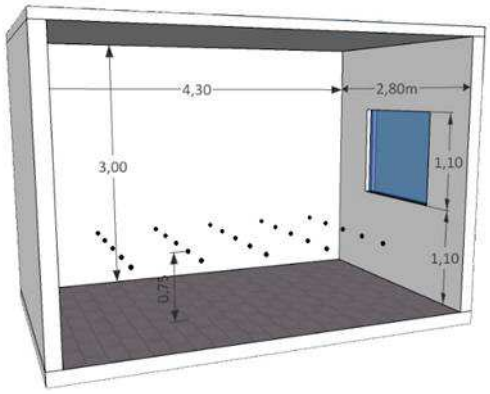

Figura 4- Perspectiva do modelo de simulação.

3.3. Análise dos resultados

Nessa pesquisa considerou-se que a iluminação diz respeito a iluminação global, proveniente da luz do sol e da parcela refletida. Inicialmente, foram observadas as alterações nos níveis lumínicos ocasionadas pelos parâmetros urbanos estipulados para cada cenário. Outra métrica de avaliação adotada foi o percentual de UDI, proposto por Nabil e Mardaljevic (2006), o qual consiste na caracterização da ocorrência de iluminâncias, no período de um ano, que se encontram dentro de determinados intervalos de iluminação, e por fim, os percentuais de uniformidade.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Em relação à **largura da via**, constatou-se que os níveis de iluminância aumentam conforme a via torna-se mais larga (Figura 6). Dentre os intervalos analisados, observou-se que o intervalo compreendido pelas vias mais estreitas (12 m a 15 m) acarretou em maiores alterações nos níveis de iluminância (Tabela 1). Isso significa que aumentos compreendidos nos intervalos de via mais estreitos contribuirão com aumentos mais expressivos nos níveis lumínicos se comparados aos intervalos mais largos de via (15 m a 18 m). Ressalta-se, entretanto, que o intervalo entre 12 m e 15 m foi o que se mostrou mais influente para o aumento da iluminância excessiva (E>2000lx).

As vias mais largas apresentaram-se como mais favoráveis à disponibilidade de luz natural em situações cuja luminosidade é mais uniforme (Figura 7), isto é, sob condições de céu 3 (encoberto) e ambientes voltados para orientação Sul (orientação da via Leste - Oeste), pois além de compreenderem maiores percentuais no intervalo suficiente (100lx≤E≤2000lx), não abarcaram percentuais da iluminância excessiva (E>2000lx). Sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), para os ambientes voltados para orientações que propiciam maior incidência solar direta, e consequentemente, menor uniformidade, as vias mais estreitas são preferíveis por apresentarem melhor desempenho, visto contribuírem com maiores percentuais no intervalo suficiente (100lx≤E≤2000lx) em detrimento de menores valores excessivos e indesejáveis (E>2000lx).

Em relação à uniformidade da iluminância (Figuras 8 e 9), a variação na dimensão da largura da via não acarretou em alterações significativas nesses percentuais, entretanto, pôde-se constatar que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade, e sob condições de céu 7

(parcialmente nublado) e céu 12 (claro), considerando as principais orientações, as edificações orientadas à Sul mostraram desempenho superior, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde.

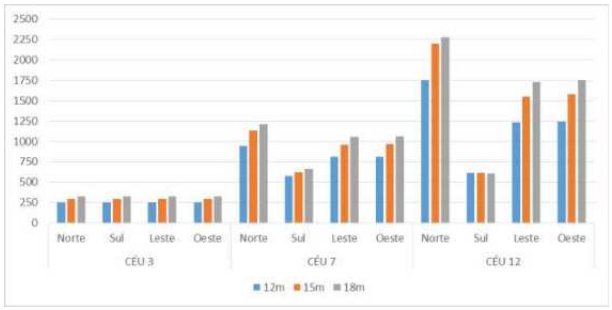

Figura 5- Iluminância média global em função da variação da largura da via.

Tabela 1- Percentuais de variação da iluminância média global em função da largura da via.

