

## The Performance of Windows in Relation to the Amount of Daylight Availability

Indiara Maria Vieira Barbieri

*Federal University of Espírito Santo, Planning and Project Laboratory, Vitória (ES), Brazil*  
[indiara\\_mvb@hotmail.com](mailto:indiara_mvb@hotmail.com)

Andrea Coelho Laranja

*Federal University of Espírito Santo, Planning and Project Laboratory, Vitória (ES), Brazil*  
[andrea.laranja@ufes.br](mailto:andrea.laranja@ufes.br)

Cristina Engel de Alvarez

*Federal University of Espírito Santo, Planning and Project Laboratory, Vitória (ES), Brazil*  
[cristina.engel@ufes.br](mailto:cristina.engel@ufes.br)

RESUMO: A iluminação natural é um importante item utilizado em projetos energeticamente eficientes. Além de proporcionar ambientes mais saudáveis e agradáveis para a permanência humana, o dimensionamento adequado das aberturas proporciona um melhor aproveitamento da iluminação natural, reduzindo o consumo de sistemas de iluminação artificiais. A presente pesquisa teve como objetivo investigar o comportamento da iluminação natural no ambiente interno em função da variação das aberturas, em específico as áreas das janelas. Através do software TropLux foram realizadas simulações computacionais, no qual, são estabelecidos pontos específicos dispostos no ambiente em estudo em horários e dias do ano pré-estabelecidos, sendo geradas médias anuais de iluminância e percentuais de horas do intervalo das UDI (Useful Daylight Illuminances). As simulações foram feitas em um ambiente de geometria retangular, na cidade de Vitória de latitude 20°19'S, utilizando tipos de céus padrões da CIE. Como principal resultado obtido constata-se que para todas as situações testadas, o aumento da área das janelas ocasiona o ganho da iluminação natural, ressaltando-se, porém, que há um limite entre o aumento das áreas de abertura e o ganho de iluminação natural. Verifica-se também que para todos os céus, o aumento das aberturas provoca uma elevação no percentual útil de iluminação no intervalo  $500 \leq UDI \leq 2000$  (suficiente), e somente para o céu 7 (parcialmente nublado) esse aumento de abertura provoca uma significativa elevação no intervalo  $UDI > 2000$  (excessivo), necessitando do uso de sombreadores solares.

**Palavras-chave** *iluminação natural, aberturas laterais, legislação edilícia.*

## 1. INTRODUÇÃO

A luz natural, ao proporcionar melhores condições de iluminação interna, promove ambientes mais saudáveis e agradáveis para a permanência humana, além de reduzir o consumo de energia elétrica com os sistemas de iluminação artificiais (KEELER; BURKE, 2010; MESA et al., 2011; HARB et al., 2014). Segundo Amorim (2007) a luz natural exerce uma importante atribuição no âmbito funcional, ambiental e qualitativo da arquitetura, e a sua incorporação enquanto diretriz na fase inicial de projeto amplia os benefícios para os usuários e reduz os impactos ambientais. Desta forma, cresce a busca por construir espaços que otimizem aspectos ambientais, dentre eles a luz natural.

A disponibilidade de luz natural no ambiente interno está relacionada, entre outros fatores, com as características da janela. A integração do espaço interno ao externo através delas é um método eficaz para maximizar a luminosidade natural e oferecer maior eficiência energética à edificação. Diversos são os autores que evidenciam a relação entre as características de geometria e propriedades da janela e a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente (BOKEL, 2007; TZEMPELIKOS et al., 2010).

Vianna e Gonçalves (2001) abordam que as dimensões, área, tipo de vidro, posicionamento na parede, dentre outros fatores, influenciam o acesso da iluminação natural no interior do ambiente. Bittencourt e Oiticica (1995), destacam que apesar da forma e localização das janelas também serem relevantes na iluminação natural do ambiente interno, as dimensões das janelas são os parâmetros de maior grau de influência nos níveis de iluminação.

