

## Análise do potencial de aproveitamento da luz natural em escritórios com sistemas de aberturas voltados para Leste

Viviane Hazboun

Contato: vivianehazboun@gmail.com

Conforto Ambiental e Eficiência Energética

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de aberturas consistem em um dos principais componentes de ligação entre o interior e o exterior da edificação, atuando diretamente no controle da luz natural e da carga térmica. O aproveitamento da luz natural é decorrente do sombreamento adequado das aberturas, a partir do emprego de dispositivos de proteção externos. Quando são empregadas soluções inadequadas, é recorrente o uso de cortinas internas, que interrompem o contato com o meio externo, excluindo a função primária da janela de estabelecer integração visual.

O Anexo 29 do IEA (*International Energy Agency*) enumera três principais funções dos sistemas de aberturas quanto à iluminação natural: sombreamento, proteção contra ofuscamento e redirecionamento da luz (RUCK *et al.*, 2000). Quando empregados e acionados adequadamente, promovem a correta admissão e distribuição da luz natural no ambiente, além de reduzir a demanda de iluminação artificial, controlar perdas e ganhos térmicos (MACEDO *et al.*, 2003), e atender às exigências quantitativas e qualitativas dos usuários (O'CONNOR *et al.*, 1997; RUCK *et al.*, 2000). As exigências qualitativas referem-se, por exemplo, ao contato com o meio externo, devido à influência das visuais no bem-estar dos usuários (RUCK *et al.*, 2000).

Dispositivos de proteção externos se tornam parte integrante dos sistemas de aberturas para promover melhor desempenho da edificação (AJMAT, 2007; TZEMPELIKOS *et al.*, 2007) e conforto dos usuários (O'CONNOR *et al.*, 1997; STACK *et al.*, 2000; FOSTER *et al.*, 2001).

O projeto inadequado pode provocar desconforto termoluminoso, ofuscamento excessivo e limitação da vista externa. Dependendo da geometria, reduz significativamente a disponibilidade de luz natural no ambiente, gerando níveis de iluminância abaixo dos limites recomendados pelas normas vigentes (DIDONÉ *et al.*, 2006).

A relação entre o FCV e o PAF é determinante no sombreamento da abertura (CARVALHO, 2014; MORENO, 2015; DIAS, 2016). Para grandes aberturas, recomenda-se reduzir o FCV para evitar falta de uniformidade e ofuscamento; para pequenas aberturas, o aumento da FCV permite entrada de luz difusa e evita insuficiência de luz natural. Quando se tem restrições quanto ao FCV (grande obstrução da abertura), recomenda-se adotar aberturas maiores para que sejam atendidas as exigências de iluminância (MORENO, 2015; DIAS, 2016).

Quando se consideram aberturas voltadas para Leste e Oeste, torna-se complexo obter um sombreamento adequado (O'CONNOR *et al.*, 1997), devido à dinamicidade e exposição ao arco completo da trajetória solar (MEEK *et al.*, 2010). A trajetória dinâmica do Sol sugere o uso de dispositivos móveis para alcançar bons níveis de desempenho (KONSTANTOGLU *et al.*, 2016).

Diversos estudos avaliaram o potencial de desempenho de sistemas de aberturas móveis em comparação a sistemas fixos (MOORE, 1985; LEE *et al.*, 1998; TZEMPELIKOS *et al.*, 2007; MEEK *et al.*, 2010; NIELSEN *et al.*, 2011). A mobilidade possibilita o uso da luz natural ao mesmo tempo em que promove o sombreamento quando há radiação solar direta, aumentando o conforto dos ocupantes no ambiente interno (LEE *et al.*, 1998; KONSTANTOGLU *et al.*, 2016), estabelecendo contato



com o meio externo e a reduzindo do consumo de energia (MEEK *et al.*, 2010).

O impacto da mobilidade torna-se significativamente maior quando se considera grandes áreas de abertura (O'BRIEN *et al.*, 2012). Os sistemas móveis são utilizados principalmente para o controle da radiação direta com baixo ângulo de incidência. São recorrentes sistemas reguláveis ou do tipo abre/fecha, sendo os últimos deslizantes para a porção superior ou lateral da janela.

Diante desse contexto, o problema de pesquisa se constitui em como otimizar o aproveitamento da luz natural em sistemas de aberturas voltados para Leste. São considerados edifícios de escritórios localizados em clima quente e úmido com alta disponibilidade de luz natural.