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	12 m – 15 m	15 m – 18 m	12 m – 15 m	15 m – 18 m	12 m – 15 m	15 m – 18 m
Norte	13%	10%	16%	7%	20%	3%
Sul	13%	10%	8%	6%	0%	-2%
Leste	13%	10%	16%	9%	20%	10%
Oeste	13%	10%	16%	9%	21%	10%

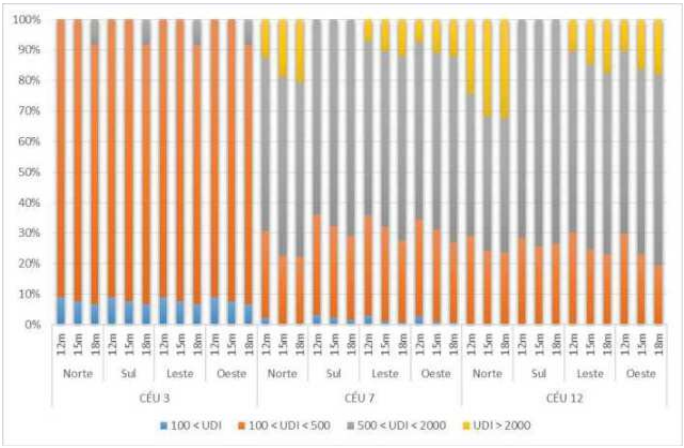

Figura 6- Percentuais das UDI's em função da variação da larg. da via.

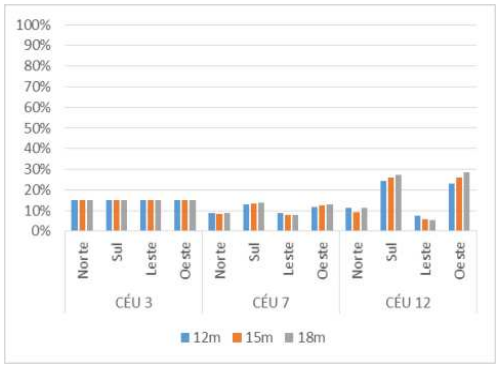

Figura 7- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 7h e 12 h (período da manhã).

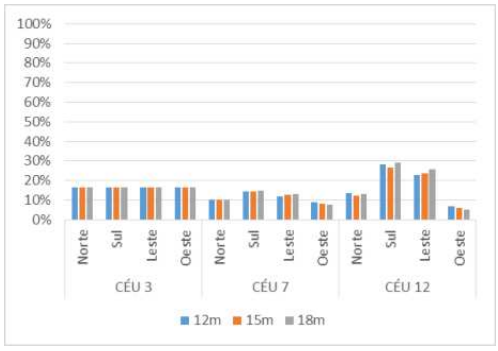

Figura 8- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 13h e 17 h (período da tarde).

No que tange à **<u>altura das edificações obstruidoras</u>**, pôde-se corroborar com os resultados encontrados por Laranja (2010) e Lima (2015), isto é, conforme aumenta-se a altura das edificações, o nível lumínico no ambiente interno decresce (Figuras 10 e Tabela 11). A exceção ocorreu apenas para os ambientes orientados à Sul, sob condições de céu claro, nos quais o aumento do gabarito propiciou maiores níveis de iluminância, bem como maiores percentuais suficientes e desejáveis (500lx≤E≤2000lx), permitindo assim maior economia no consumo de energia. Destaca-se também que as variações foram minoradas na via de maior dimensão (18 m), conforme a Figura 11 e Tabela 3.

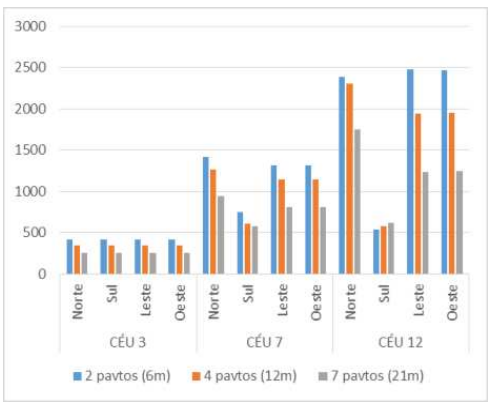

Figura 9 –Iluminância média global em função da variação da altura da edif. obstruidora nos cenários com larg. de via de 12m.