Conforme Capeluto (2003) e Li et al. (2006) múltiplos fatores influenciam a entrada de luz natural no ambiente interno, dentre eles, destaca-se a profundidade e formato do ambiente, refletâncias das superfícies internas, propriedade ópticas do vidro, além da orientação, forma e tamanho da janela. Ünver (2009) também afirma que as características das janelas, como dimensão, orientação e transmitância luminosa do vidro são parâmetros básicos que interferem na iluminação natural no ambiente interno.

Diante dos aspectos tratados, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da iluminação natural no interior do ambiente analisado à medida que são variadas as áreas das janelas, constatando assim, a interferência que esta variação ocasiona na iluminação do ambiente interno.

## 2. METODOLOGIA

A principal estratégia adotada para a obtenção dos resultados pretendidos foi a simulação computacional, a qual foi realizada em um cenário fictício.

O ambiente hipotético localiza-se em Vitória/ES-Brasil (LAT 20°19'S; LONG 40°20') e possui dimensões internas de 2,6 x 3,85 x 2,6 m, (largura, comprimento e pé-direito respectivamente), sendo este modelo adotado a partir do Código de Obras do município de Vitória, ES (Vitória, 1998). O sistema de janela adotado para o ambiente é composto por duas folhas em alumínio e vidro transparente comum. O ambiente interno está situado no primeiro pavimento tipo que equivale ao quarto pavimento do edifício, onde os primeiros pavimentos são destinados ao térreo, à garagem e à área de lazer, destacando-se que essa configuração do edifício é um modelo comumente adotado em edifícios multifamiliares na região metropolitana de Vitória. Foram inseridos trinta e cinco pontos de avaliação

equidistantes dentro do ambiente interno, alocados no plano de trabalho à 0,75 m do piso em uma malha ortogonal, conforme Figura 1.

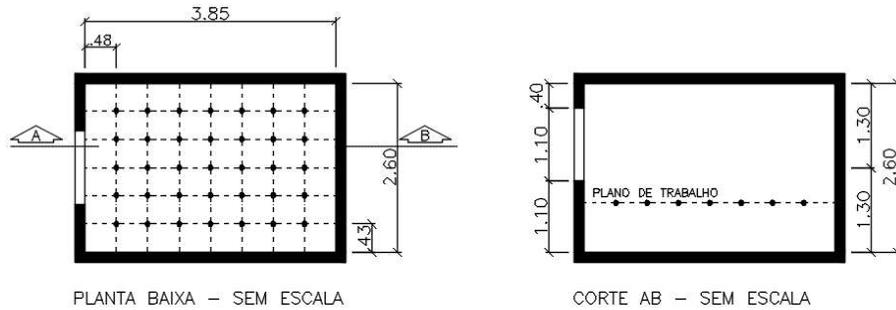


Figura 1: Representação gráfica do ambiente interno simulado, sendo à esquerda, a planta baixa esquemática e à direita o Corte AB. Fonte: Autores, 2016.

Em relação a geometria urbana, esta caracteriza-se por uma via frontal ao ambiente com 18 m de largura, classificada como via “Local Principal” de acordo com o Plano Diretor de Vitória (Vitória, 2006). Considerou-se os terrenos do entorno ocupados por cinco edifícios obstruidores, observando-se a legislação urbana em relação aos afastamentos frontais e de fundo de 3 m, e laterais de 1,5 m, com altura máxima das edificações de 45 m, conforme figura 2.

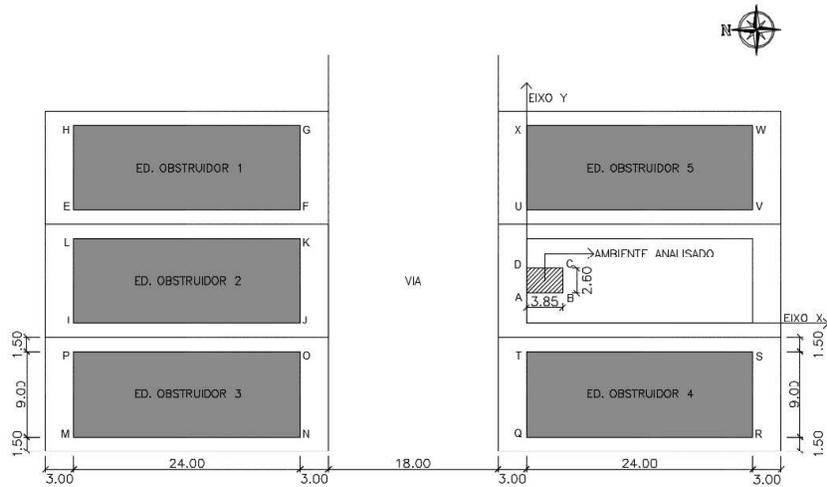


Figura 2: Composição hipotética da geometria urbana onde o ambiente interno avaliado está inserido. Fonte: Autores, 2016.

As simulações foram realizadas com a janela orientada para Norte em todos os dias do ano. Foram analisadas as médias anuais de iluminância nos horários de 8h; 10h; 14h e 16h bem como os percentuais de horas das UDIs (*Useful Daylight Illuminances*) de todas as horas do dia entre 7h às 17h.

Foram utilizados os céus padrões da CIE (*International Commission on Illumination*), adotando para esta análise o céu 3 (encoberto), céu 7 (parcialmente nublado) e o céu 12 (claro), sendo respectivamente os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual dos valores de iluminação interna (Laranja, 2010).

Foram fixados os valores de refletância das superfícies internas e externas, sendo: piso = 0,2; parede = 0,6; teto = 0,8; e para as externas: piso = 0,2 e edifícios obstruidores = 0,4. Variou-se as áreas das janelas, adotando-se o preconizado nos Códigos de Obras brasileiro, onde a relação da área de janela está vinculada a uma fração da área do compartimento. Assim, nas simulações foram adotadas as frações que compreendem tanto as frações usualmente estabelecidas nos códigos de obras (1/6 à 1/8) quanto as frações que induzem às áreas maiores e menores para a janela, sendo elas, 1/5; 1/9; 1/10 e 1/11. Desta forma, a janela de área correspondente à 1/5 da área do compartimento será classificada como J1, assim como as janelas de área 1/6; 1/7; 1/8; 1/9; 1/10 e 1/11 da área do compartimento serão classificadas como J2, J3, J4, J5, J6 e J7 respectivamente.

Os resultados obtidos nas simulações são os valores médios anuais da iluminação interna, onde foi possível avaliar o comportamento da luz natural no ambiente em função da área da janela.

Os resultados das simulações também permitiram a obtenção dos percentuais de horas em função dos intervalos das UDIs. Estes intervalos são classificados como insuficientes quando os valores são inferiores a 100 lx; suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar, quando os valores estão entre 100 e 500 lx; suficientes quando os valores estão entre 500 e 2000 lx e excessivos quando os valores são superiores a 2000 lx (Nabil e Mardaljevic, 2006).

### 3. RESULTADOS

No levantamento e análise das regulamentações edilícias das capitais brasileiras, observando as diretrizes estabelecidas pelos Códigos de Obras, conforme a Tabela 1, é possível concluir que de todas as capitais analisadas, 81,5% estabelecem as áreas de janela em função da área do piso, com frações que variam entre 1/5 e 1/8.

Tabela 1: Análise das regulamentações edilícias das capitais brasileiras.

	Sudeste			Sul		Centro-Oeste			Norte					Nordeste													
Observação dos Códigos\ Capitais	Belo Horizonte	Rio de Janeiro	São Paulo	Vitória	Curitiba	Florianópolis	Porto Alegre	Brasília	Campo Grande	Cuiabá	Goiania	Belém	Boa Vista	Macapá	Manaus	Palmas	Porto Velho	Rio Branco	Aracaju	Fortaleza	João Pessoa	Maceió	Natal	Recife	Salvador	São Luis	Teresina
As janelas terão sua abertura dimensionada em função da destinação do compartimento a que servirem.																											
Proporção das janelas em relação à área do piso - 1/5																											
Proporção das janelas em relação à área do piso - 1/6																											
Proporção das janelas em relação à área do piso - 1/7																											
Proporção das janelas em relação à área do piso - 1/8																											
Proporção das janelas em relação à área do piso - 15%																											

Obs.: A regulamentação edilícia de Boa Vista determina que as aberturas laterais dos dormitórios tenham área proporcional de 1/6 em relação à área do piso e as salas tenham área proporcional de 1/8 em relação à área do piso.

A partir dos resultados apresentados foram geradas simulações, utilizando para isto diferentes áreas de janela em função da área de piso. Foram então elaborados gráficos a partir dos resultados obtidos nas simulações do software TropLux, no qual permitem observar de acordo com a variação das janelas como ocorrem as alterações nas médias anuais de iluminância interna bem como as alterações nos percentuais de horas do dia dos intervalos das UDIs.

### 3.1 Análise dos resultados para céu 3 (encoberto)

O Gráfico 1 apresenta as médias anuais de luz direta e difusa obtidas para o céu 3. Observa-se que o aumento da área das janelas acarreta uma maior disponibilidade de iluminância no interior do ambiente para todos os horários simulados. Nota-se, porém, que a medida que são ampliadas as áreas das janelas, apesar dos aumentos de iluminância, estes não acompanham os mesmos aumentos proporcionais nas taxas de iluminação.

Observa-se ainda que a medida que se reduz a área de abertura das janelas, decresce a amplitude da iluminação natural entre os horários definidos ao longo do dia. Assim, nota-se que ambientes iluminados com janelas de áreas menores serão submetidos a menores variações de iluminação no decorrer do dia. Para todas as janelas, as variações de iluminação são maiores durante o período da manhã, e em um segundo momento, durante o período da tarde, onde a média anual de iluminância aumenta das 8h às 10h, permanece estável das 10h às 14h, e decresce das 14h às 16h. Destaca-se também que a maior parcela constituinte da iluminância obtida para todas as janelas é proveniente da luz direta. Desta forma, conclui-se que todas as janelas devem ter dispositivos de proteção, sejam eles externos ou internos ao ambiente, em função da maior variação da iluminância que ocorre ao longo do dia e da parcela de luz direta.

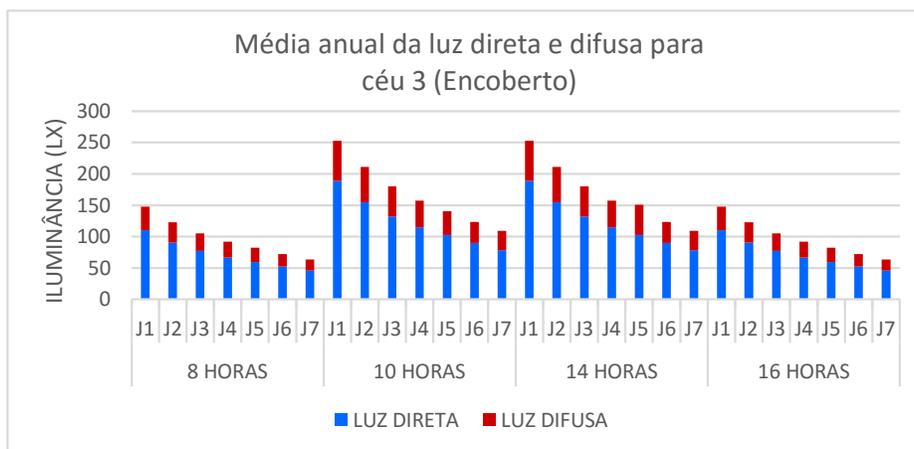


Gráfico 1: Média anual da luz direta e difusa para céu 3 - orientação Norte.

O Gráfico 2, apresenta o percentual dos valores de UDI para o céu 3 (encoberto). Observa-se que para todas as janelas, o aumento das áreas acarreta uma elevação no percentual útil de iluminação  $100 \leq E \leq 500$ . Para o intervalo  $500 \leq E \leq 2000$ , nota-se que há um aumento pouco significativo entre as janelas J2 à J7 contrapondo-se com o expressivo aumento do percentual útil de iluminação entre as janelas J2 e J1. Desta forma, para o céu 3 ao variar a

área da janela J7 para J2, têm-se um aumento maior que 80% na área da janela, porém, um ganho um pouco maior do que 70% no intervalo suficiente, em contrapartida, a variação da área da janela de J2 para J1, proporciona um ganho de 20% em área e de 75% em percentual útil de iluminação. Observa-se ainda, que para todas as janelas, apesar do percentual relativo ao intervalo  $E > 2000$  ser zero, haverá a necessidade de proteção solar devido à parcela de luz direta.

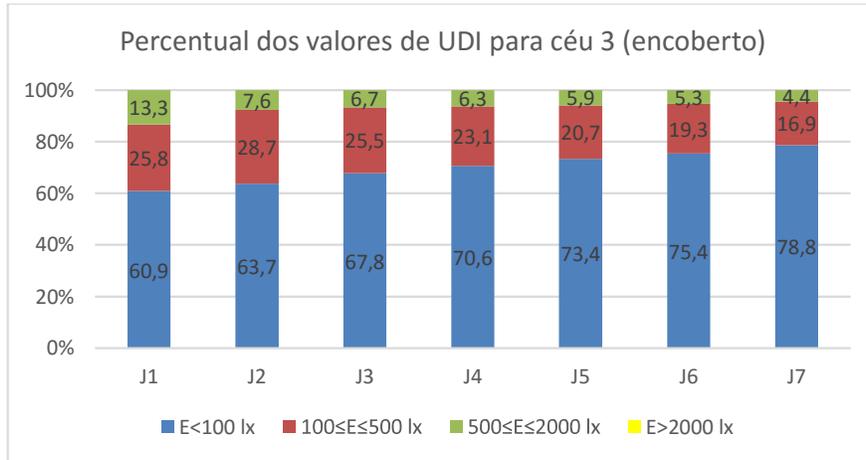


Gráfico 2: Percentual de horas dos intervalos das UDI para orientação Norte e céu 3 (encoberto) em função da variação das janelas.

### 3.2 Análise dos resultados para céu 7 (parcialmente nublado)

O Gráfico 3 apresenta as médias anuais de luz direta e difusa obtidas para o céu 7. Nota-se, que assim como para o céu 3, o aumento da área das janelas acarreta uma maior disponibilidade de iluminância no interior do ambiente para todos os horários simulados. Observa-se ainda que há uma uniformidade no ganho de iluminação para as janelas J1 à J7 nos horários de 8h e 16h. Há também uma uniformidade no ganho de iluminação natural de J4 à J7 nos horários de 10h e 14h. Em contrapartida, as janelas J1 à J4 oferecem uma maior perda de iluminação à medida que vão sendo reduzidas as áreas de janela. Isto pode ser observado pela curva de decaimento da iluminação natural quando se alteram as áreas das janelas, onde há um ponto de deflexão desta curva, exatamente na J4.

Observa-se ainda, que a redução da área das janelas ocasiona o decréscimo da amplitude da iluminação natural entre os horários definidos ao longo do dia. Desta forma, ambientes iluminados com janelas de áreas menores são submetidos à pequenas variações de iluminação, contrapondo-se com as janelas de áreas maiores. As variações de iluminação, tanto para janelas de maior ou menor área, são maiores durante o período da manhã e em um segundo momento, durante o período da tarde, no qual, a média anual da iluminância aumenta das 8h às 10h, e permanece praticamente estável das 10h às 14h, diminuindo bruscamente das 14h às 16h. Destaca-se ainda que a maior parte da iluminância obtida para todas as janelas é proveniente da luz direta, necessitando-se de dispositivos sombreadores para todas as aberturas.

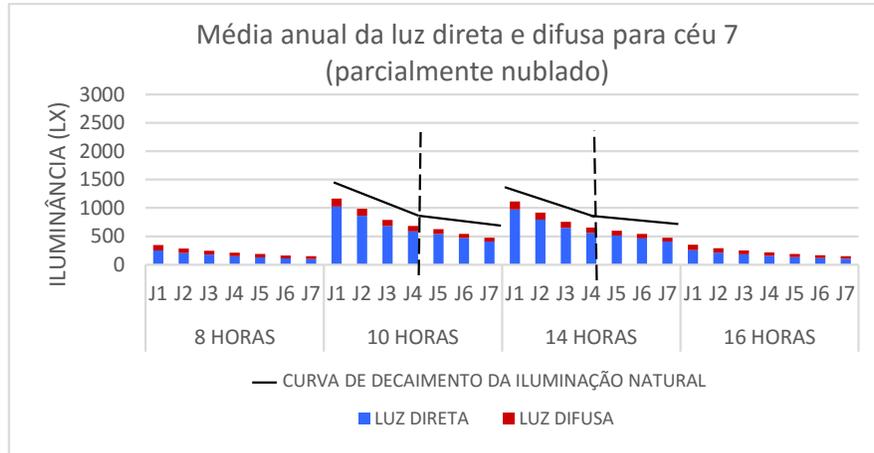


Gráfico 3: Média anual da luz direta e difusa e curva de decaimento da iluminação natural e o seu ponto de deflexão para céu 7 - orientação Norte.

O Gráfico 4, apresenta o percentual dos valores de UDI para o céu 7 (parcialmente nublado). Nota-se que para todas as janelas, o aumento das áreas gera uma elevação no percentual útil de iluminação  $100 \leq E \leq 500$  e  $500 \leq E \leq 2000$ . Entretanto, observa-se que da janela J7 à J1 mais do que triplicou o percentual relativo ao intervalo  $E > 2000$ , acarretando a necessidade de dispositivos sombreadores nas fachadas para todas as janelas.

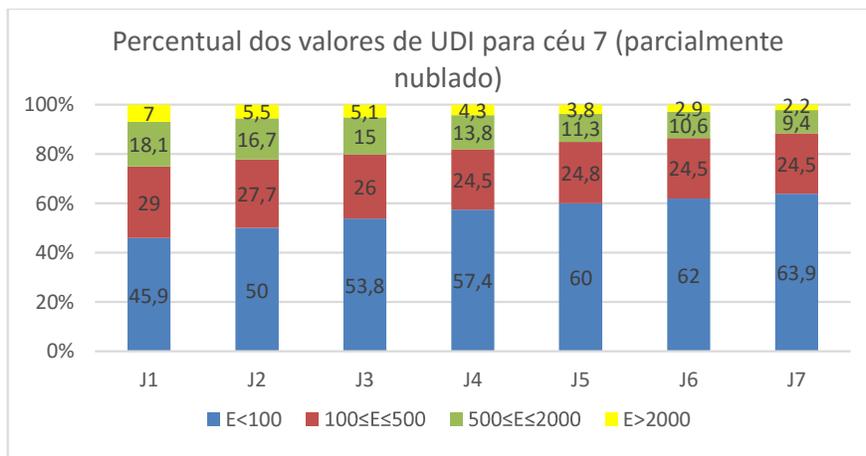


Gráfico 4: Percentual de horas dos intervalos das UDI para orientação Norte e céu 7 (parcialmente nublado) em função da variação das janelas.

### 3.3 Análise dos resultados para céu 12 (claro)

O Gráfico 5 apresenta as médias anuais de luz direta e difusa obtidas para o céu 12. Observa-se que o aumento das janelas possibilita um maior ganho de iluminância no interior do ambiente para todos os horários simulados. Nota-se que as janelas J1 à J7 nos horários de 8h e 16h e as janelas J4 à J7 nos horários de 10h e 14h apresentam uma uniformidade no ganho de iluminação natural, assim como no céu 7. Entretanto, as janelas J1 à J4 nos horários de 10h e 14h oferecem maior perda de iluminação conforme a redução da área da janela. Isto pode ser observado pela curva de decaimento da iluminação natural à medida que se variam as áreas das janelas, onde o ponto de deflexão da curva está exatamente na J4.

Observa-se ainda que a medida que se reduz a área das janelas, decresce a amplitude da iluminação natural entre os horários definidos ao longo do dia. Em todos os casos, a média anual de iluminância aumenta das 8h às 10h, sendo às 10h o horário de maior ganho de iluminação, decaindo suavemente entre as 10h e 14h e permanece em queda das 14h às 16h.

É importante destacar que a maior parte da iluminância obtida para quase todas as janelas é proveniente da luz direta. Apenas as janelas J5, J6 e J7 às 8h tem a parcela de luz difusa maior que a parcela de luz direta. Em todos os outros casos, em especial para os horários das 10h e 14h, a luz direta representa uma parcela significativa de iluminância, podendo representar mais de 90% do total de iluminação. Desta forma, principalmente para estas janelas, haverá a necessidade de utilização de dispositivos sombreadores da iluminação natural, de modo a amenizar o ganho de luz solar direta para estas janelas neste tipo de céu.

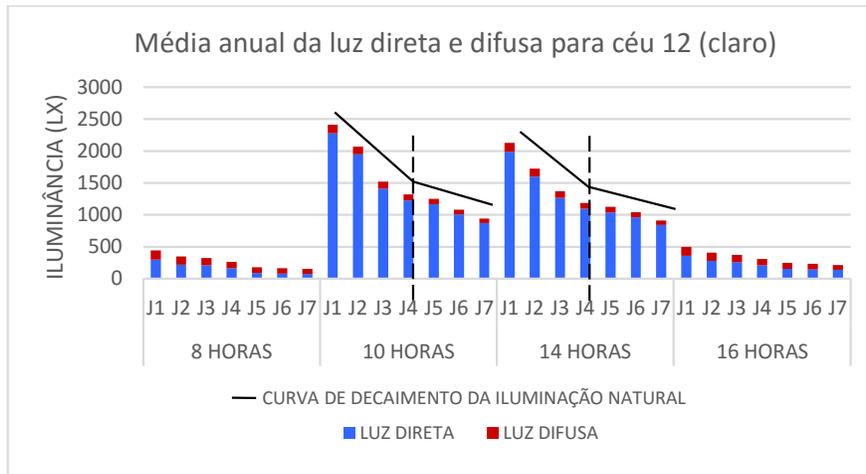


Gráfico 5: Média anual da luz direta e difusa e curva de decaimento da iluminação natural e o seu ponto de deflexão para céu 12 - orientação Norte.

O Gráfico 6, apresenta o percentual dos valores de UDI para o céu 12. Nota-se que, para todas as janelas, o comportamento é similar ao ocorrido no céu 3 e 7. Observa-se, porém, que o intervalo cuja luz natural é suficiente como única fonte, a variação do percentual útil é maior entre as janelas de maior área, ou seja, apesar da variação das janelas serem proporcionais, o aumento no ganho da iluminação não segue a mesma proporção. Em contrapartida, o percentual relativo ao intervalo  $E > 2000$  teve uma variação insignificante para todas as janelas.

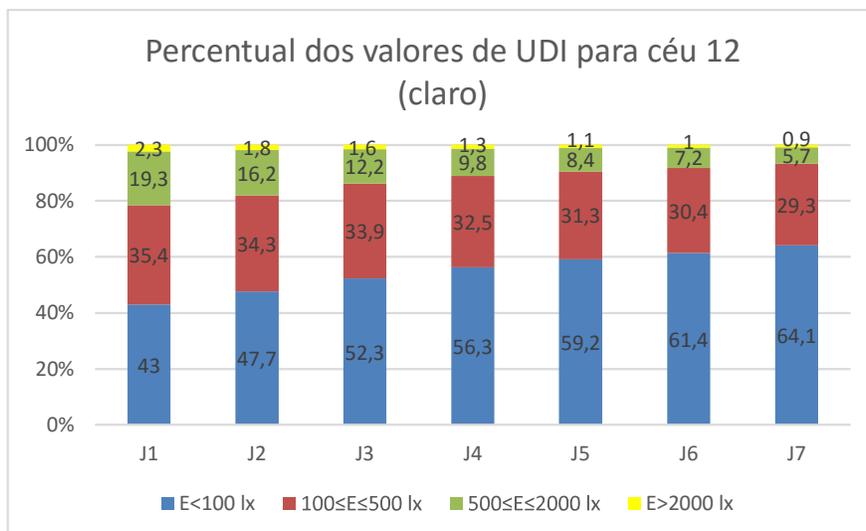


Gráfico 6: Percentual de horas dos intervalos das UDI para orientação Norte e céu 12 (claro) em função da variação das janelas.

#### 4. CONCLUSÃO

Diversos fatores influenciam a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno, e este estudo aponta as interferências causadas pela variação da área das janelas e o ganho de iluminância. Em todos os casos o aumento da área da janela conduz a um ganho de iluminância, embora não ocorra na mesma proporção do aumento da área da mesma.

Observa-se que para todos os céus testados o aumento da janela contribui para o acréscimo de luz natural no interior do ambiente, ressaltando-se que apenas para o céu 7 (parcialmente nublado) este aumento de iluminância ocasionada o ganho de luz excessiva. Entretanto, destaca-se que para todos os céus a maior parte da iluminância obtida é proveniente da luz direta, com apenas poucas exceções, tornando-se necessário o uso de sombreadores solares para o céu 3, céu 7 e céu 12.

Observa-se também que para todos os céus testados, principalmente para as janelas maiores, haverá a necessidade de utilização de dispositivos sombreadores da iluminação natural, em função da maior variação da iluminância que ocorre ao longo do dia. Os dispositivos sombreadores permitirão adequar os níveis de iluminância às atividades do ambiente interno.

Através dos resultados obtidos, conclui-se que para todos os céus, com janelas orientadas para Norte, o aumento da área da janela contribui para o acréscimo de luz natural no interior do ambiente, mas quando o aumento se dá entre as janelas de maior área – entre J1 e J3 – haverá um ganho maior de iluminação.

Em relação às normativas vigentes nas capitais brasileiras, as frações utilizadas nos códigos de obras precisam ser revistas. Em função da orientação solar, do tipo de céu da localidade, dentre outras variáveis, há ganhos diferenciados de iluminação natural no ambiente interno. Desta forma, padronizar a área da janela do ambiente somente em função da área do compartimento não dá garantias de uma iluminação adequada para o ambiente interno.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Trabalho vinculado ao Projeto de Pesquisa “Iluminação natural: Eficiência energética e conforto visual no ambiente interno” registrado no PRPPG (Pró-Reitoria e Pós-Graduação) da UFES.

## REFERÊNCIAS

- Amorim, C. N. D. 2007. Diagrama morfológico Parte I – instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. *Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo* 3: 57-76.
- Bittencourt, L.; Oiticica, M. 1995. Influência da localização, dimensão e forma das janelas nos níveis de iluminação natural produzidos por céus encobertos. III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, 4-7 de Julho de 1995.
- Bokel, R. M. J. 2007. The Effect of Window Position and Window Size on the Energy Demand For Heating, Cooling and Electric Lighting. In: *building simulation*, Delft.
- Capeluto, I.G. 2003. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. *Building and Environment* 38: 745-752.
- Harb, F.; Hidalgo, M. P.; Martau, B. 2014. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. *Chronobiology International* 1 1-8.
- Keeler, M.; Burke, B. 2010. Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis. Porto Alegre: Bookman.
- Laranja, A. C. 2010. 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.
- Li, D.H.W., Wong, S.L., Tsang, C.L, Cheung, G. H.W. 2006. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. *Energy and Building* 38: 1343 - 1348.
- Mesa, N. A.; Corica, L.; Pattini, A. 2011. Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment: A study in Mendoza, Argentina. *Renewable Energy* 36: 2414-2423.
- Nabil, A. & Mardaljevic, J. 2006. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings, London: Elsevier* 38: 1343-1348.
- Tzempelikos, A. et al. 2010. Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices - Part II: Thermal comfort simulation and impact of glazing and shading properties. *Building and Environment* 45: 2517-2525
- Ünver, R. 2009. Prediction of interior daylight availability for external obstructions in Istanbul. *Light & Engineering* 17: 54-64.
- Vianna, N. S. & Gonçalves, J. C. S. 2001. *Iluminação e Arquitetura*. São Paulo: Virtus.
- Vitória. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. Código de Edificações do Município de Vitória. Vitória, 1998. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/consulta.cfm?id=3164>>. Acesso em: 02 fev. 2016.
- Vitória. Plano Diretor Urbano. Lei n°. 6.705, de 2006. Institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências. Vitória, 2006. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/consulta.cfm?id=167650>>. Acesso em: 05 fev. 2016.