## OBJETIVOS

O objetivo geral consiste em identificar o potencial de aproveitamento da luz natural de diferentes sistemas de aberturas voltados para Leste em ambientes de escritório.

Deste, desdobram-se dois objetivos específicos:

- Identificar as variáveis de maior influência no desempenho luminoso
- Identificar o impacto de diferentes soluções projetuais de sistemas de aberturas no uso da luz natural.

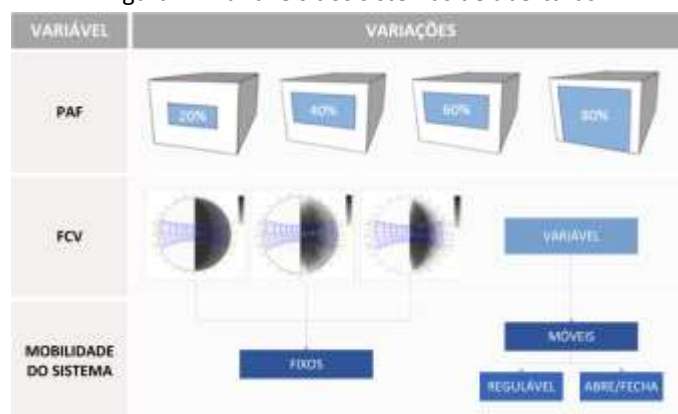
## MÉTODO

A simulação do desempenho luminoso requer a definição de modelos representativos, a modelagem paramétrica e a simulação dinâmica da luz natural por meio da plataforma interoperável que integra o software Rhinoceros com os plug-ins Grasshopper e DIVA.

Foi considerado um ambiente de escritório com dimensões de 4,00m de largura, 7,00m de profundidade e 3,00m de pé direito. Adotou-se uma proporção de maior comprimento para avaliar o efeito do desempenho dos sistemas de aberturas e da interação dos usuários na variação da profundidade de vão iluminado.

Os parâmetros variáveis dos modelos correspondem ao PAF e FCV, podendo este último ser fixo ou variável de acordo com a mobilidade do dispositivo de proteção externo (Figura 1). Foram estabelecidos os valores de PAF de 20%, 40%, 60% e 80%. O FCV dos modelos pode ser fixo (pequeno, médio e grande) ou variável, dependendo da mobilidade do sistema.

Figura 1 - Variáveis dos sistemas de aberturas



As combinações foram geradas por meio da modelagem paramétrica, que altera os parâmetros de um modelo base a partir da definição de um algoritmo, proporcionando redução do tempo do processo e de erros aleatórios.

A simulação de cada modelo gera um arquivo de extensão .ill com os dados horários de iluminância ao longo do ano para cada sensor. O tratamento dos dados consiste na filtragem do horário de 8h-16h para definição da rotina de ocupação e no cálculo das ocorrências de UDI, uma vez que a simulação adota padrões de iluminância útil diferentes dos exigidos por normas brasileiras. Os modelos com proteção externa móvel (regulável ou abre/fecha) são tratados separadamente para cada situação), a partir do arquivo .ill correspondente a cada simulação.

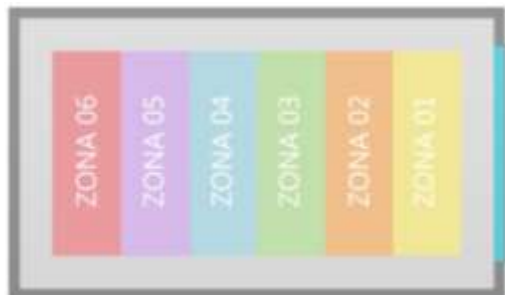
O critério de avaliação adotado corresponde ao UDI de 500 lux a 5000 lux. O limite mínimo é determinado com base no uso do ambiente e o máximo é definido partir da relação de uniformidade de 1/10, conforme especificado pela NBR 5413 (ABNT, 1992).