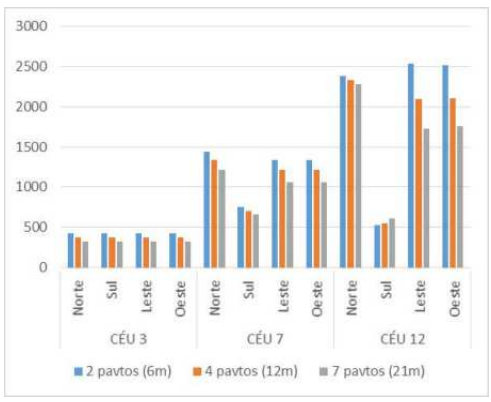

Figura 10 – Iluminância média global em função da variação da altura da edif. obstruidora nos cenários com larg. de via de 18m.

Tabela 2- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidoras (via 12m)

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos
Norte	-17%	-26%	-11%	-26%	-3%	-24%
Sul	-17%	-26%	-19%	-5%	8%	7%
Leste	-17%	-26%	-13%	-29%	-22%	-38%
Oeste	-17%	-26%	-13%	-29%	-21%	-38%

Tabela 3- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidoras (via 18m)

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos
Norte	-12%	-14%	-7%	-9%	-2%	-2%
Sul	-12%	-14%	-6%	-6%	6%	10%
Leste	-12%	-14%	-9%	-13%	-17%	-18%
Oeste	-12%	-14%	-9%	-13%	-15%	-17%

O aumento do gabarito ocasionou maiores variações percentuais nos cenários com vias mais estreitas, considerando que a análise foi realizada em cenários com largura de via de 12 m e 18 m. Nos cenários com largura de via de 12 m, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), exceto para os ambientes orientados à Sul, o aumento do gabarito de 4 para 7 pavimentos exerceu maior influência para o decaimento da iluminância no ambiente interno. Assim, observa-se que a admissão de até 4 pavimentos como gabarito máximo em vias locais (12 m), em detrimento da restrição a 2 pavimentos, não será perniciosa em relação à disponibilidade de luz natural, tendo em vista também que, em geral, a iluminância caracterizada como suficiente e desejável (500lx≤E≤2000lx) pouco se alterou e que o aumento do gabarito propiciou menores níveis da iluminância excessiva (E>2000lx). Nos cenários com largura de via de 18 m, o aumento do gabarito de 2 para 4 pavimentos exerceu maior influência, inclusive sob condições de céu encoberto, reforçando a constatação de que o impacto do aumento da altura das obstruções é menor em vias mais largas.

No que tange aos percentuais das UDI's (Figuras 12 e 13), para o céu 3 (encoberto), as obstruções mais baixas denotaram melhor desempenho para ambas as larguras de via (12 m e 18 m). Para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Leste e Oeste, as edificações mais baixas (2 e 4 pavimentos) também mostraram-se mais favoráveis ao aproveitamento da luz natural em ambos os cenários, porém ressalta-se que mesmo nos cenários com obstruções de 7 pavimentos os percentuais permaneceram majoritariamente no intervalo suficiente (100lx≤E≤2000lx), indicando que é possível um bom aproveitamento da iluminância útil, visando à economia de energia com iluminação artificial, nos referidos cenários. Sob condições de céu 12 (claro), as obstruções mais altas apresentaram melhor desempenho em todas as orientações para os cenários com largura de via de 12 m.

Nos ambientes orientados à Norte, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), as edificações obstruidoras com 7 pavimentos denotaram melhor performance nos cenários com largura de via de 12 m, sendo que nos cenários com largura de via de 18 m os percentuais das UDI's pouco se alteraram. Nos ambientes orientados à Sul, em ambos os cenários (via de 12 m e 18 m), para o céu 7 (parcialmente nublado), apesar do percentual entre 500 lx e 2000 lx ter sido reduzido proporcionalmente ao aumento do gabarito, os valores permaneceram majoritariamente no intervalo suficiente (100lx≤E≤2000lx) e não houve percentuais excessivos (E>2000lx), conforme o esperado. Além disso, para o céu 12 (claro), também nos ambientes orientados à Sul, o intervalo suficiente e desejável (500lx≤E≤2000lx) teve acréscimos à medida em que o gabaritou aumentou.

