2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

# AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE LUZ NATURAL NO AMBIENTE DE SALA DE AULA[1]

**OLIVEIRA, Alice (1); ROLA, Sylvia (2)**

**(1)** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – FAU/UFRJ, alice.oliveira@fau.ufrj.br

**(2)** Programa de Pós-graduação em Arquitetura, da faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – PROARQ/FAU/UFRJ, sylviarola@fau.ufrj.br

## RESUMO

*A demanda energética atual e a preocupação em diminuir o crescente consumo energético, têm servido de mote para o estudo da eficiência energética em edifícios educacionais, projetados para abrigar uma forma de ensino que vem passando por transformações significativas, incrementando e sobrecarregando instalações elétricas obsoletas. A iluminação natural mostra-se como uma alternativa, pois além de trazer economia para a edificação, bem-estar dos usuários e benefícios à saúde, por corroborar com o ciclo circadiano, também apresenta-se como referência de qualidade para o índice de reprodução de cores. O presente trabalho é fruto da pesquisa de iniciação científica que se encontra como estágio "em formação", e tem como objetivo avaliar a iluminação natural de uma sala de projeto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, localizada em um premiado edifício modernista da década de 50, buscando melhor aproveitar esse recurso. Para tal, foram utilizados softwares de simulação, de forma comparativa, medindo fatores ligados à iluminância. Além disso, analisou-se a eficiência de prateleiras de luz como instrumento de melhoria da qualidade de luz natural no ambiente.*

***Palavras-chave:*** *Luz natural. Softwares de simulação. Sala de aula. Consumo responsável.*

## ABSTRACT

*The current energy demand and the concern to reduce the growing energy consumption, have served as a motto for the study of energy efficiency in educational buildings, designed to house a form of teaching that has undergone significant transformations, increasing and overloading obsolete electrical installations. Natural lighting proves to be an alternative, because besides bringing savings to the building, the well-being of users and health benefits, as it corroborates with the circadian cycle, it also presents itself as a quality reference for the reproduction index of Colors. This work is the result of scientific initiation research, which is being held as an "in-training" internship, and aims to evaluate the natural lighting of a project room at the Faculty of Architecture and Urbanism of the Federal University of Rio de Janeiro, located in an award-winning modernist building from the 50s, seeking to make better use of this resource. For this, simulation software was used, comparatively, measuring factors related to illuminance. Also, the efficiency of light shelves as an instrument for improving the quality of natural light in the environment was analyzed.*

[1] OLIVEIRA, Alice; ROLA, Sylvia. Avaliação Comparativa de Luz Natural no Ambiente de Sala de Aula In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

***Keywords:*** *Natural light. Simulation software. Classroom. Responsible consumption.*

## 1 INTRODUÇÃO

Aliado à crescente preocupação atual com a sustentabilidade, o tema eficiência energética tem sido recorrente nos últimos anos nas falas de arquitetos e urbanistas. Segundo Serra (1999), as possibilidades e conquistas trazidas pela luz elétrica, nos levaram a confiar ingenuamente nesse tipo de iluminação como única opção, durante todas as horas do dia, em edifícios com fachadas de vidro. Assim, percebe-se uma reprodução de projetos aos moldes do que há no exterior: obras envidraçadas com uma ampla vista para a paisagem. Além disso, há outras questões que justificam as preocupações atuais em relação a esse tipo de estilo de construção, sendo não somente quanto à saúde e conforto das pessoas, mas também relacionados com as questões ambientais e gastos excessivos de energia elétrica, como os chamados "edifícios estufa" (LAMBERTS, et al., 2014).

Uma das maneiras de se lidar com essas preocupações é incentivando o uso responsável de energia elétrica nas edificações. Em relação à iluminação, Vianna (2001) fala que uma arquitetura que utilize a luz natural de forma consciente pode minimizar o custo com iluminação artificial e consequentemente o consumo energético. Assim, segundo o autor, as vantagens de se projetar corretamente em relação ao clima estão relacionadas ao aspecto econômico.

Além das questões citadas, é importante ressaltar a relação da iluminação natural com a saúde. Apesar da dificuldade de seu controle, há uma grande vantagem em relação à iluminação artificial pela sua influência positiva no ciclo circadiano do organismo humano (BOYCE 2003, apud FERNANDES, 2016).

Ao referenciar os edifícios educacionais, os aspectos físicos do ambiente não são comumente citados em discussões pedagógicas, porém, de acordo com Kowaltowski (2011) ao menos 20% da população passa grande parte do dia em prédios escolares, sendo pertinente indagar a respeito dos impactos de elementos arquitetônicos sobre os níveis de aprendizagem de alunos e produtividade de professores. Conforme a NBR 8995-1 (ABNT, 2013), Iluminação de Ambientes de Trabalho, os níveis ideais de iluminância dependem do tipo de atividade desempenhada na sala de aula. Portanto é crucial que o arquiteto dê especial atenção em seu projeto para essa variável, por ser de grande relevância para a qualidade das aulas e conforto dos usuários, com o intuito de trazer condições ideais para as atividades a serem exercidas.

Desse modo, a presente pesquisa estuda soluções para essas questões, com o objetivo de avaliar a qualidade da incidência de iluminação natural em um ambiente de sala de aula, no edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e estudar a possibilidade de uma alternativa para um maior aproveitamento da luz natural no ambiente, simulando a utilização de uma prateleira de luz e analisando seu desempenho na fachada simulada.

## 2 MÉTODO

Para avaliação das condições de iluminação natural, utilizou-se os programas RadLite, NatLite e Troplux, realizando-se tal análise em três etapas: (i) Obtenção dos valores de fator de luz do dia (daylight factor), com os softwares RadLite e NatLite, autonomia de luz natural (daylight autonomy) e iluminância útil de luz

natural (useful daylight illuminance), ambos com o Troplux, em cada ponto da sala, determinados através de uma malha realizada anteriormente; (ii) Comparação dos fatores estudados através de diagramas de cores; e, (iii) Avaliação do desempenho da prateleira de luz para estudo de viabilidade desse artifício, nesta fachada, como uma forma de se melhorar as condições de iluminação interna. É importante ressaltar que, devido a limitações dos softwares RadLite e NatLite em relação ao desenvolvimento de uma geometria de projeto mais elaborada, foi considerada somente a área interna da sala, desconsiderando elementos externos como a varanda e as proteções solares localizadas nela.

Dessa forma, foi utilizada uma sala de aula de projeto arquitetônico, onde a boa qualidade de iluminação é de extrema importância. Assim foi realizado um levantamento do local que possui 9x7 metros e pé direito de 4 metros, com orientação Sudeste e azimute de 146° em relação à normal da fachada. Em relação às suas aberturas, possui janela em fita com 3,80 metros de altura e vidro comum. Foi adotado o valor de refletância de 0,70 para a tinta branca que cobre o teto, as paredes laterais e da janela. Porém, a parede dos fundos (entrada da sala) possui armários embutidos de madeira escura onde foi adotado o valor de refletância em 0,20, valor também adotado para o piso que possui uma madeira de cor similar à dos armários.

## 2.1 Avaliação de luz natural através do fator de luz do dia

Preocupando-se com o aproveitamento da luz natural em áreas internas e a necessidade de medir sua qualidade, foi criado o fator de luz do dia (FLD), que compara a iluminância que chega externamente com a interna ao ambiente. A fórmula do fator é mostrada abaixo, onde Ei representa a iluminância interna e Eo a iluminância externa. O resultado da equação é expresso em porcentagem:

$$FLD = \frac{Ei}{Eo} * 100$$

O fator de luz do dia foi muito utilizado na década de 70 por diversos pesquisadores da área de iluminação natural. Os softwares aplicados para tal análise foram o NatLite e RadLite, ambos resultado da pesquisa de Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, e utilizados de forma conjunta, trazendo a possibilidade de medir-se a iluminância internamente e externamente à sala. A razão da utilização desses programas na pesquisa foi sua interface já conhecida, por sua utilização na disciplina de Conforto Ambiental na Universidade.

É importante destacar que este fator tem como limitação sua medição apenas em dias de céu encoberto. Para a realização das simulações foi utilizado o Método de Doginaux de clima tropical urbano.

## 2.2 Avaliação de luz natural através da autonomia de luz natural

Com o intuito de utilizar um método mais expressivo e menos limitante para o ambiente analisado, utilizou-se a autonomia de luz natural (ALN) como um complemento às informações adquiridas. Visto que é possível utilizar todos os tipos de céu da CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) em suas análises.

Esse fator apresenta o percentual do ano em que a área analisada atinge, somente com a luz natural, um requisito mínimo de iluminância pré-definido em

estudo. Assim, foi definido o nível mínimo de iluminância para a medição da autonomia de luz natural como 500 lux, limite definido por Reinhart (2002) em seu trabalho, que, junto com Walkenhorst, aperfeiçoou o fator em seus estudos em 2001. Além disso, tal nível também é definido como o valor mínimo necessário para uma sala de artes e artesanato para a NBR ISO/CIE 8995-1. As medições para a ALN foram realizadas no programa Troplux, programa que vem sendo desenvolvido pelo professor Ricardo Cabús desde 2006. Utilizou-se a versão 8 do software, adquirida no XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, durante o workshop *Simulação da Luz Natural: Introdução ao Troplux*.

## 2.3 Avaliação de luz natural através da iluminância útil de luz natural

Como último método analisado neste artigo para avaliação de valores de iluminação natural na presente sala de aula, tem-se o fator de iluminância útil de luz natural (IULN). Diferente dos anteriores, esse método permite avaliar não somente a iluminância que atinge um determinado nível estabelecido para a boa prática das atividades, mas também valores abaixo e muito acima dessa faixa, sendo útil para uma análise qualitativa mais detalhada da iluminação no ambiente. Assim, a IULN apresenta uma faixa de valores mínimos e máximos, onde as iluminâncias que se encontram entre esses limites é a chamada por Nabil e Mardaljevic (2006) de iluminâncias úteis, sendo esses os valores contabilizados na tabela 1. Tal método também foi analisado no software Troplux, versão 8, e para essa avaliação, foram determinadas as seguintes faixas:

- Valores menores que 100 lux - São considerados insuficientes como única fonte de luz e não relevantes como contribuição para a iluminação artificial;
- Valores entre 100 lux e 500 lux - Mesmo não sendo ideais para a sala de aula em questão segundo a ABNT, são considerados no cálculo da iluminância útil do ambiente, sendo fonte principal de luz ou contribuindo com a luz artificial;
- Valores entre 500 lux e 2000 lux – Faixa em que encontram-se iluminâncias ideais para as atividades na sala e/ou valores antes da sensação de desconforto, sendo também contabilizados no cálculo da iluminância útil;
- Valores acima de 2000 lux - Considerados excessivos tendo a possibilidade de trazer desconforto visual.

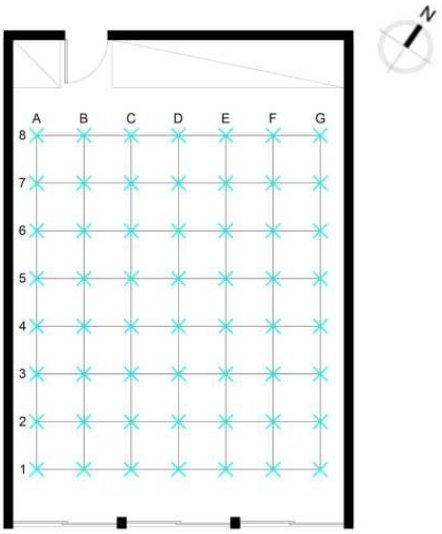
## 2.4 Análise da prateleira de luz para a fachada da sala analisada

A prateleira de luz (light shelf) é um dispositivo arquitetônico utilizado para obter uma melhor distribuição da luz natural no ambiente, levando a luz para o teto e trazendo para a área de trabalho uma iluminação difusa. Para o seu melhor funcionamento é ideal sua utilização em fachadas Norte e Sul, pelo ângulo de inclinação dos raios solares que tais orientações proporcionam. Assim, foram feitos testes no software RadLite, a fim de comparar os resultados com e sem esse dispositivo.

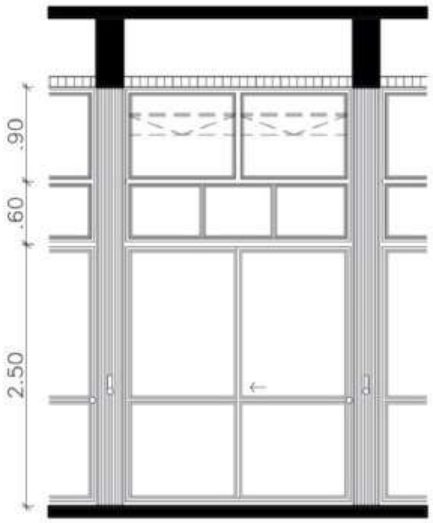
# 3 RESULTADOS

Apresenta-se aqui a malha criada da área da sala de aula para realização das simulações. Tal malha foi elaborada após alguns testes que levaram ao resultado obtido na figura 1: linhas e colunas que distam 1 (um) metro entre si e entre as janelas. Os pontos, juntos, formam a área de trabalho da sala, definida de acordo com o anexo A da NBR 8995-1.

Figuras 1 e 2 – Malha desenvolvida para avaliação dos fatores mencionados e vista da porta de vidro e janelas por onde chega a luz natural, respectivamente.




Fonte: Os autores

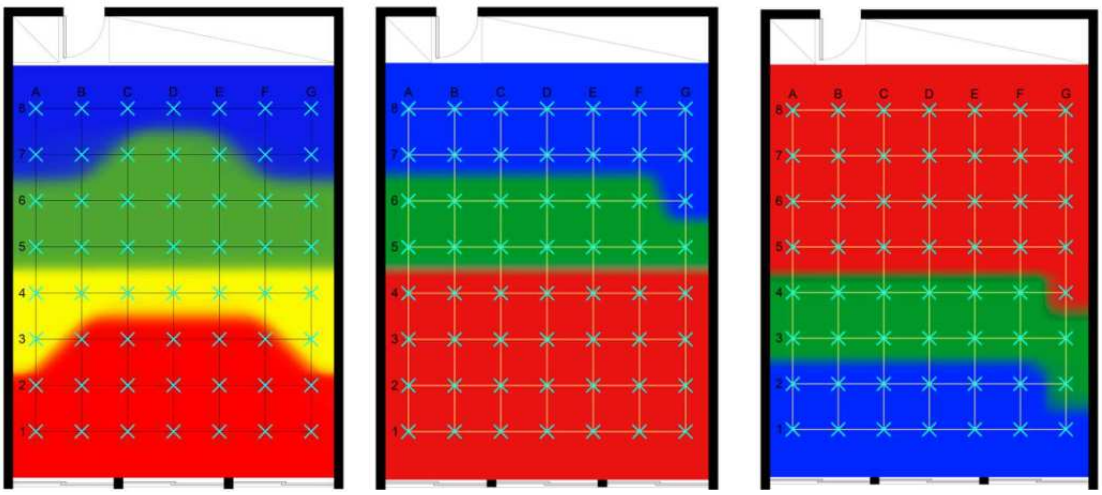



Fonte: Acervo pessoal de Thiago Torres

## 3.1 Avaliação da luz natural

Com os resultados dos 3 (três) métodos analisados, pôde-se desenvolver os diagramas abaixo. A tabela 1 apresenta correspondência entre cores e resultados obtidos.

Figuras 3, 4 e 5 – Diagramas com resultados obtidos através do fator de luz do dia, autonomia de luz natural e iluminância útil de luz natural, respectivamente.



| Fator de luz do dia<br>Análise realizada pelo NatLite e RadLite | Autonomia de Luz Natural<br>Análise realizada pelo Troplux | Iluminância Útil de Luz Natural<br>Análise realizada pelo Troplux |
|---|---|---|

Fonte: Os autores

Tabela 1– Legendas e parâmetros para os diagramas de iluminância

| Cores | Fator de luz do dia | Autonomia de luz natural | Iluminância útil de luz natural |
|---|---|---|---|
| | Ótimo (FLD ≥ 4%) | Preferível (ALN ≥ 75%) | Preferível (IULN ≥ 75%) |
| | Bom (2% < FLD < 4%) | - | - |
| | Neutro(1% < FLD < 2%) | Neutro(55% ≤ ALN < 75%) | Neutro(55% ≤ IULN < 75%) |
| | Insuficiente (FLD < 1%) | Insuficiente (ALN < 55%) | Insatisfatório (IULN < 55%) |

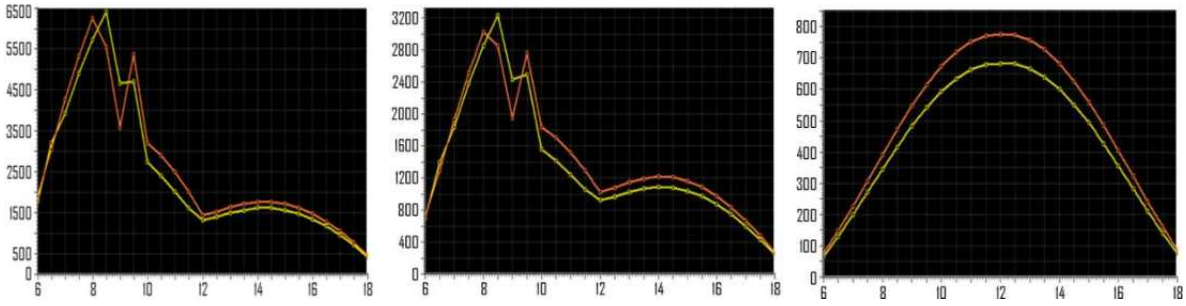
Fonte: Os autores

Devido à relação entre a iluminância externa e interna ao ambiente na equação realizada, o dia e a hora na medição do fator de luz do dia não influenciam no resultado obtido. Já no processamento de dados dos diagramas de ALN e IULN foi considerado todos os dias do ano, entre os horários 6hrs e 18hrs (horário legal). O tipo de céu utilizado foi o céu com distribuição dinâmica de luminâncias (DDL), tal recurso oferecido no Troplux escolhe um dos tipos de céu CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), de acordo com sua probabilidade, no dia e na hora calculados. A margem de erro utilizada foi de 5%.

## 3.2 Prateleira de luz

Para aferição do dispositivo, utilizou-se o ponto D5 com altura da prateleira a 2,20m do piso, larguras nas partes externa e interna dessa de 50cm, espessura de 5cm e refletâncias de 50% em ambas as abas. Abaixo apresentam-se os gráficos obtidos pelo programa RadLite.

Figuras 6, 7 e 8 – Gráficos da iluminação no ponto D5 em dias de céu claro, céu médio e céu encoberto, respectivamente.




Legenda: O eixo Y dos gráficos apresenta valores de iluminância em Lux, enquanto o eixo X as horas do dia de 6hrs às 18hrs.

Fonte: O autores

Os gráficos referem-se ao estudo da possibilidade de uso da prateleira de luz na fachada analisada, apresentando valores de iluminância no ponto D5 ao longo do dia. A linha laranja apresenta tais valores com a utilização do dispositivo, enquanto a amarela apresenta valores sem o uso desse.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do fator de luz do dia demonstram que os eixos equidistantes em relação ao eixo central (eixo D) possuem o mesmo valor de iluminância, que

diminui conforme as colunas se afastam desse eixo. Outra observação relevante foi a influência do valor de refletância na iluminação, notada durante os testes, quando se modificou a refletância na parede do fundo da sala, considerando-a com o mesmo valor das demais (0,70). Como resultado, obtiveram-se níveis mais altos de iluminância, havendo em alguns pontos mudança no parâmetro adotado de "insuficiente" para "neutro", sendo essas alterações mais perceptíveis nas linhas mais próximas dessa parede (linhas 7 e 8).

Os resultados da autonomia de luz natural se assemelham aos do fator de luz do dia, com valores de iluminância considerados "insuficientes" no fundo da sala, seguido por valores "neutros" e uma área, mais próxima à janela, em que a iluminação é considerada "preferível", atingindo o nível estipulado de iluminância de 500 lux, valor mínimo para uma sala de arte e artesanato segundo a NBR ISO/CIE 8995-1. Portanto, esse método mostra que metade da sala, a mais próxima das janelas, apresenta valores "preferíveis", enquanto a outra metade, a mais próxima dos fundos, apresenta valores "neutros" e "insuficientes".

Entretanto, a iluminância útil de luz natural apresenta um diagrama oposto aos analisados até então. Por considerar excessivos e indesejáveis valores acima do limite de 2000 lux, os pontos mais próximos às janelas apresentaram resultados "insatisfatórios" no diagrama. Surpreendentemente, a área dos fundos, que sempre apresentou valores "insuficientes" para iluminação no FLD e na ALN, demonstra critério "preferível" na IULN. Isso se explica pela iluminância útil contabilizar não somente valores acima de 500 lux (que estejam abaixo dos 2000 lux), mas também a faixa entre 100 e 500 lux, a qual apresentou maior porcentagem na linha 8, por exemplo. Isso mostra que, apesar de haver a possibilidade do fundo da sala não apresentar uma iluminância ideal para as atividades de uma sala de aula de arquitetura durante a maior parte do ano, essa área possui uma iluminação relevante, podendo ser complementada com a luz artificial, caso não seja suficiente como única fonte de luz. Tais dados também revelam que a iluminação natural próxima à janela é excessiva, podendo trazer desconforto visual aos usuários.

Acerca das análises da prateleira de luz, os gráficos demonstram que seu uso na fachada Sudeste não é vantajoso. Visto que os melhores resultados foram obtidos somente em dias de céu encoberto, onde a iluminação e consequentemente a angulação dos feixes luminosos ocorre de forma mais uniforme por sua fonte de luz, nessa condição de céu, ser a abóbada celeste e não o Sol de forma direta.

## 5 CONCLUSÃO

Através dos diagramas analisados, pode-se notar que a sala apresenta grande luminosidade, apresentando até mesmo pontos com excesso de luz natural. Assim, segundo a iluminância útil de luz natural, os pontos mais críticos em relação ao excesso de luz, ao longo do ano, são as duas primeiras linhas mais próximas às janelas (linhas 1 e 2).

Apesar da área ao fundo da sala apresentar valores ditos "insuficientes" nos diagramas da autonomia de luz natural e fator de luz do dia, percebe-se que o local possui iluminação suficiente para ser considerado "preferível" na iluminância útil de luz natural, que considera também valores abaixo do ideal para a sala. Por isso, a área mais próxima à parede dos fundos do ambiente pode apresentar dificuldades no desempenho de atividades em aula, podendo haver necessidade de complemento com iluminação artificial durante o dia.

Constata-se também que o local que apresenta uma maior qualidade em relação à iluminação natural, é a área intermediária da sala, onde a faixa localizada entre as linhas 3 e 6 apresentam resultados que, ao menos uma vez, estiveram com valores "preferíveis" entre os diagramas, e não apresentando em nenhum momento valores "insuficientes" ou "insatisfatórios".

Observando os resultados mencionados, buscou-se trazer uma alternativa para um melhor aproveitamento da luz natural na sala de aula, através de uma maior distribuição dessa iluminação. Dessa forma, simulou-se a prateleira de luz nessa fachada, visto que grande parte das bibliografias analisadas fazia menção a esse recurso somente para fachadas norte e sul, por serem as indicadas para tal. Contudo, concluiu-se que a prateleira de luz na fachada estudada, fachada sudeste, não apresenta resultados significativos que justificassem sua instalação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Leopoldo Eurico Bastos que tanto contribuiu para a pesquisa, ao mestrando Thiago Torres por contribuir com seu acervo pessoal e à instituição FAPERJ pela bolsa concedida.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 8995-1: 2013, **Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. **The Benefits of Daylight through Windows.** U.S. Department of Energy, Lighting Research Center, New York, 2003. *apud* FERNANDES, J. T. **Qualidade da Iluminação Natural e o Projeto Arquitetônico: a relação da satisfação do usuário quanto à vista exterior da janela e a percepção de ofuscamento**. 2016. 344p. Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, 2016.

CASTRO, E. B. P. **NatLite**. 2005.

CASTRO, E. B. P. **RadLite**. Versão 2009. 1996.

Grupo de Pesquisa em Iluminação da Universidade Federal de Alagoas. **TROPLUX**. Versão 8. 2019. Disponível em: <https://ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/?page_id=61&gt>. Acesso em: 30 ago. 2020.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3 ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

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

REINHART, C. **Effects of interior design on the daylight availability in open pan offices.** National Research Council of Canada, Internal Report NRCC – 45374. Ottawa: NRC, 2002.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. **Validation of Dynamic RADIANCE-Based Daylight Simulations for a Test Office with External Blinds.** Energy and Buildings, Lausanne, v. 33, n. 7, p. 683-697, Sept. 2001.

SERRA, R.; **Arquitectura y climas**. Barcelona: GG Básicos, 1999.

VIANNA, N.S.; Gonçalves, J.C.S. **Iluminação e Arquitetura.** Virtus s/c Ltda. São Paulo, SP, 2001.