

GABRIELA DA CONCEIÇÃO BOLSSONI, ANDRÉA COELHO LARANJA E CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ

Disponibilidade de iluminação natural em ambiente interno orientado para poço de iluminação

Availability of daylighting in indoor environment oriented to well of illumination

Gabriela da Conceição Bolssoni

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (2018), atualmente desenvolve pesquisa no âmbito da iluminação natural no Laboratório de Planejamento e Projetos.

Architecture and Urbanist by the Federal University of Espírito Santo (2018), currently conducts research in the field of natural lighting in the Laboratory of Planning and Projects..

gabriela_bolssoni@hotmail.com

Andréa Coelho Laranja

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (1995), Mestrado em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000), doutorado em Ciências em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2010). Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Federal do Espírito Santo no Curso de Arquitetura e Urbanismo. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Conforto Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: eficiência energética, arquitetura bioclimática, iluminação natural e ergonomia.

Architect and Urbanist by the Federal University of Espírito Santo (1995), Master's degree in Architecture by the Federal University of Rio de Janeiro (2000) and Ph.D. in Architecture by the Federal University of Rio de Janeiro (2010). Currently, she is Adjunct Professor at the Federal University of Espírito Santo in the Architecture and Urbanism course. Has experience in Architecture and Urbanism, with emphasis on Environmental Comfort, working mainly on the following topics: energy efficiency, bioclimatic architecture, natural lighting and ergonomics.

andreacoelholaranja@gmail.com

Cristina Engel de Alvarez

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1987), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1996) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2003). Atualmente é coordenadora do GT de desenvolvimento sustentável da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, colaboradora - Universidad de Oviedo, professor associado III da Universidade Federal do Espírito Santo e co-guia no curso de doutorado em arquitetura - Universidad del Bío-Bío. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo, atuando principalmente nos seguintes temas: sustentabilidade, conforto, Antártica, meio ambiente e locais remotos.

Architect and Urbanist by the University of Vale do Rio dos Sinos (1987), Master's degree in Architecture and Urbanism by the University of São Paulo (1996) and Ph.D. in Architecture and Urbanism by the University of São Paulo (2003). Currently, she is coordinator of the Working Group of sustainable development of the National Association of Built Environment Technology, collaborator - University of Oviedo, associate professor III of the Federal University of Espírito Santo and co-guide in the doctor-ate in architecture - Bío-Bio University. Has experience in the Architecture and Urbanism area, with emphasis on Architecture and Urbanism Technology, working mainly on the following topics: sustainability, comfort, Antarctica, environment and remote locations.

engelalvarez@hotmail.com

Resumo

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a performance luminosa do ambiente interno quando com abertura orientada para área caracterizada como poço de iluminação ou de acordo com o Código de Vitória (1998) "área principal", variando-se para isto a geometria destes poços. Utilizou-se para o estudo um ambiente situado na cidade de Vitória (LAT 20°19'10"S; LONG 40°20'16"). Como principal instrumento para a obtenção de dados, foi adotado o software TropLux que permite a simulação da iluminação natural no ambiente interno considerando tanto as características climáticas como arquitetônicas. A análise dos resultados foi feita com base nos percentuais das UDI (Useful Daylight Illuminances), sendo considerados três modelos de "áreas principais" com variação de orientação (Norte e Sul) e do diâmetro proposto pelo Código de Obras de Vitória (1998) em ± 50 cm, em duas etapas de simulação, variando a refletância das superfícies externas (0,5 e 0,2). Como conclusão geral, verificou-se que os valores de iluminância não aumentam de forma proporcional com o aumento da "área principal". Além da influência da geometria, foi possível constatar a influência da refletância das superfícies externas, na qual a A1 (menor dimensão) teve sua capacidade de iluminação ampliada, quando com as superfícies externas claras. Para a orientação Norte a A3 (maior dimensão) com a superfície clara apresentou o melhor desempenho, enquanto para a orientação Sul a A1 (menor dimensão) com a superfície clara alcançou os melhores resultados, evidenciando a impossibilidade de adotar um modelo de "área principal" genérica independente da orientação, como orienta o Código de Obras de Vitória (1998).

Palavras-chave: Código de Obras. Iluminação Natural. Poços de Iluminação. TropLux.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the luminous performance of the internal environment when the window is oriented for area characterized as a well of illumination or according to the Código de Obras de Vitória (1998) "main area", varying the geometry of these wells of illumination. For the study, was used an environment located in the city of Vitória (LAT 20 ° 19'10 "S; LONG 40 ° 20'16"). As the main instrument for obtaining data was used TropLux software, which allows the simulation of the daylight in the internal environment considering both climatic and architectural characteristics. The analysis of the results was made based on the percentages of Useful Daylight Illuminances (UDI), considering three models of "main areas" with orientation variation (North and South) and diameter proposed by the Código de Obras de Vitória (1998) in ± 50 cm, in two simulation stages, varying the reflectance of the external surfaces (0,5 and 0,2). As a general conclusion, it has been found that the illuminance values do not increase proportionally with the increase of the "main area". In addition to the influence of the geometry, it was possible to verify the influence of the reflectance of the external surfaces, in which the A1 (smaller dimension) had its capacity of illumination amplified, when with the clear external surfaces. For the North orientation the A3 (larger dimension) with the clear surface presented the best performance, while for the South orientation the A1 (smaller dimension) with the clear surface achieved the best results, evidencing the impossibility of adopting a generic model of "main area" independent of orientation, as indicated by the Código de Obras de Vitória (1998).

Keywords: Building Code. Daylighting. Wells of Illumination. TropLux.

Introdução

A iluminação natural é um dos elementos que agrega qualidade ao ambiente interno. Quando corretamente captada e distribuída no ambiente interno, a luz do dia pode proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento de atividades humanas, além de gerar benefícios biológicos aos seres humanos (SANTOS, 2014). Boubekri (2008) complementa que a luz natural é uma das matérias primas mais nobres, dado seu efeito simbólico, importância para saúde e bem-estar humanos. Em paralelo as questões associadas ao conforto humano, é possível reduzir o consumo de energia elétrica ao inserir luz natural de forma adequada em um projeto arquitetônico, diminuindo desta forma o uso de iluminação artificial. Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o consumo de energia elétrica para a iluminação artificial em uma residência brasileira equivale a 14% do total consumido. Para uma residência na região Sudeste, este percentual se eleva para 19%. Todavia, apesar da indiscutível disponibilidade de luz natural em países como o Brasil e dos benefícios atrelados ao uso da iluminação natural, observa-se a pouca importância dada em relação ao uso da iluminação natural no ambiente interno, seja em relação ao dimensionamento do sistema de iluminação natural, seja por desconsiderar as características do edifício, do ambiente interno e do entorno. Dessa forma, muitos estudos buscam maneiras para melhor compreender e utilizar a luz natural no ambiente interno e avaliar seu potencial de aproveitamento.