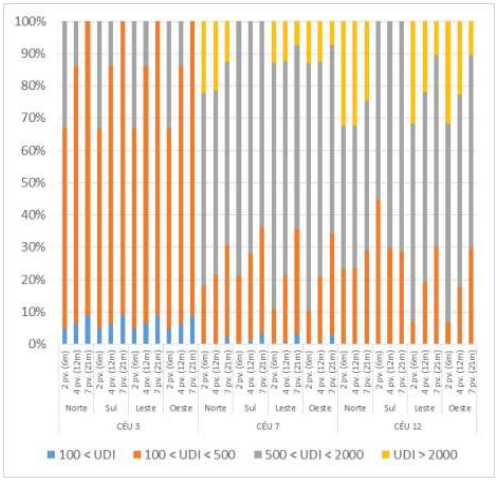

Figura 11 – Percentuais das UDI's em função da variação da altura da ed. obstruidora nos cenários com larg. de via de 12m.



Figura 12 – Percentuais das UDI's em função da variação da altura da ed. obstruidora nos cenários com larg. de via de 18m

Quanto à uniformidade (Figuras 14 a 17), de maneira geral, as obstruções não ocasionaram variações significativas, considerando que o percentual máximo de variação foi de 5%, exceto para as orientações Oeste, no período da manhã, e Leste, no período da tarde, quando o aumento do gabarito de 2 para 4

pavimentos ocasionou um decréscimo, em média, de 12% no percentual de uniformidade. Apesar da pouca ou nenhuma interferência das obstruções nos índices de uniformidade, pode-se corroborar o fato observado para o parâmetro largura da via, isto é, os melhores índices de uniformidade apresentam-se para situações cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, ou seja, sob condições de céu encoberto; e para locais com predominância de céu parcialmente nublado e claro, para os ambientes orientados à Sul, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde.

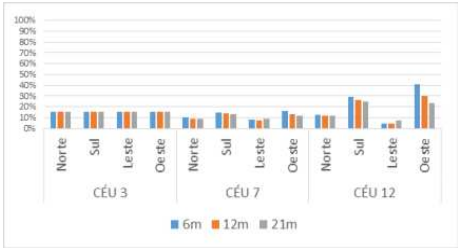

Figura 13 – Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 7h e 12h (período da manhã).

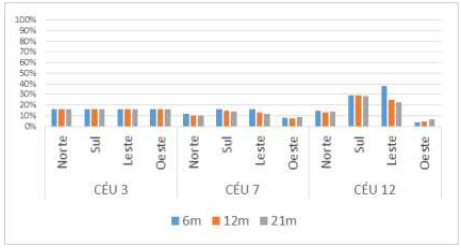

Figura 14 – Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 13h e 17h (período da tarde).

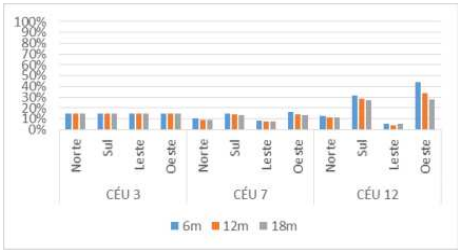

Figura 15 – Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 7h e 12h (período da manhã).

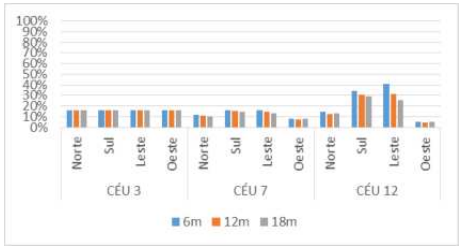

Figura 16 – Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 13h e 17h (período da tarde).