Os resultados apresentam as ocorrências de UDI para cada zona de profundidade do ambiente, através do cálculo do percentual médio da fileira de sensores. As zonas 01, 02, 03, 04, 05 e 06 possuem distância em



relação à abertura de 1,0m, 2,0m, 3,0m, 4,0m, 5,0m e 6,0m, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 - Zonas de avaliação do desempenho



Os resultados dos modelos são apresentados de forma integrada para cada PAF por meio de gráficos para avaliar comparativamente o desempenho dos sistemas sem sombreamento, fixos (FCV pequeno, médio e grande) e móveis (regulável e abre/fecha). As ocorrências de UDI são representadas por meio de gráficos de curvas que indicam o aproveitamento da luz natural e a profundidade de vão iluminado de cada sistema

## DESENVOLVIMENTO

O desempenho luminoso dos modelos é apresentado nos gráficos da Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6. O aproveitamento da luz natural é influenciado pela relação entre PAF e FCV, e pela mobilidade do dispositivo de proteção externo. Os resultados indicam a tendência de otimização do desempenho luminoso para sistemas com proteção móvel e PAF elevado, e o baixo aproveitamento da luz natural para sistemas fixos com PAF e FCV pequenos.

Os sistemas sem sombreamento apresentam redução do aproveitamento da luz natural nas zonas próximas à abertura com o aumento do PAF, devido ao excesso de radiação direta que ocasiona falta de uniformidade e ofuscamento. Apenas o modelo com PAF de 20% apresenta ocorrência de UDI superior a 80% nas duas primeiras zonas, devido à menor dimensão da abertura. Os demais tamanhos de abertura apresentam ocorrências inferiores a 60% na primeira zona. Nas zonas distantes da abertura, os resultados foram semelhantes aos obtidos com sistemas de proteção móveis, indicando que o uso da luz natural pode estar associado ao layout

do ambiente. As ocorrências de UDI nas zonas posteriores são maiores para os modelos com grandes aberturas (PAF de 60% e 80%), que apresentam ocorrências superiores a 70% a partir da terceira zona.

O desempenho luminoso de modelos com sistemas fixos é influenciado diretamente pela relação entre dimensão da abertura e obstrução gerada pelo dispositivo de proteção. Em geral, o aumento do PAF e FCV eleva a profundidade de vão iluminado no ambiente. O aumento do FCV otimiza o aproveitamento da luz natural em todas as zonas para os PAFs de 20% e 40%, e nas zonas de 2 a 6 para os PAFs de 60% e 80%. Para grandes áreas de abertura, o aumento do FCV resulta em excesso de luz difusa na zona mais próxima à janela, comprometendo o uso da luz natural no ambiente. Dessa forma, a diminuição do FCV consiste em uma estratégia de controle da luz natural para grandes áreas envidraçadas.

Para sistemas com FCV pequeno, o aumento do tamanho da abertura resulta em melhor desempenho luminoso em todo o ambiente. A variação do PAF de 20% para 80% eleva a ocorrência de UDI em até 30% na primeira zona e 60% na última zona. Os casos com FCV médio e grande apresentam maior aproveitamento da luz natural nas zonas 2 a 6 com o aumento do PAF, porém há redução do UDI na zona próxima à janela devido ao excesso de luz difusa.

Os dispositivos móveis possuem melhor desempenho luminoso se comparados aos demais sistemas. A otimização do desempenho se dá em função do máximo aproveitamento da luz natural no período da tarde, potencializando a entrada de luz difusa e a desobstrução da vista externa. A influência da mobilidade do sistema é superior à medida que se reduz o PAF. Para o modelo com PAF de 20%, os sistemas móveis elevam o UDI da primeira zona aproximadamente 40% quando comparados ao modelo fixo com FCV pequeno. Já para o PAF de 80%, essa diferença é de apenas 5%.

O tipo de acionamento (regulável ou abre/fecha) influencia o aproveitamento da luz natural apenas para as zonas mais afastadas da abertura, apresentando



desempenho equivalente nas primeiras zonas devido à otimização da entrada de luz difusa. A diferença de ocorrência entre os dois tipos de acionamento é mais significativa para o PAF de 40%, com variação do UDI de 35% na zona mais afastada da janela. Para os sistemas com PAF de 60% e 80%, essa diferença é inferior a 10%.

Figura 3 - UDI (%) para PAF de 20%.

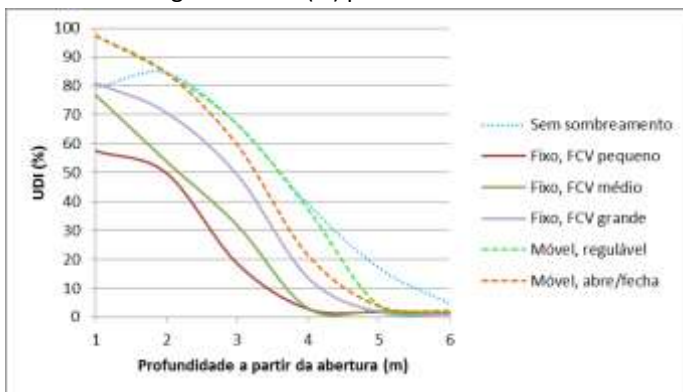


Figura 4 – UDI (%) para PAF de 40%.

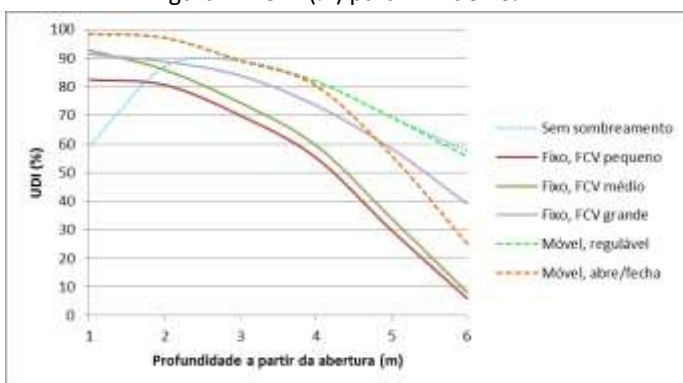


Figura 5 - UDI (%) para PAF de 60%.

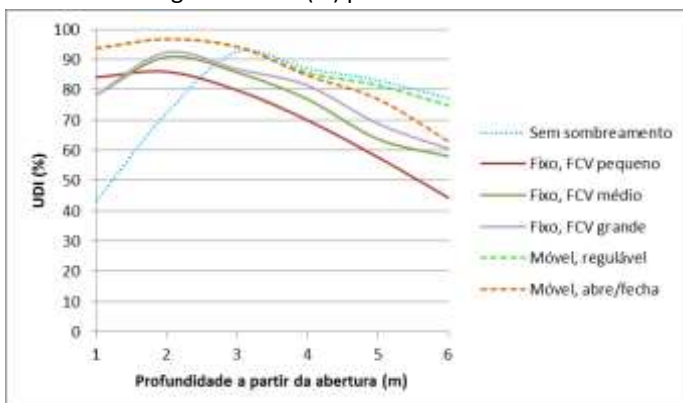
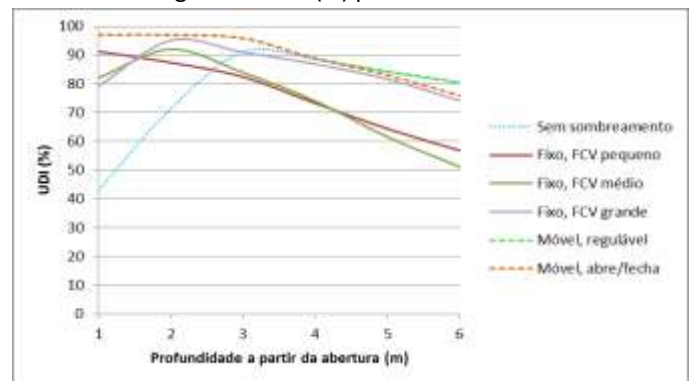


Figura 6 – UDI (%) para PAF de 80%.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa indicam a possibilidade de otimização do desempenho luminoso em ambientes com aberturas voltadas para Leste, a partir da relação da geometria do sistema de abertura e da interação dos usuários. A contribuição do trabalho consiste em identificar as melhores combinações para propor recomendações projetuais simplificadas.

As variáveis PAF e FCV foram indicadas como fatores de maior influência para o aproveitamento da luz natural em sistemas fixos. Os modelos com FCV grande apresentaram melhores desempenhos enquanto que os casos com FCV pequeno apresentaram menor disponibilidade de luz natural e profundidade de vão iluminado. Para grandes áreas de aberturas observou-se que a redução do FCV pode otimizar o desempenho, evitando o excesso de luz difusa na zona mais próxima à janela. Portanto, há a necessidade de balancear ambas as variáveis para garantir um desempenho satisfatório.

Os casos sem proteção solar externa possuem os piores resultados nas zonas próximas à janela devido à entrada de radiação direta, porém elevam a profundidade de vão iluminado por apresentarem menor controle à luz natural. Quando a abertura é 100% sombreada, há maior aproveitamento da luz natural e uma tendência de se obter melhores níveis de desempenho e uniformidade de distribuição.

Os resultados demonstram o impacto da mobilidade do sistema, a partir do acionamento por parte de usuários ativos, na otimização do uso da luz natural. A diferença de desempenho em relação aos sistemas fixos se dá em função do aproveitamento da luz natural no período da





tarde, potencializando a entrada de luz e desobstrução da vista externa quando não há incidência de radiação direta.

O método adotado na pesquisa possibilitou otimizar o tempo e diminuir chances de erros por meio da modelagem paramétrica no plug-in Grasshopper, sendo possível testar inúmeras combinações a partir do mesmo algoritmo. Entretanto, a ferramenta ainda apresenta limitações quanto aos dados de saída, sendo necessário utilizar planilhas eletrônicas para o tratamento dos dados gerados. Por exemplo, o programa não gera saídas gráficas para o intervalo de UDI determinado (500-5000lux), assim como não permite a modelagem da interação do usuário com sistemas móveis. Espera-se como resultado final a difusão de diretrizes e recomendações simplificadas quanto ao projeto de sistemas de aberturas voltados para Leste que otimizem o aproveitamento da luz natural no ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJMAT, Raúl Fernando. **Precision daylight and thermal modelling of shading devices**. 2007. 215 (Doctor of Philosophy). Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, Leicester.

CARVALHO, Juliana Portela Vilar de. **Simulação do desempenho luminoso para salas de aula em Natal-RN**. 2014. (Mestrado). Departamento de arquitetura e urbanismo Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

DIAS, Alice Rück Drummond. **Análise do impacto do sombreamento vegetal no conforto termo-luminoso em edificações no clima quente e úmido**. 2016. 280 (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

DIDONÉ, Evelise Leite; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula**. XI

Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis/SC: 294-303 p. 2006.

FOSTER, M.; ORESZCZYN, T. Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds. **Building and Environment**, v. 36, p. 149-155, 2001.

KONSTANTOGLU, Maria; ARISTSANGRASSOULIS. Dynamic operation of daylighting and shading systems: a literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 268–283, 2016.

LEE, E.S.; DIBARTOLOMEO, D.L.; SELKOWITZ, S.E. Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office. **Energy and Buildings**, v. 29, p. 47-63, 1998.

MACEDO, Catharina C. de; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Thermal and luminous performance of direct sunlighting systems. PLEA 2003 - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2003, Santiago – CHILE.

MEEK, Christopher; BRESHEARS, John. Dynamic solar shading and glare control for human comfort and energy efficiency at UCSD: integrated design and simulation strategies. SOLAR 2010 Conference Proceedings, 2010. p.1-8.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: VNR comp., 1985.

MORENO, Vany Patrick Cortez. **Estratégias para obtenção de adequada iluminação natural em escolas: uma análise de sistemas de aberturas para Natal/RN**. 2015. (Mestrado). Departamento de Pós-graduação em arquitetura e urbanismo, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal.

NIELSEN, Martin Vraa; SVENDSEN, Svend; JENSEN, Lotte Bjerregaard. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. **Solar Energy**, v. 85, p. 757–768, 2011.

O'BRIEN, William. Occupant-proof buildings: can we design buildings that are robust against occupant behavior? , 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013, Chambéry, France. p.p. 26-28.

O'BRIEN, William; KAPSIS, Konstantinos; ATHENITIS, Andreas K. Manually-operated window shade patterns in office buildings: a critical review. **Building and Environment**, v. 60, p. 319-338, 2012.

O'CONNOR, Jennifer; LEE, Eleanor ; RUBINSTEIN, Francis ; SELKOWITZ, Stephen. **Tips for daylighting with windows - The**



Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | PPGAU/UFRN

**integrated approach.** Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, p.107. 1997

RUCK, Nancy; AL., et. **Daylitgh in Buildings: ECBSC Annex 29.** 19/02/13. 2000

STACK, Austin; GOULDING, John; LEWIS, J. Owen. **Shading systems: solar shading for the European climates.** Irlanda. 2000

TZEMPELIKOS, Athanassios; ATHIENITIS, Andreas K. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. **Solar Energy**, v. 81, p. 369–382, 2007.



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente | PPMPAPM/UFRN