Além das aberturas tradicionais, pode-se explorar a luz natural no ambiente interno por meio de diversos recursos arquitetônicos como, por exemplo, brises, light shelf, átrios, dutos de iluminação com espelho, persianas reflexivas, paredes transparentes, poços de luz, telhados com shed, entre outros (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014). Os edifícios inseridos em cenários urbanos apresentam significativa redução de luz natural em seus ambientes internos em função da obstrução do céu devido, principalmente, aos cenários mais densos com ocupação máxima e regidos por legislação urbana (LEDER E PEREIRA 2008). O Código de Obras de Vitória (1998), por exemplo, permite iluminar os compartimentos das edificações por meio dos afastamentos de frente, laterais e de fundos; e através da “área principal” e da “área secundária”. Dentre os artifícios arquitetônicos não convencionais que propiciam o ganho de luz natural no ambiente interno, observa-se neste estudo especificamente os poços de iluminação, que segundo a NBR 15215-1 (BRASIL, 1999) são espaços luminosos internos que conduzem iluminação natural para os ambientes internos das edificações. Estes podem ser considerados como estratégia de iluminação para os ambientes distantes do perímetro da construção. Tais elementos começaram a ser utilizados no Brasil para proporcionar iluminação indireta em lotes estreitos de herança colonial, tornando-se mais tarde um recurso amplamente utilizado no país, por permitir a configuração de plantas arquitetônicas mais compactas que satisfazem o crescente mercado imobiliário (MARTINS, 2011). Nos Códigos de Obras e Edificação nacionais, enquanto elementos de controle e fiscalização do espaço construído, é comum a indicação do uso dessa estratégia como forma de se obter iluminação natural, denominada com vocábulos variados, tais como vão de aeração, fosso de iluminação e prisma de iluminação. No caso de Vitória-ES, adotou-se o termo “área principal”.

Nos estudos relacionados ao desempenho lumínico de edificações, especialmente nos estudos preditivos, a simulação computacional tornou-se um recurso amplamente utilizado nas pesquisas uma vez que auxilia no processo de tomada de decisões em diferentes etapas de projeto, seja para o estudo de composição da forma, seja fornecendo informações acerca do comportamento da iluminação natural no ambiente interior. Reinhart (2014) aponta a importância do uso de ferramentas de simulação computacional no desenvolvimento de novas técnicas de análise que podem ser integradas ao processo de projeto de arquitetura. Pereira (2009) ressalta que a descrição do fenômeno da luz natural é complexa, visto os vários elementos de interferência que conduzem às variações, tais como o horário durante o dia; as estações do ano; a

presença de nuvens; as condições do entorno; a orientação de fachadas; os elementos de controle solar; e as características de transmissividade dos materiais. Assim, os processos de simulação permitem a avaliação conjunta dessas variáveis, facilitando, inclusive, a representação do comportamento desse fenômeno (PEREIRA, 2009). Weiss, Tamura e Krüger (2015) complementam que as simulações de iluminação natural permitem antecipar os efeitos da iluminação, como por exemplo, através da identificação dos momentos com maior incidência direta de luz solar e do eventual efeito de ofuscamento no campo de visão, verificando ainda se os ocupantes possuem iluminação natural suficiente para desempenhar satisfatoriamente suas tarefas.

Dessa forma, levando em consideração a capacidade de os poços de iluminação atenderem aos condicionantes relacionados à quantidade e qualidade de luz no ambiente interno, desenvolveu-se uma pesquisa tendo como objeto de estudo a cidade de Vitória – ES (LAT 20°19'10"S e LONG 40°20'16"), cujo objetivo foi avaliar a performance luminosa do ambiente interno quando com abertura orientada para área caracterizada como poço de iluminação ou de acordo com o Código de Vitória (1998) “área principal”.

Metodologia

Para atingir o objetivo desse trabalho estruturou-se a metodologia em cinco etapas: (1) identificação dos condicionantes adotados nos Códigos de Obras das capitais da Região Sudeste no que se refere aos poços de iluminação; (2) caracterização do ambiente interno adotado para a definição dos elementos de entrada do software de simulação; (3) definição da geometria e características específicas das “áreas principais” simuladas; (4) definição dos dias e horários das simulações assim como dos demais parâmetros de análise (5) análise dos resultados.

Os códigos de obras das capitais da Região Sudeste

Nesta etapa foi feito um levantamento dos Códigos de Obras das capitais da Região Sudeste no que se refere especificamente aos poços de iluminação. Inicialmente constatou-se a variedade de vocábulos ao se referir aos poços de iluminação, como exemplo o Código de Obras de Vitória, o qual adota o vocábulo “Área Principal”, enquanto o do Rio de Janeiro utiliza os termos “Reentrância” ou “Prisma de Iluminação”. Já em Belo Horizonte o termo adotado é “Fosso de Iluminação” e em São Paulo, “Vão de Aeração”. Para facilitar a compreensão, nesta pesquisa utilizou-se o termo “poço de iluminação”, considerando ser o termo adotado pela NBR 15215-1 (BRASIL, 1999).

De modo geral, em todos os códigos de obras analisados, notam-se indicações para os poços quanto às dimensões mínimas bem como uma relação entre o diâmetro e a altura do próprio poço. Além disso, vale destacar que o cálculo se difere quando o poço é destinado a iluminar áreas de permanência prolongada (cozinha/quarto/sala) ou área de permanência transitória (área de serviço/banheiro), esta pesquisa se deteve em analisar o dimensionamento dos poços destinados a iluminar áreas de permanência prolongada, conforme demonstrado no Quadro 1.

| CIDADE | NOMECLATURA | DIMENSIONAMENTO |
|----------------|-------------------------------------|--|
| Belo Horizonte | Fosso de Iluminação. | $L \geq P$ $L \text{ e } P \geq 2,0m + (H1 - 5,30m)/4$ |
| Rio de Janeiro | Prisma de Iluminação e Reentrâncias | Prisma de iluminação: $L \text{ e } P \geq 1/4H1$ $L \text{ e } P \geq 3,0m$ Reentrâncias: <ul style="list-style-type: none"> • Quando servirem a compartimentos cujas aberturas se situem perpendicular ao plano da fachada, devem ser calculadas como prisma de iluminação. • Quando servirem a compartimentos cujas aberturas se situem paralelamente ao plano da fachada: $L \text{ e } P \geq 1,50m$ |
| São Paulo | Vão de aeração | $A = 4 + 0,40 (H2-9)$, $A \geq 4,0m^2$ Relação Mínima entre os lados do poço = $2/3$. $L \text{ e } P \geq 1,5m + (H - 5,30m)/10$ |
| Vitória | Área principal | Área Principal, quando for fechada: $D \geq 2,0m + H2/6$ Permanência Principal, quando for aberta ($DR \geq 1,0m$): $D \geq 1,5m + H2/6$ |

Legenda: H1 = Altura total do Poço, H2 = distância da laje do piso do compartimento a iluminar até a laje de piso do último pavimento, A = Área do Poço, L = Largura do Poço, P = Profundidade do Poço, DR = distância à rua.

QUADRO 1 – Abordagem dos códigos de obras da Região Sudeste no que se refere aos poços de iluminação para ambientes de permanência prolongada.

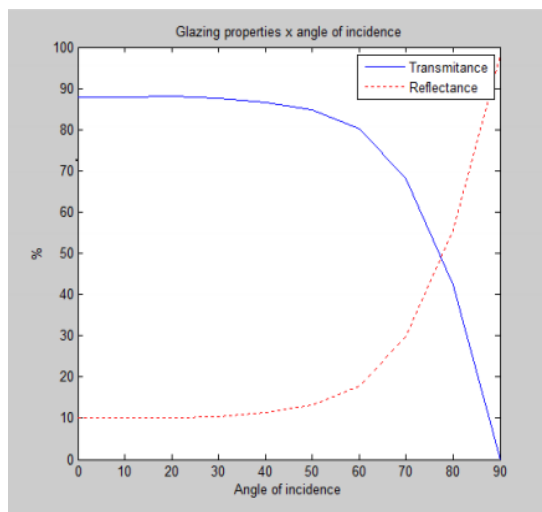
Fonte: elaborado pelas autoras a partir dos sites das Prefeituras Municipais de Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo e Vitória.

Caracterização do ambiente interno

Para as simulações adotou-se um ambiente interno de uso prolongado (quarto), situado num edifício residencial com seis pavimentos, no bairro Jardim da Penha, Vitória – ES (LAT 20°19'10"S e LONG 40°20'16"). Em função das especificações constantes no Código de Obras de Vitória (1998) o ambiente se caracteriza por possuir áreas e dimensões mínimas, sendo elas: área = 10m², pé-direito = 2,60m, largura = 2,60m e comprimento = 3,85m. As refletâncias internas adotadas foram: piso = 0,2; paredes = 0,6; e teto = 0,80. As refletâncias das superfícies externas foram adotadas da seguinte forma: na primeira etapa de simulação, refletância de 0,5; na segunda etapa de simulação, refletância de 0,2. O modelo de janela adotado está centralizado na parede, com área de 1,25m², largura de 1,25m e altura de 1,00m, correspondente a uma proporção de 1/8 da área do piso do compartimento, dimensão mínima indicada pelo Código de Obras de Vitória (1998). Em toda a área da abertura foi utilizado vidro comum transparente com características de refletância e transmitância conforme a Figura 1.

FIGURA 1 - Características de transmitância e refletância do vidro simulado.

Fonte: Cabús, 2012.



O ambiente interno adotado para as simulações situa-se no primeiro pavimento tipo, que geralmente encontra-se no segundo andar, conforme observado na tipologia usual das edificações residenciais multipavimentos situadas no bairro Jardim da Penha, Vitória - ES. Para as simulações foi adotada uma malha ortogonal com 40 pontos de avaliação dentro do ambiente, com 8 pontos no eixo "X" e 5 pontos no eixo "Y" a uma altura de 75cm do piso (altura do plano de trabalho), distando-se a cerca de 0,5m entre si como normaliza a ABNT, NBR 15215-4 (BRASIL, 2005) e demonstrado na Figura 2.

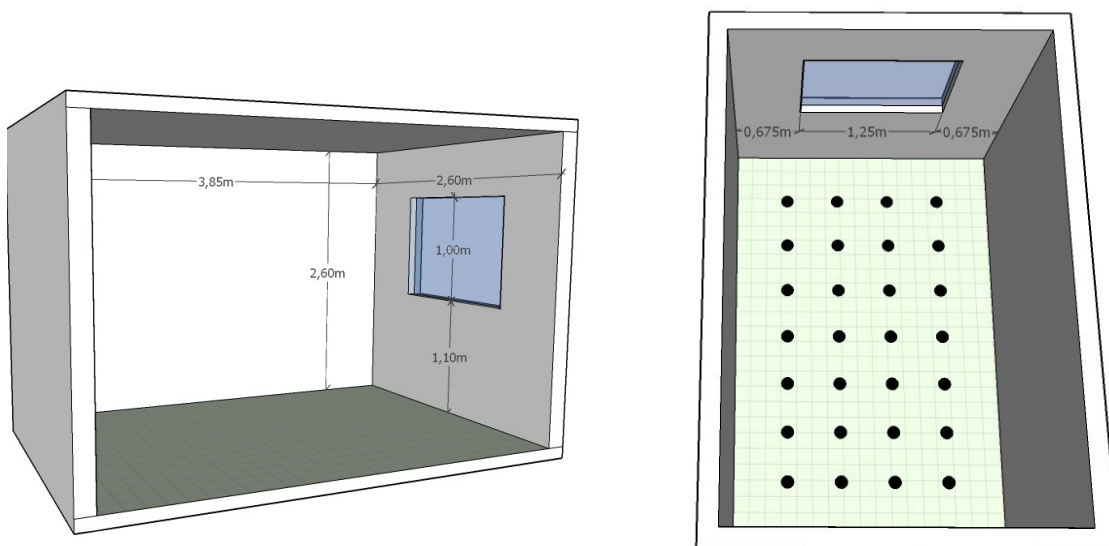


FIGURA 2 – Planta-Baixa e Corte esquemáticos do ambiente quarto, com posicionamento dos pontos para cálculo das iluminâncias.

Fonte: as autoras, 2018.

As edificações obstruidoras do entorno imediato foram definidas com base nos limites permitidos pelo Plano Diretor Urbano de Vitória (2006), que prevê os seguintes parâmetros para o bairro Jardim da Penha (ZOC1/03): gabarito máximo de 6 pavimentos; coeficiente de aproveitamento (CA) = 1,95; e taxa de ocupação máxima (TO) = 60%. Como tipologia da via adotou-se via “Local Principal”, por ser o tipo predominante no bairro Jardim de Penha, sendo que para esta tipologia o Plano Diretor Urbano de Vitória (VITÓRIA, 2006) estabelece a largura total de 12m (rua e passeio), conforme o esquema na Figura 3.

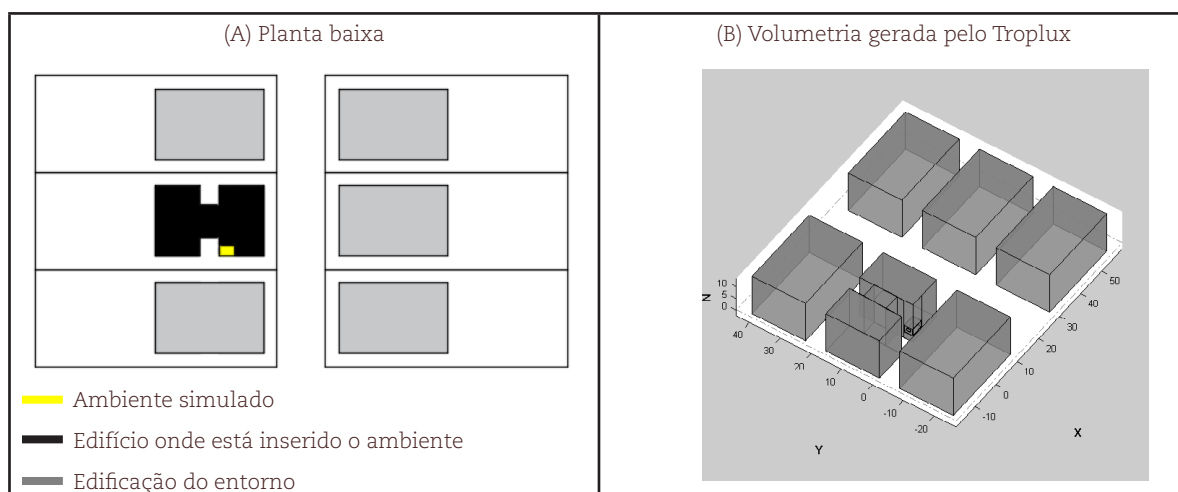


FIGURA 3 – Geometria urbana em que o ambiente está inserido.

Fonte: as autoras, 2018.

Caracterização das “áreas principais”

A Figura 4 traz exemplos de janelas laterais orientadas para “áreas principais” tipologia muito usual em Vitória, similar ao modelo de “área principal” adotado para simulação computacional nesse estudo.

FIGURA 4 - Exemplos de janelas laterais orientadas para “áreas principais”.

Fonte: as autoras, 2018.



Para ambientes de permanência prolongada com janelas alocadas para “área principal” o Código de Obras de Vitória (1998) define para o dimensionamento da “área principal” uma relação $D=2,0+h/6$, onde “D” é o diâmetro mínimo do círculo a ser inscrito na “área principal” e “h” é a distância do piso a iluminar até o piso do último pavimento do edifício (Figura 5). Assim, para o edifício estudado adotou-se o diâmetro da “área principal” = 3,80m e área = 14,44m².

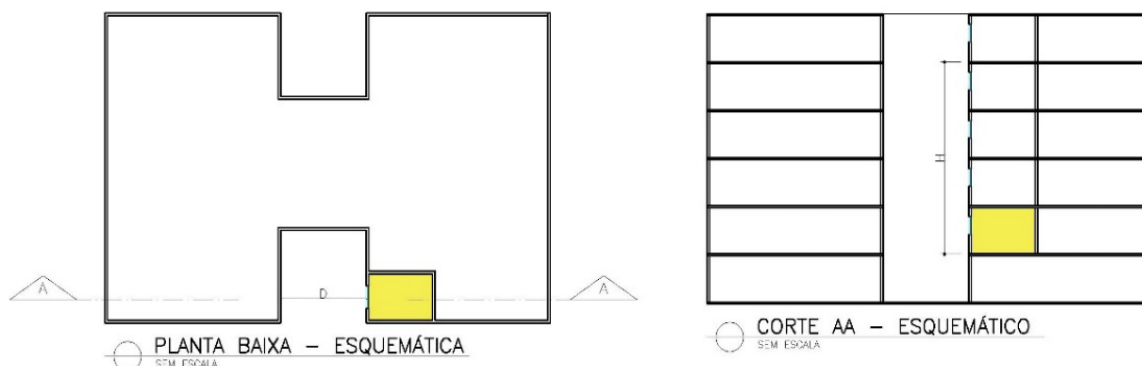


FIGURA 5 – Planta baixa e corte esquemáticos AA da “área principal”, com destaque para o ambiente avaliado.

Fonte: as autoras, 2018.

Utilizou-se para as simulações três modelos de “área principal” com variação do diâmetro em $\pm 50\text{cm}$. Este valor foi adotado em função de ser ele a diferença no diâmetro entre “área principal aberta” (distância até a rua $>1,0\text{m}$) e “área principal fechada” (Tabela 1).

| Dimensionamento da “área principal” indicado pelo Código de Obras de Vitória (1998). | | | |
|--|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Área Principal | Dimensionamento | | |
| “Área principal aberta” | $D = 2 + h/6$ | | |
| “Área principal fechada” | $D = 1,50 + h/6$ | | |
| Diferença entre o diâmetro das “áreas principais” | 0,50m | | |
| Dimensões das “áreas principais” simuladas. | | | |
| Áreas principais simuladas | Diâmetro (D) m | Definição do diâmetro | Área (A) m ² |
| A1 (menor dimensão) | D1 = 3,30 | D1 = D2 – 0,50m | 10,89 |
| A2 – código de obras (dimensão mediana) | D2 = 3,80 | D2 | 14,44 |
| A3 (maior dimensão) | D3 = 4,30 | D3 = D2 + 0,50m | 18,89 |

TABELA 1 – Dimensionamento da “área principal” indicado pelo Código de Obras de Vitória (1998) e dimensões das “áreas principais” simuladas.

Fonte: elaborado pelas autoras a partir do site da Prefeitura Municipal de Vitória.

Definição dos parâmetros para as simulações

As simulações foram realizadas no programa TropLux, que dentre as suas especificidades, destacam-se a configuração do índice de refletância das superfícies internas e externas, e do tipo de céu da localidade segundo os padrões da CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*). O programa é baseado em três conceitos: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural (CABÚS, 2005). As simulações foram feitas para todos os dias do ano no recorte das 8h às 18h, para as orientações Norte e Sul. Foi adotado Céu 7 (parcialmente nublado) conforme o padrão da CIE. A escolha do Céu 7 entre os 15 propostos pelo CIE se deu em função das pesquisas de Laranja (2010), na qual define ser o Céu 7 (parcialmente nublado) corresponde aos valores intermediários de iluminância encontrados na localidade de Vitória – ES.

A disponibilidade da iluminação natural em ambientes internos pode ser avaliada através das medidas dinâmicas de desempenho, o *Useful Daylight Illuminances* (UDI), introduzida por Nabil e Mardaljevic (2006), a qual considera a porcentagem de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação confortável. Desta forma para a análise da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno foi adotado como parâmetro os intervalos das UDI, que propõem: valores menores que 100lx como insuficientes; valores no intervalo entre 100 e 500lx caracterizam-se como suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar; valores no intervalo suficiente estão entre 500 e 2000lx; e valores caracterizados como excessivos são maiores que 2000lx.

Resultados

Os resultados da pesquisa se estruturam de acordo com as etapas de simulação: **(1)** resultado da primeira etapa das simulações - superfícies externas claras, coeficiente de reflexão 0,5; **(2)** resultado da segunda etapa das simulações - superfícies externas escuras, coeficiente de reflexão 0,2 e **(3)** síntese dos resultados obtidos nas duas etapas de simulação.

Resultado da primeira etapa das simulações - superfícies externas claras, coeficiente de reflexão 0,5

Para a orientação Norte, conforme demonstra a Figura 6, como previsto, a A3 (maior dimensão) foi a que apresentou resultados mais satisfatórios, por contemplar mais pontos do ambiente interno ao longo do ano no intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000 \text{lx}$). Pode-se verificar que a redução do diâmetro da “área principal” só interfere na iluminância do ambiente interno nos meses de menor altura solar, ou seja, maio, junho e julho, com redução em cerca de 10% nos intervalos de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000 \text{lx}$), aumentando nestes meses a necessidade de consumo de energia elétrica com iluminação artificial. Tal resultado, pode ser atribuído, provavelmente, ao fato de que na composição da iluminância perde-se a contribuição da parcela da radiação solar direta em função da menor altura solar nestes meses do ano.

Para a orientação Sul, ao contrário do que se esperava, os valores de iluminância decaíram com o aumento da “área principal”. Isto pode ser observado em cinco meses do ano, ou seja, março, abril, maio, agosto e setembro. Pode-se inferir que tal resultado deve-se à maior proximidade das superfícies refletoras da A1 (menor dimensão) que contribuíram para a reflexão da luminosidade para o ambiente interno. Além disso, verificou-se que para os meses de menor altura solar (maio, junho e julho) a variação das “áreas principais” ocasionou mudança pouco significativa nos percentuais no intervalo suficiente ($500 \leq E < 2000$), visto que apenas no mês de maio observa-se um percentual maior neste intervalo, conforme ilustra a Figura 6.

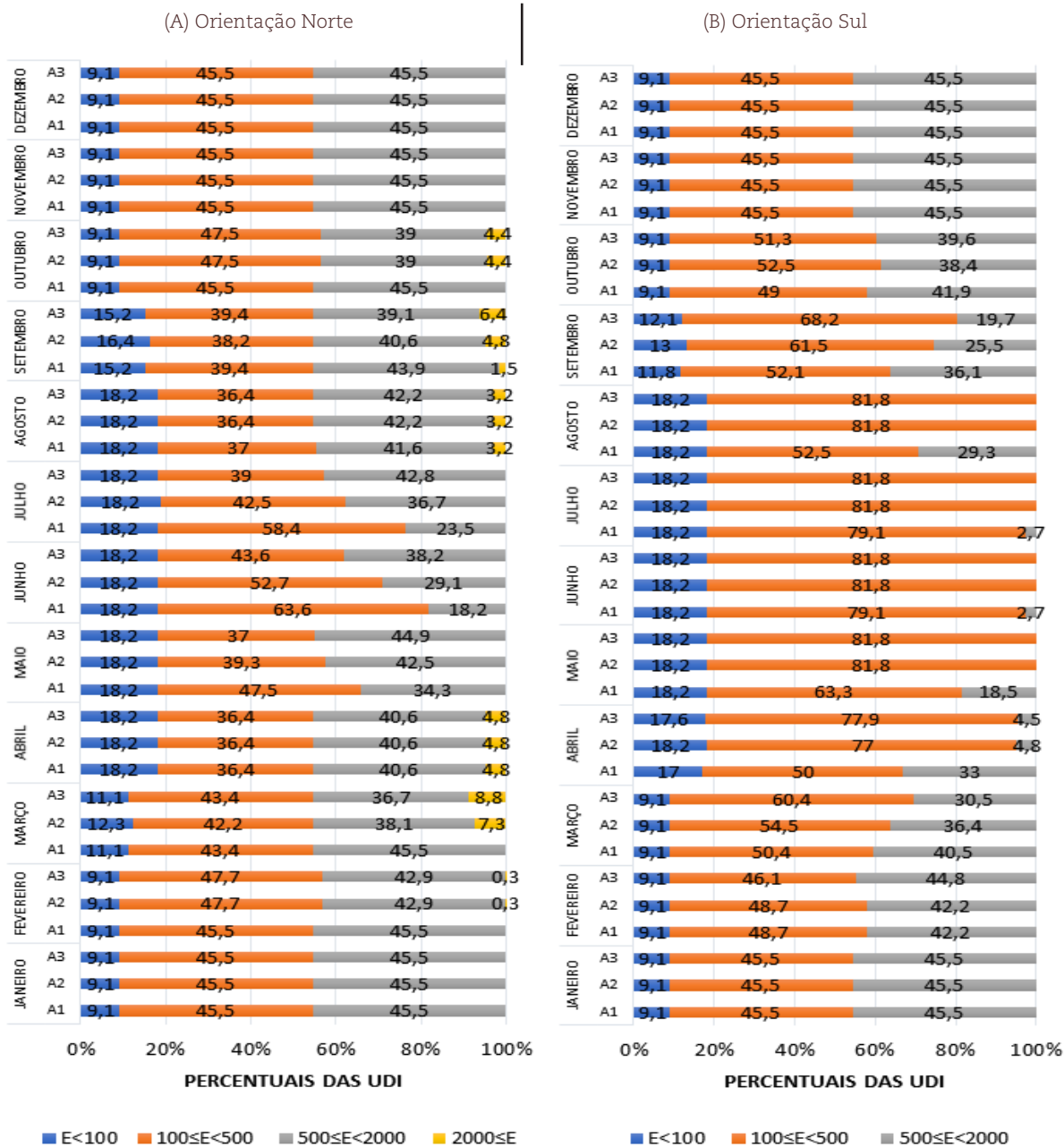


FIGURA 6 – Percentuais das UDI para ambientes com aberturas orientados para “áreas principais” (A1, A2 e A3), orientações Norte e Sul, céu 7 (parcialmente nublado), todos os meses do ano, refletância 0,5.

Fonte: as autoras, 2018.

Nota-se ainda, que nos meses em que houve variação da iluminância, esta não se deu de forma proporcional a variação do diâmetro da “área principal”, sendo esta variação da iluminâncias mais expressiva quando se aumenta o diâmetro de D1 para D2, como indica a Figura 7.

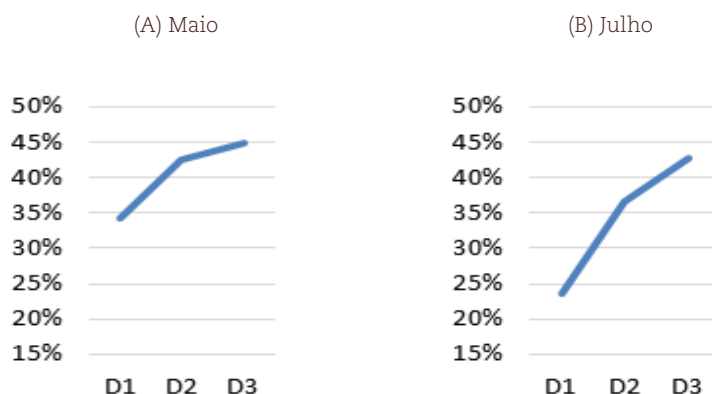


FIGURA 7 – Variação percentual no intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000 \text{lx}$), orientação Norte, céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: as autoras, 2018.

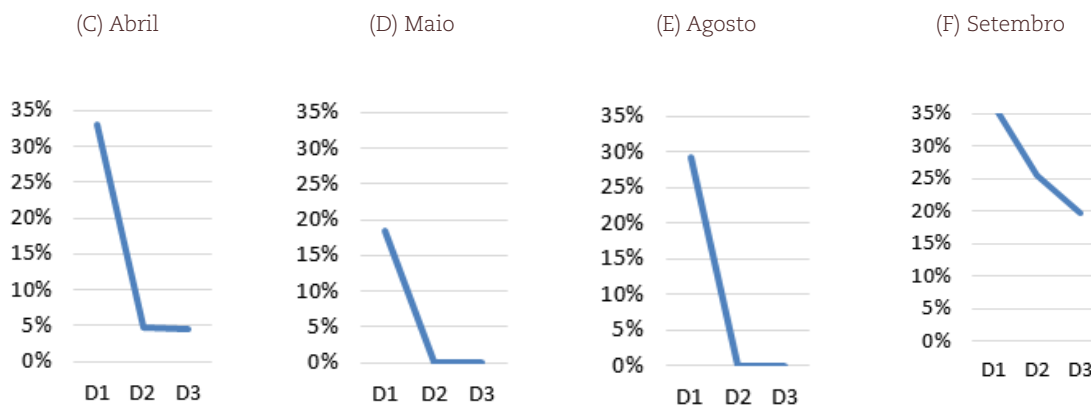


FIGURA 8 – Variação percentual no intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000$), orientação Sul, céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: as autoras, 2018.

Pode-se concluir que para a orientação Norte, o aumento do diâmetro da “área principal” de D1 para D2 proporciona aumento significativo da iluminância no ambiente interno, havendo desta forma uma maior influência da geometria da “área principal” na alteração das iluminâncias do ambiente interno.

Para a orientação Sul foi a redução do diâmetro da “área principal” que proporcionou o aumento da iluminância no ambiente interno. Este resultado conduziu a uma nova etapa de simulações, na qual foi verificada a capacidade da refletância em aumentar a iluminâncias do ambiente interno.

Resultado da segunda etapa das simulações - superfícies externas escuras, coeficiente de reflexão 0,2

Com o objetivo de verificar se o melhor desempenho da A1 (menor dimensão) de fato está atrelado à refletância das superfícies externas, foi feita uma nova etapa de simulações onde as “áreas principais” foram avaliadas com coeficiente de refletância das superfícies externas de 0,2 (superfície escura).

Dessa forma, para as orientações analisadas (Norte e Sul), foi possível verificar que a redução da refletância das superfícies externas para 0,2 trouxe prejuízos somente para a A1 (menor dimensão), reduzindo significativamente sua influência na obten-

ção de iluminação (A e D), enquanto a A2 (dimensão mediana) não sofreu alteração, havendo sobreposição das linhas com os coeficientes de reflexão 0,5 e 0,2 (B e E) e A3 (maior dimensão) sofreu influência pouco significativa da variação do coeficiente de reflexão (C e F). Diante do exposto, é possível constatar que foi a superfície clara (maior capacidade de reflexão), na orientação Sul, que contribuiu para o melhor desempenho da A1 (menor dimensão), provavelmente em função da proximidade das superfícies refletoras na A1 (menor dimensão). Observa-se, porém, que nos meses de menor altura solar há uma menor capacidade da refletância em aumentar a iluminação do ambiente interno, sendo, contudo, esta capacidade ampliada na medida em que se aproxima dos meses de maior altura solar como ilustra a Figura 9.

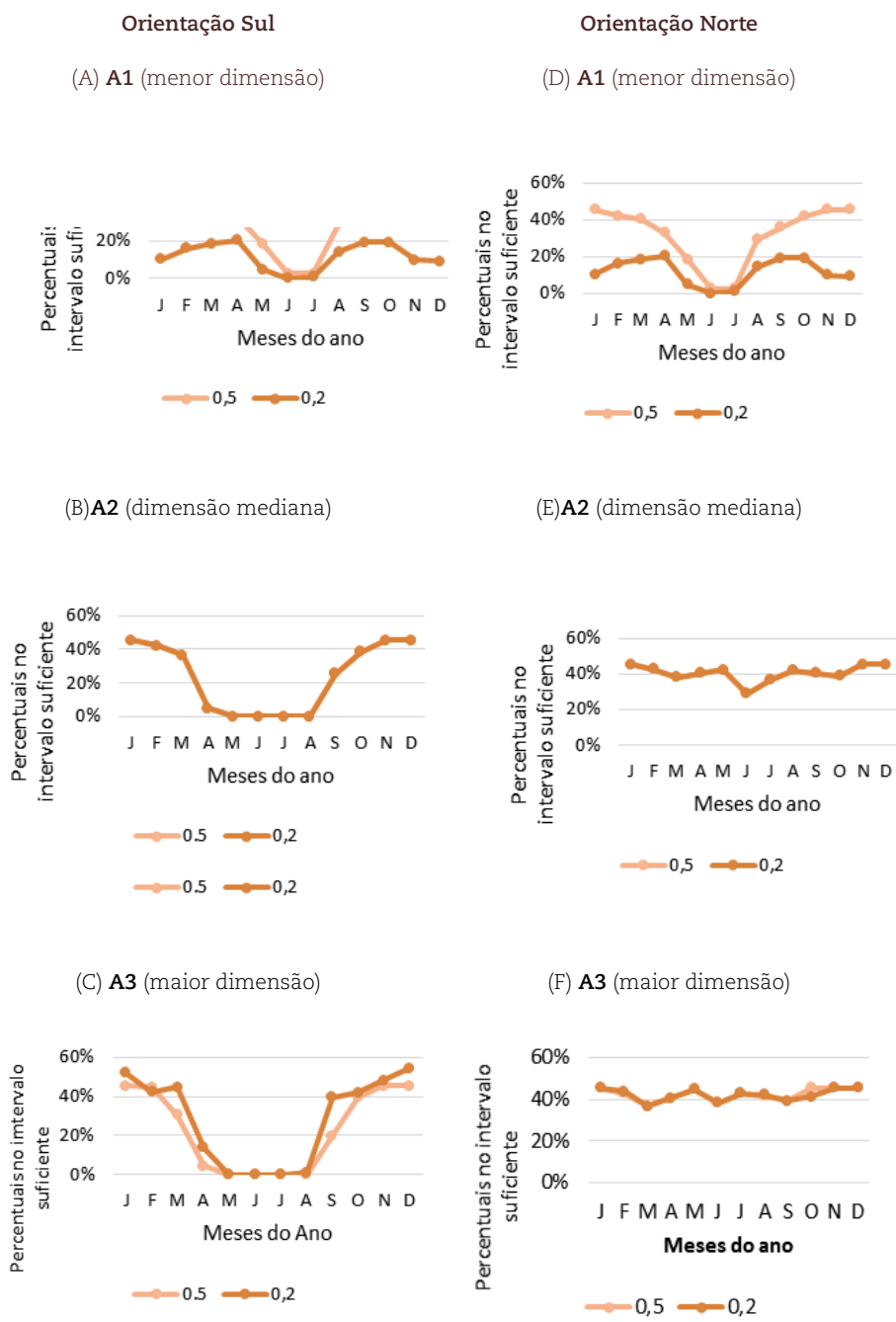


FIGURA 9 – Análise comparativa, para as “áreas principais” avaliadas, com os coeficientes de reflexão 0,2 e 0,5, para todos os meses do ano no intervalo de iluminação suficiente (500≤E<2000), orientação Sul, céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: as autoras, 2018.

Síntese dos resultados obtidos nas duas etapas de simulação

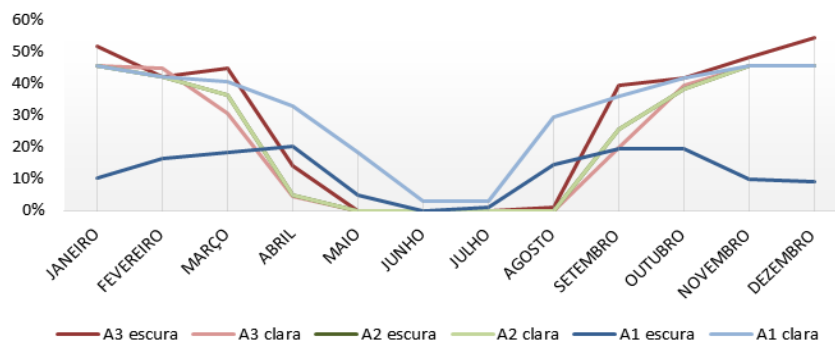
Analisando simultaneamente a variação da geometria da “área principal” e variação da refletância das superfícies externas (Figura 10), foi possível verificar, para ambas as orientações (Norte e Sul), que a refletância das superfícies externas exerceu significativa influência na performance da A1 (menor dimensão). Observou-se elevado aumento nos percentuais de iluminação do ambiente interno no intervalo suficiente ($500 \leq E < 2000$) em função do aumento da refletância das superfícies externas, o que pode ser atribuído à proximidade das superfícies refletoras da A1 (menor dimensão).

Para A3 (maior dimensão) e a A2 (dimensão mediana) a refletância das superfícies não exerceu a mesma influência, já que não houve ganhos significativos de iluminação ao aumentar o coeficiente de reflexão das superfícies externas. Além disso, identificou-se um desempenho similar entre a A2 (dimensão mediana) e a A3 (maior dimensão).

No caso da orientação Sul, nos meses de junho e julho (quando se tem as menores alturas solares) verificou-se que nenhuma das “áreas principais” analisadas é capaz de garantir iluminação adequada no ambiente interno. Todavia, na medida em que se aproxima do mês de dezembro (quando se tem maiores alturas solares), as “áreas principais” analisadas ampliam o potencial de iluminação do ambiente interno. Por fim, foi possível constatar que para a orientação Sul, a A1 (menor dimensão) com a superfície externa clara (reflexão 0,5) foi a que obteve a melhor performance por contemplar os maiores percentuais dentro do intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000$), o que pode ser atribuído à proximidade das superfícies refletoras da A1 (menor dimensão).

Para a orientação Norte, nota-se um desempenho mais uniforme da A2 (dimensão mediana) e A3 (maior dimensão) ao longo do ano. Já para a A1 (menor dimensão) com a superfície clara apesar de apresentar resultados similar aos da A2 e da A3 nos meses de maior altura solar, apresenta um acentuado decréscimo dos percentuais de iluminação nos meses de abril a agosto. Os piores resultados estão em A1 (menor dimensão) com a superfície escura. Apesar de o aumento da refletância das superfícies externas melhorarem o desempenho da A1 (menor dimensão), será no A3 (maior dimensão) com a superfície clara que haverá garantia dos melhores resultados ao longo do ano, visto que compreendem os maiores percentuais dentro do intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000$), acarretando então maior redução no consumo de energia elétrica com iluminação artificial. Os dados foram sintetizados no Quadro 2.

(A) Orientação Sul



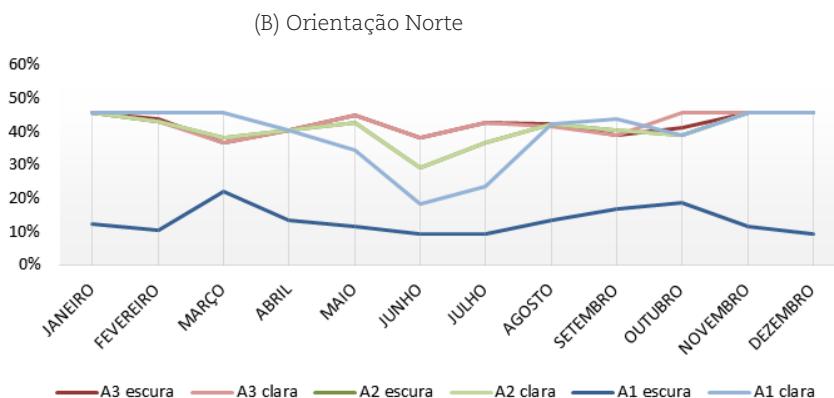


FIGURA 10 – Síntese das etapas 1 e 2: percentuais no intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000 \text{lx}$) para todos os meses do ano, orientações Norte e Sul, céu 7 (parcialmente nublado), refletâncias das superfícies externas 0,2 e 0,5.

Fonte: as autoras, 2018.

| | Orientação Norte | | | Orientação Sul | | | LEGENDA: |
|--------|------------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|
| | A3 Maior | A2 Mediana | A1 Menor | A3 Maior | A2 Mediana | A1 Menor | |
| Clara | | | | | | | Satisfatório |
| Escura | | | | | | | Moderado |
| | | | | | | | Insatisfatório |

QUADRO 2 – Síntese dos resultados referente ao desempenho da iluminação natural no ambiente interno a partir da atuação das “áreas principais”.

Fonte: as autoras, 2018.

Considerações Finais

Esta pesquisa teve por objetivo compreender a performance luminosa do ambiente interno quando com abertura orientada para área caracterizada como poço de iluminação ou de acordo com o Código de Vitória (1998) “área principal”. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar, para as orientações analisadas (Norte e Sul), que a variação da iluminância não se deu de forma proporcional à variação do diâmetro, sendo esta variação mais expressiva quando se altera o diâmetro de D1 (menor dimensão) para D2 (dimensão mediana).

Para a orientação Norte, como previsto, a A3 (maior dimensão) foi a que apresentou resultados mais satisfatórios, por contemplar mais pontos do ambiente interno ao longo do ano no intervalo de iluminação suficiente ($500 \leq E < 2000 \text{lx}$). Pode-se verificar que a redução do diâmetro da “área principal” só interfere na iluminância do ambiente interno nos meses de menor altura solar, ou seja, maio, junho e julho.

Para a orientação Sul, ao contrário do que se esperava, os valores de iluminância decaíram com o aumento da “área principal”, onde a A1 (menor dimensão) apresentou os melhores resultados. Tal resultado, foi atribuído, a proximidade das superfícies

refletoras da A1 (menor dimensão) que contribuíram para a reflexão da luminosidade para o ambiente interno. Dessa forma, foi possível verificar a significativa influência da refletância das superfícies externas na A1 (menor dimensão).

Por fim, vale destacar que cada orientação possui características particulares, não sendo possível adotar um modelo de “área principal” genérico independente da orientação, como sugerem os códigos de obras. Além disso, foi possível constatar que além da geometria, os poços sofrem influência de outros fatores, como a refletância das superfícies externas no ganho de iluminação natural do ambiente interno.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela viabilização desta pesquisa.

Referências

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-1: Parte 1 – conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro, 1999.

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

BELO HORIZONTE. Lei nº. 9725, de 15 de julho de 2009. **Código de Edificações do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1021196>>. Acesso em: 17 mai. 2017.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: building design strategies**. Oxford: Elsevier, 2008

CABÚS, R. C. **Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. Anais... Maceió, 2005.

CABÚS, R. C. **TropLux, versão 7.0: Guia do Usuário**. Maceió: Grilu, 2012.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014.

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

LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R. **Ocupação urbana e disponibilidade de luz natural**. Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia, vol. 5, n. 2, p. 129-138, 2008.

MARTINS, L. O. **O poço de luz como estratégia de iluminação natural na cidade de Maceió – AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors**. Energy and Buildings, London: Elsevier, v.38, p.905-913, 2006.