Em relação ao parâmetro **afastamento lateral**, a inserção do afastamento de 1,5 m proposto pela legislação anterior (Código de Obras) não ocasionou alterações significativas nos níveis lumínicos na comparação com o cenário que representa a tipologia que vinha sendo edificada até a aprovação do PDM, isto é, sem afastamento lateral (Figura 17). Entretanto, o índice proposto pela atual regulamentação urbana (1,5 m + H/10) permitiu maiores valores de luz natural no ambiente interno. Pôde-se então observar que, a partir de uma distância mínima, um maior afastamento lateral entre as edificações obstruidoras proporciona maiores níveis de iluminação natural. A única exceção foi para o céu 12 (claro), orientação Sul, que, semelhantemente ao observado na análise dos demais parâmetros (largura da via e altura das edificações obstruidoras), apresentou um comportamento inverso ao padrão verificado nos demais cenários.

No que tange aos percentuais das UDI's (Figura 18), dentre os três parâmetros urbanísticos analisados, o afastamento lateral foi o que exerceu menor influência para a alteração dos percentuais de horas anuais enquadrados nos intervalos das UDI's. De maneira geral, os percentuais mantiveram-se constantes, exceto para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Norte, Leste e Oeste, nas quais a aplicação do índice proposto pelo Plano Diretor proporcionou o aumento de cerca de 8% dos percentuais entre 500 lx e 2000 lx (suficiente e desejável); e, para o céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, nas quais o afastamento lateral do PDM propiciou o aumento, em média, de 6,5% da iluminância excessiva (E>2000lx).

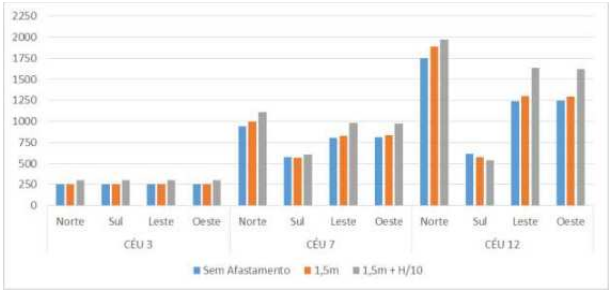

Figura 17 – Iluminância média global em função da variação do afastamento lateral.

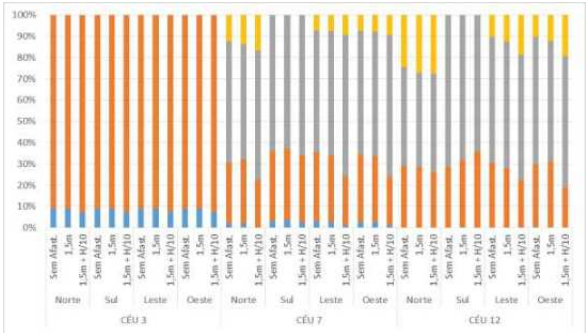

Figura 18 – Percentuais das UDI's em função da variação do afastamento lateral.

Em relação à uniformidade da iluminância (Figuras 19 e 20), apesar da variação do parâmetro afastamento lateral das edificações obstruidoras não ocasionar, em geral, alterações significativas nos índices de uniformidade, pôde-se constatar que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade. Além disso, para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ambientes orientados à Sul, à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde, denotaram desempenho superior, principalmente sob condições de céu 12 (claro).

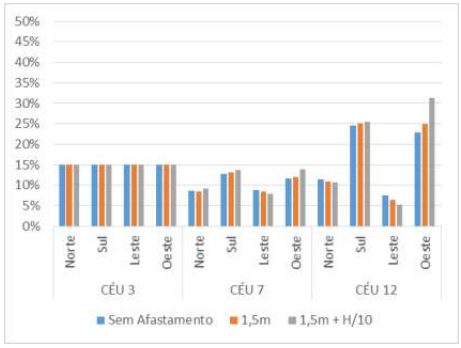

Figura 19- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 7h e 12 h (período da manhã).

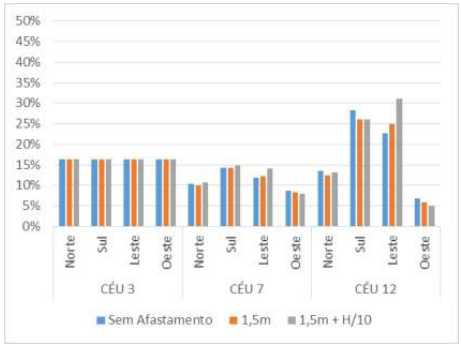

Figura 20- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 13h e 17 h (período da tarde).

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitiu constatar que, dentre as variáveis urbanísticas analisadas, a altura das edificações obstruidoras foi o índice que mais influenciou para a alteração dos níveis lumínicos e dos percentuais das UDI's, comprovando a hipótese inicial de que a verticalização deve ser um processo cuidadosamente avaliado, mesmo em cidades de menor porte. Quanto aos índices de uniformidade, de maneira geral, os parâmetros não exerceram uma interferência significativa. De fato, as obstruções mais altas ocasionaram menores níveis de luz natural, exceto para o céu 12 (claro) nos ambientes orientados à Sul; e menores percentuais no intervalo com o melhor potencial para economia com energia elétrica ($500lx \leq E \leq 2000lx$) em determinadas situações. Entretanto, os efeitos das obstruções podem ser minorados mediante a adoção de vias mais largas.

Dessa forma, reitera-se a relevância da associação entre a altura das edificações e seus afastamentos, sendo recomendado que o gabarito máximo das edificações seja definido em função do distanciamento frontal entre elas (caixa viária + calçadas + afastamento frontal), e que os afastamentos laterais estejam vinculados à altura das edificações. Confirmou-se, também, a importância de se considerar as características climáticas de cada contexto e as orientações das vias e edificações no estabelecimento dos índices urbanísticos, visto que para cada tipo de céu e orientação, a geometria urbana irá causar consequências diferentes em relação ao aproveitamento da luz natural.

Quanto à uniformidade, de maneira geral, as variáveis externas não ocasionaram alterações significativas nesses percentuais. Contudo, apesar da pouca ou nenhuma interferência desses parâmetros nos índices de uniformidade, pôde-se verificar que os melhores resultados se apresentam para situações cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, ou seja, sob condições de céu encoberto; e para locais com predominância de céu parcialmente nublado e claro, para os ambientes orientados à Sul, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde.

Em relação ao recorte territorial definido, a cidade de Domingos Martins-ES, de maneira geral, avalia-se que a atual legislação urbana, o Plano Diretor Municipal (Lei Complementar nº 25/2013), estabelece parâmetros favoráveis ao aproveitamento da luz natural, especialmente em relação à proposição de vias mais largas e o afastamento lateral associado à altura da edificação. Contudo, a permissão de edificações mais altas, conforme previa a legislação anterior, o Código de Obras (Lei nº 1238/1992), mostra-se como uma opção possível e favorável, em determinadas situações, para o melhor aproveitamento da iluminação natural, indicando assim a viabilidade da verticalização em futuros loteamentos em função da largura e orientação das vias, bem como do correto distanciamento entre as edificações.

Por fim, a partir desta pesquisa confirmou-se a interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes, reforçando, dessa forma, a indiscutível importância de incorporar a iluminação natural nos processos de projeto e planejamento urbano, visando contribuir com a definição de estratégias mais eficazes, e com o enfrentamento dos impactos negativos, resultantes da pandemia, na saúde física e mental da população, especialmente no cenário pós-crise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINI, A. Circadian system. In: **Molecules, Reaction and Health**. Londres: Elsevier, 2020, cap. 4, p. 229-246.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4:** verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1:** iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BECK, L. M.; PEREIRA, F. O. R.; SCALCO, V. A.. Influência de diferentes configurações urbanas no desempenho da iluminação natural em ambientes internos da cidade de Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUíDO, 11., 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 10 jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 27 fev. 2016.

CARVALHO, M. L. S.; CABÚS, R. C. Eficiência da luz solar refletida e desempenho de dispositivos de sombreamento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 191-209, jun. 2020.

CARRIGAN, R.; CAKEBREAD, S., SCHOFIELD, L.; HENAWI, N.; WILSON, J. Evaluating the role of the royal free london NHS foundation trust palliative care teams during the Covid-19 pandemic. **BMJ Supportive & Palliative Care**, v. 11, 2021.

DOMINGOS MARTINS (Município). **Lei Complementar nº 25, de 2013**. Dispõe sobre a organização do espaço territorial do Município de Domingos Martins, conforme determina o disposto no art. 182 CRFB de 1988 e o art. 41 do Estatuto da Cidade – Lei 10.257 de 2001. Domingos Martins, ago. 2013. Disponível em: <http://www.domingosmartins.es.gov.br/prefeitura/pdm>. Acesso em: 15 jul. 2016.

DOMINGOS MARTINS (Município). **Lei nº 1.238, de 1992**. Institui o Código de obras do Município de Domingos Martins. Domingos Martins, 1992.

DOMINGOS MARTINS. Prefeitura Municipal. **O Município**. Disponível em: <http://www.domingosmartins.es.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2021.

ERIKSSON, S.; WALDENSTROM, L.; TILLBERG, M.; OSTERBRING, M.; KALAGASIDIS, A. S. Numerical simulations and empirical data for the evaluation of daylight factors in existing buildings in Sweden. **Energies**, v. 12, n. 11, p. 2200, 2019.

FARO, A.; BAHIANO, M. de A.; NAKANO, T. de C.; REIS, C.; SILVA, B. F. P.; VITTI, L. S. COVID-19 e saúde mental: a emergência do cuidado. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 37, e200074, 2020.

HARB, F.; HIDALGO, M. P.; MARTAU, B. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. **Chronobiology International**, v. 32, n. 3, p. 368-375, 2015.

HOPPE, S. B. A influência da legislação urbana na iluminação natural de edifícios: um estudo de caso em Domingos Martins - es. 2016. 159 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

KONIS, K. A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs. **Solar Energy**, v. 191, p. 449-458, 2019.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. 2010. 285 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LEAL, Lilianne de Queiroz; LEDER, Solange Maria. Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 97-117, Out. 2018.

LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W.; CHEUNG, K. L.; LAM, J. C. Simple method for determining daylight illuminance in a heavily obstructed environment. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1074-1080, May 2009.

LIMA, R. C**. Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió – AL**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

NEIL, C.; ALFIE, W.; SABA, M.; JAMES, S.; HUGH, D. P.; NICHOLAS, T.; ROSEMARY, G.; ELIZABETH, C. Sleep quality, mental health and circadian rhythms during COVID lockdown – Results from the SleepQuest Study. **MedRxiv**, jul. 2020.

PETERS, T.; HALLERAN, A. How our homes impact our health: using a COVID-19 informed approach to examine urban apartment housing. **Archnet-IJAR**, v. 15, n. 1, p. 10-27, 2020.

PETERSEN, S.; MOMME, A. J.; HVIID, C. A. A simple tool to evaluate the effect of the urban canyon on daylight level and energy demand in the early stages of building design. **Solar Energy**, v. 108, p. 61-68, Oct. 2014.

ROBBINS, C. L. **Daylighting, Design and Analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

STRØMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2011–2020, Aug. 2011.

VITÓRIA (Município). **Lei nº. 6.705, de 2006**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Vitória, institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências. Vitória, 2006. Disponível em: <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2006/L6705.PDF>. Acesso em: 17 jun. 2016.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Report of the WHO-China joint mission on coronavirus disease 2019 (COVID-19). Geneva: Author. 2020. Disponível em: < http://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2021.

YAO, Q.; CAI, W.; LI, M.; HUC, Z.; XUE, P.; DAI, Q. Efficient circadian daylighting: A proposed equation, experimental validation, and the consequent importance of room surface reflectance. **Energy and Buildings**, v. 43, Mar. 2020.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela CAPES – Coordenação de Pessoal de Aperfeiçoamento de Nível Superior, e se insere no contexto dos trabalhos da rede CIRES apoiado pelo CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo.