

DESEMPENHO LUMÍNICO: AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS DO AMBIENTE INTERNO DE UMA SALA DE AULA

Cristina Biazus Danieleski (1); Maria Fernanda de Oliveira (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, crisdanieleski@gmail.com

(2) Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Unisinos, e pesquisadora do it Performance, mariaon@unisinos.br, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Mestrado Profissional em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo-RS, 93022-750, Tel.: (51) 3591 1160

RESUMO

A luz natural é um dos fatores de qualidade do ambiente interno. Em locais de ensino, quando utilizada de maneira correta favorece o rendimento dos alunos. Este estudo tem como objetivo a avaliação da iluminação natural de um ambiente de aula, utilizando como variáveis as refletâncias das superfícies internas obtidas através de medição *in loco*. O objeto de estudo é uma sala padrão da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Levantamentos em campo foram realizados afim de desenvolver um modelo tridimensional base para o posterior desenvolvimento de modelos para análise através de simulações com o *software* ReluxPro. Em campo, foram coletados dados como dimensões internas do ambiente e posicionamento de aberturas, elementos externos que influenciam na distribuição da luz natural, além dos valores correspondentes à refletância das superfícies internas. Como referência, também foram coletados os valores de iluminância do local. Ajustado o *software* com os dados obtidos, foram gerados resultados da iluminação natural de modelos com variações internas. A data utilizada para a geração de dados foi próxima ao equinócio de primavera do hemisfério sul, no horário das 12 horas, com céu limpo, em condições semelhantes às de realização dos dados coletados em campo. Utilizou-se a NBR ISO/CIE 8995:1 para análise dos modelos simulados, que foram avaliados nos aspectos quantitativos e qualitativos. Os modelos atenderam parcialmente a norma, pois alcançaram o nível de iluminância média no plano de trabalho, porém, não atenderam ao requisito de uniformidade. Através das análises comparativas, conclui-se que as diferentes orientações solares tiveram pouca influência nos valores obtidos e que a alteração de refletância das superfícies incrementou os níveis de iluminância.

Palavras-chave: Iluminação natural. Desempenho lumínico. Sala de aula. Simulação computacional.

ABSTRACT

Daylighting is one of the quality factors of the internal environment. In education places, when the daylighting is used correctly, it can promote better student performance. This study aims the evaluation of the daylighting in a classroom environment, using as variables the internal surfaces reflectance obtained through in situ measurement. The study object is a model room at Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Field surveys were conducted in order to develop a three-dimensional model for further development of models for analysis through simulations with the software ReluxPro. Were collected data as internal dimensions of the environment and positioning of openings, external elements that influence the distribution of daylighting, besides were collected values corresponding to the reflectance of the internal surfaces. As a reference, also were collected the illuminance values of the room. The software was regulated with the obtained data and results of the natural illumination of the models with internal variations were generated. The date used for the data generation was close to the southern hemisphere spring equinox, at 12pm, with clear sky, in similar conditions when the data was collected in the field. NBR ISO/CIE 8995:1 was used to analyze the simulated models that were evaluated in quantitative and qualitative aspects. The models partially comply the norm, because they reached the average illuminance level in the work plane, but did not comply the uniformity requirement. Through the comparative analysis, it was concluded that the different solar orientations had little influence on the values obtained and that the alteration of reflectance of the surfaces increased the levels of illuminance.

Keywords: Daylighting; Luminous performance; Classroom; Computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural é um dos fatores de qualidade do ambiente interno. Quando corretamente captada e distribuída, a luz do dia pode proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento de atividades visuais, além de contribuir com a eficiência energética das edificações e gerar benefícios aos seres humanos. (SANTOS, 2014). Egan e Olgyay (2002) afirmam que uma das vantagens da utilização da luz do dia em edifícios é a relação entre as condições externas e as atividades metabólicas internas dos seres humanos, ideia também sustentada por Lechner (2009, p. 386), ao assegurar que a luz natural “satisfaz a necessidade biológica para responder aos ritmos naturais do dia.” A iluminação natural em locais internos também permite a orientação das pessoas através da identificação da hora do dia e das condições meteorológicas do tempo. A falta deste tipo de informação em ambientes internos pode ocasionar a percepção de locais artificiais e sufocantes. (LIMA, 2010)

Embora a iluminação natural seja importante para a qualidade do ambiente interno, deve-se atentar para alguns detalhes. A luz originária diretamente do sol pode causar ofuscamento e aumento da carga térmica do ambiente. O ofuscamento, o contraste, a luminosidade do ambiente, as cores e texturas das superfícies internas e a iluminação artificial, são fatores que devem ser considerados afim da qualificação do conforto e da eficiência visual. (KEELER e BURKE, 2010).

Costa (2000) afirma que o contraste se dá pela relação entre os valores de luminosidade do objeto e do fundo e ofuscamento é uma sensação de claridade ou brilho que pode ser direto, quando causado pela fonte luminosa, ou refletido, quando causado pelo fundo da tarefa. Esta ideia converge com Vianna e Gonçalves (2001), que indicam que o ofuscamento se trata de uma sensação e que ocorre quando há contrastes excessivos de luminância. Quando há diferentes superfícies internas no campo de visão, a razão de 3:1 tende a ser considerada como uma luminosidade equivalente, requisito recomendado para salas de aula. (KEELER e BURKE, 2010).

A percepção é uma função psíquica que permite a elaboração de informações sobre o entorno através dos sentidos. Não há regras gerais que indiquem o processo de percepção, mas entende-se que ocorre através da interação de diferentes estímulos sensoriais. (LIMA, 2010). Vianna e Gonçalves (2001, p. 92), afirmam que “a capacidade de percepção de cores é uma característica de seletividade do olho – é a sensação causada pelos distintos comprimentos de onda”. Estes comprimentos classificam o espectro eletromagnético em faixas, que variam entre 100 nm (nanômetro) e 1 mm (micrômetro). Estas faixas dividem-se em: raios violetas (abaixo de 380 nm); raios visíveis (entre 380 e 780 nm); e raios infravermelhos (acima de 780 nm).

Dentro do intervalo de radiação visível há uma subdivisão: os tons de violeta localizam-se entre os comprimentos de onda de 380 à 435 nm; azul entre 436 e 495 nm; verde entre 496 e 565 nm; amarela 566 e 589; laranja entre 590 e 627; vermelho entre 628 e 780. Estes limites não são rígidos e podem variar segundo características individuais. (COSTA, 2000; PEREIRA *et al.*, 2015). As superfícies refletem energia eletromagnética para cada faixa de comprimento de onda. A reflexão de superfícies pode ser medida através da técnica de espectrorradiometria, na qual seus dados são demonstrados através de gráficos que representam a curva de refletância espectral. Como regra geral, cores mais claras refletem mais a luz, enquanto cores escuras têm maior poder de absorvância. (MENESES apud DURÁN; PRADO; FILHO, 2013).

Em relação à iluminação, a percepção de um ambiente confortável pode ser obtido quando há a possibilidade de realização de tarefas de maneira adequada e sem esforço visual. (LIMA, 2010). Neste sentido, estudos comparam a percepção de usuários com níveis de iluminação obtidos em campo. Sardeiro (2012) avaliou o desempenho luminoso de salas de aula para a cidade de Maringá (PR) através de comparação entre valores obtidos através de medições da iluminação natural e de questionários aplicados aos usuários. Aproximadamente 60% dos usuários percebiam a iluminação natural como “boa”, embora os valores obtidos *in loco* fossem muito abaixo do recomendado. Com base nos dados obtidos no estudo, o autor observou a falta de percepção dos usuários em relação à luz natural e atribuiu este fato à facilidade de utilização da luz artificial nas salas de aula avaliadas.

Em estudo semelhante também na cidade de Maringá (PR), Santos, Vanderlei e Gonçalves (2013), observaram a necessidade de utilização do sistema de iluminação artificial complementar à natural, tanto através dos níveis de iluminação obtidos em campo, como através da percepção dos usuários. No estudo, 73% dos entrevistados avaliaram como insuficiente o sistema de iluminação natural, apresentando coerência com os valores obtidos *in loco*.

Na cidade de Vitória (ES), em estudo realizado por Ventorim *et al* (2014), observou-se que a percepção dos usuários era correta quando comparada aos resultados obtidos *in loco*. Constatou-se que as mesas localizadas próximas às aberturas apresentavam melhores níveis de iluminação, porém, a maior parte dos entrevistados alegou que apenas o sistema de iluminação natural não era suficiente para garantir níveis adequados de iluminação e de sensação de conforto visual.

Ferverça e Bartholomei (2013), avaliaram salas de aula de duas escolas em Presidente Prudente (SP), através de medições *in loco*, e aplicação de questionários e observação dos usuários. Constatou-se que, apenas com o uso do sistema de iluminação natural, as salas avaliadas não apresentavam níveis mínimos satisfatórios. Neste caso, a percepção dos usuários foi parcialmente coerente com os valores obtidos em campo. Ponderou-se que fatores como a configuração espacial das salas e elementos de controle de iluminação natural podem ter interferido nos resultados obtidos através dos questionários.

As superfícies internas são variáveis que podem influenciar na percepção dos ambientes. De acordo com as características dos revestimentos utilizados, as superfícies podem refletir ou absorver mais luz, alterando os níveis de iluminância de um local. A simulação computacional é uma das ferramentas para a avaliação de sistemas de iluminação, que podem ser avaliados ao longo de um período determinado, como um ano, ou em datas e horários específicos, caracterizando-se como estudo de caso.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar de maneira comparativa o desempenho lumínico de um ambiente de sala de aula sob o aspecto da iluminação natural através do *software* computacional ReluxPro, utilizando como variáveis as refletâncias das superfícies internas, obtidas através de medição *in loco* com o equipamento espectrorradiômetro.

3. MÉTODO

Afim de avaliar a interferência de variáveis do ambiente interno no desempenho lumínico de uma sala de aula, esta pesquisa utilizou-se de simulações computacionais através do *software* ReluxPro, versão 2016 1.1.0. Para ajustar as diversas especificações do programa, como base, utilizou-se as informações de um ambiente padrão obtidas através de levantamento *in loco*. O objeto de estudo é uma sala de aula padrão da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), do campus da cidade de São Leopoldo (RS).

O modelo de sala de aula se repete em diferentes blocos da instituição de ensino e a escolha baseia-se em função dos diferentes revestimentos internos presentes no ambiente. Destaca-se a utilização do tijolo à vista, que pode influenciar diretamente na qualidade lumínica da sala de aula. A Figura 1 apresenta o objeto de estudo a partir de dois ângulos diferentes.



Figura 1. Sala de aula em estudo (autores).

O método de pesquisa constitui-se por três etapas principais: levantamento em campo, simulação computacional, e sistematização de resultados e conclusão. Em campo foram coletados dados que influenciam na distribuição da luz natural do ambiente. Por esta razão, bem como para a construção do modelo tridimensional, foram coletadas informações dos elementos internos e externos, como as dimensões internas da sala e tamanho e posicionamento das aberturas existentes, além de pilares e cobertura da área de circulação externa. Os dados são observados na Figura 2.

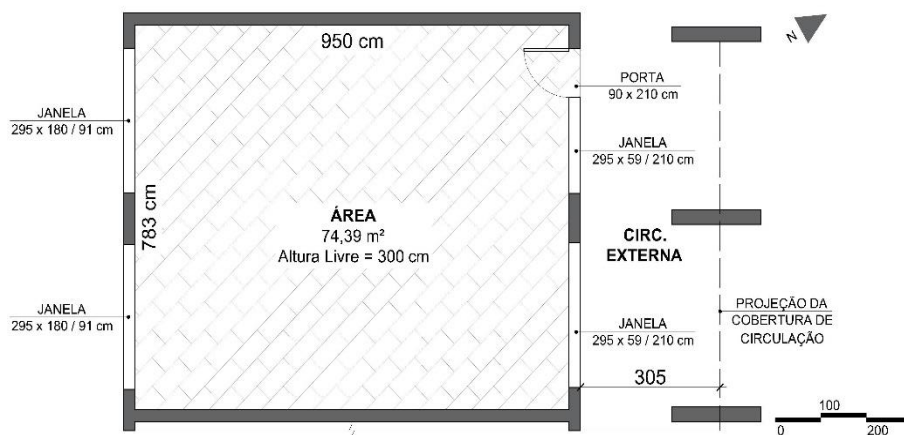


Figura 2. Planta baixa da sala de aula com dados coletados (autores).

Os valores de refletância das superfícies internas da sala de aula também foram obtidos em campo. Utilizou-se o espectroradiômetro fabricado pela *Spectral Evolution*, modelo SR-3500 que opera nos comprimentos de onda entre 350 a 2500 nm do espectro eletromagnético, com intervalo de 1,6 nm. A medição foi realizada através do equipamento do laboratório VizLab¹, integrante do programa de geologia da UNISINOS.

O equipamento capta valores de refletância para cada comprimento de onda. Os valores foram obtidos através da relação entre os dados da placa de referência que possui alta e conhecida refletância, a placa *Spectralon*, e a superfície alvo, ou seja, cada superfície interna do ambiente. A Figura 3 apresenta o processo de medição. O equipamento isola a área de captura dos dados, dessa forma, não houve necessidade de alteração do ambiente de aula. Posicionado nas superfícies alvo, o equipamento realizou as leituras de refletâncias para cada um das superfícies. Visando a obtenção de valores mais precisos, ajustou-se o espectroradiômetro para 30 leituras de radiação e, assim, o próprio equipamento calcula o valor médio para cada comprimento de onda.



Figura 3. Medição *in loco*: (a) placa *Spectralon*; (b) superfície alvo (autores)

Obteve-se os valores de refletância nos comprimentos de onda entre 350 e 2500 nm para cada superfície analisada. As superfícies internas consideradas foram: piso de parquet, paredes e teto com pintura na cor branca, parede com tijolo à vista, quadro verde, porta de acesso em madeira e fechamento com placa metálica em azul. Afim de reduzir possíveis erros, para cada uma destas superfícies, foram feitos 3 registros em pontos diferentes.

Para este estudo, utilizou-se apenas as bandas entre 380 e 780 nm, referentes às faixas espectrais capazes de gerar radiação luminosa visível ao ser humano. Através do *software* Excel, realizou-se a média dos 3 valores obtidos para cada superfície e elaborou-se gráficos com resultados. A Figura 4 apresenta a curva espectral para cada superfície analisada. Observa-se que o pico de refletância para as superfícies do piso, da parede de tijolo à vista e da porta de madeira localiza-se próximo ao comprimento de onda 771.5 nm, ou seja, dentro da radiação de tons vermelhos. Já o pico do fechamento com a placa azul apresenta-se no ponto 471.2 nm e o quadro verde apresenta-se no ponto 531 nm, respectivamente nas radiações de azul e

¹ Laboratório VizLab - Advanced Visualization & Geoinformatics Lab

verde. A pintura na cor branca apresenta maior regularidade ao longo dos comprimentos de onda, o que significa que a superfície apresenta maior capacidade de refletância.

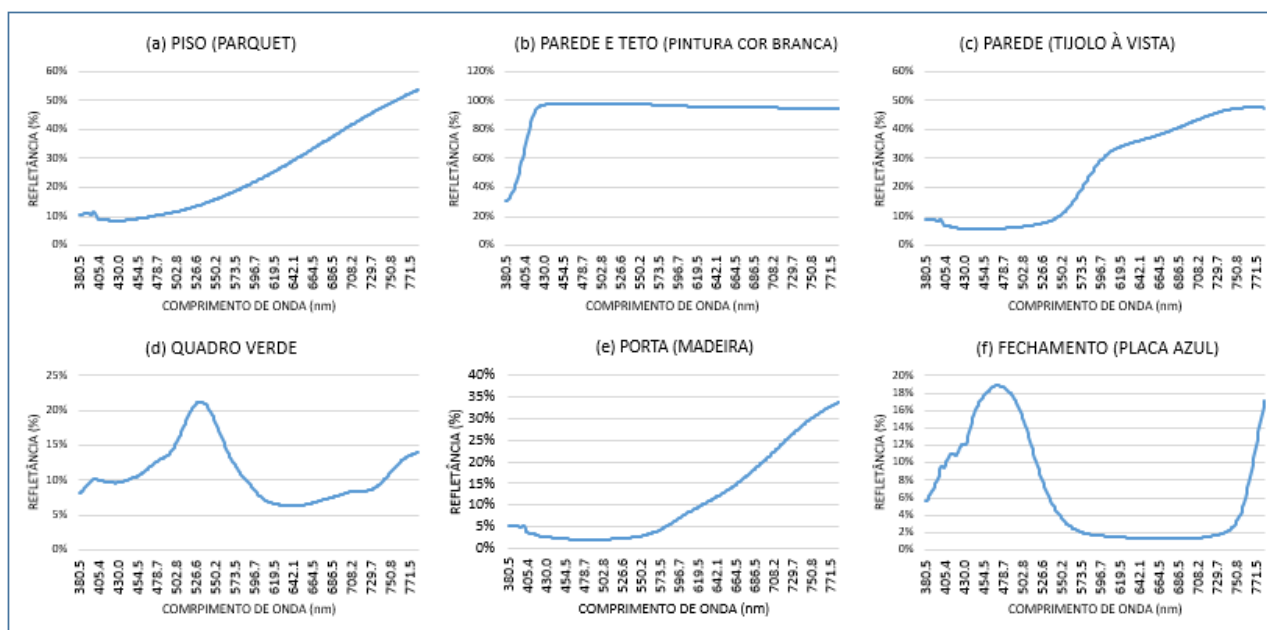


Figura 4. Curva espectral das superfícies analisadas: (a) piso parquet; (b) parede e teto com pintura na cor branca; (c) parede de tijolo à vista; (d) quadro verde; (e) porta de madeira; (f) fechamento com material azul (autores).

Assim, para chegar ao valor único de refletância de cada superfície medida *in loco*, fez-se a média dos valores no intervalo dos comprimentos de onda entre 380 e 780 nm. Para validação dos resultados obtidos, comparou-se com valores padrão apresentados por Vianna e Gonçalves (2001). A Tabela 1 apresenta os valores indicados pelos autores, bem como a média obtida para cada superfície medida em campo, observando a coerência dos resultados obtidos.

Tabela 1. Refletância: valores padrão e medidos *in loco* (VIANNA E GONÇALVES, 2001; autores).

Superfície Avaliada	Refletância de Superfícies (%)	
	Vianna e Gonçalves	Valores Obtidos em Campo
Piso - Parquet	13-34	25,03
Parede e Teto – Pintura Branca	85-95	92,70
Parede – Tijolo à Vista	13-48	24,84
Quadro Verde	15	10,96
Porta - Madeira	7-13	11,27
Fechamento (Azul)	6	6,63

Outro dado levantado em campo foram os valores referentes à iluminância do ambiente. Como base, utilizou-se a norma NBR 15215:4 da Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT) (2005), que prescreve os métodos para verificação experimental para ambientes internos. A norma estipula o tipo de céu adequado para a avaliação, a forma como o equipamento deve ser utilizado, a quantidade de pontos e uma malha para medição.

A medição ocorreu no dia 28 de setembro de 2016, próximo ao equinócio de primavera do hemisfério sul, com início às 11:51 horas e término às 12:54 horas. Utilizou-se o equipamento Termohigrômetro de modelo ITMP 600, fabricado pela *Instrutemp*, observado na Figura 5, com capacidade técnica de 0 a 2000 Lux, ajustado no dia 01 de setembro de 2016.



Figura 5 - Termohigrômetro de modelo ITMP 600, fabricado pela Instrutemp (autores).

Seguindo indicação da norma, o dia da medição apresentava céu claro, inexistência de nuvens e predominância da cor azul. Para a determinação da quantidade mínima de pontos medidos, afim de obter o nível de iluminação com erro inferior à 10%, utilizou-se a Equação 1.

$$K = \frac{C \cdot L}{Hm \cdot (C+L)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

K é a referência obtida;

C é comprimento do ambiente (em metros);

L é largura do ambiente (em metros);

Hm é distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela (em metros).

O objeto de estudo tem 9,50 m e 7,83 m, como dimensões de comprimento e largura, e 1,95 m como distância vertical. Com o valor de referência, observou-se a Tabela 2 da NBR 15215:4 que indica a quantidade mínima de pontos a serem medidos. Obteve-se como referência (k) o valor de 2,2 e com base na tabela identificou-se que o número mínimo de pontos à serem medidos *in loco* era equivalente a 25.

Tabela 2. Quantidade mínima de pontos à serem medidos (ABNT, 2005).

K	Nº de Pontos
$K \leq 1$	9
$1 \leq K \leq 2$	16
$2 \leq K \leq 3$	25
$K \geq 3$	36

Para a malha, a norma sugere que o ambiente seja dividido em quadrados iguais para que a medição ocorra no centro desta área, com distância mínima de 50 cm das paredes. Utilizou-se uma malha padrão de 100 cm, com menor medida da parede igual à 75 cm (valor utilizado posteriormente nas simulações computacionais). Desta forma, com base nas medidas internas do ambiente, identificou-se 63 pontos de medição, superando assim, os 25 pontos mínimos sugeridos pela norma.

Nas medições em campo, as mesas de aula foram mantidas na sala e posicionadas nos pontos de medição conforme a malha estabelecida. Como o equipamento possui apenas um sensor, a medição foi realizada ponto a ponto, e posicionou-se o equipamento na posição vertical, alinhado com cada mesa de aula, na altura do plano de trabalho correspondente à 75 cm do piso. A sequência e o horário de início de medição de cada fileira, bem como os dados de iluminância obtidos *in loco*, encontram-se na Figura 6. Iniciou-se a medição pela Fileira 1 (F1), obedecendo a sequência de medição da parte posterior da sala em direção à parte da frontal, onde localiza-se o quadro verde utilizado no desenvolvimento das aulas. Após, passou-se para a fileira seguinte, a F2, e seguiu-se obedecendo a sequência definida, da parte posterior para a frontal. Desta maneira, as medições foram realizadas até finalizar na última fileira, a F9.

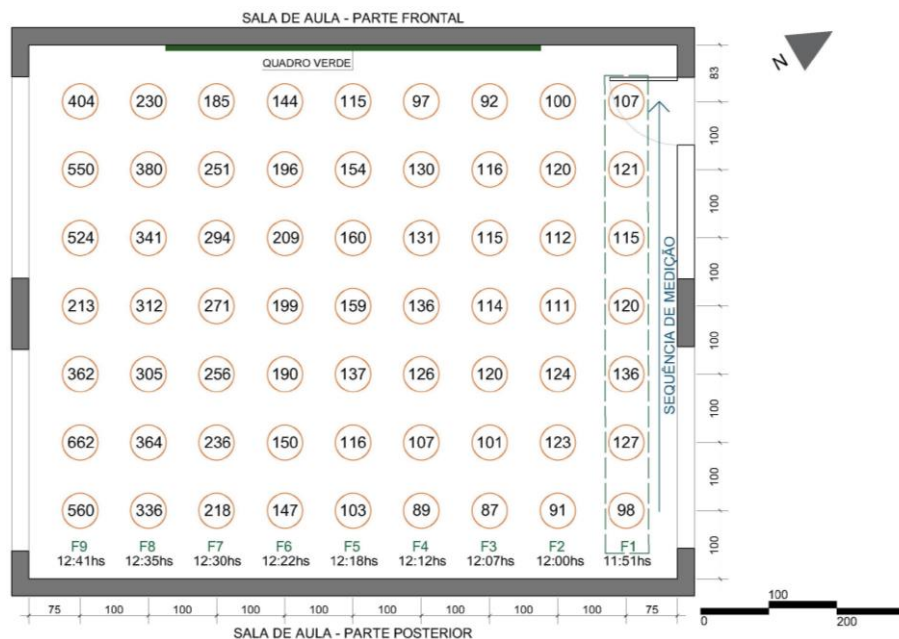


Figura 6. Valores de iluminância coletados *in loco* (autores).

Na segunda etapa, correspondente à simulação computacional, os dados levantados em campo foram transferidos para o *software* ReluxPro. Modelou-se a sala de aula no programa, posicionando as aberturas e os elementos arquitetônicos previamente levantados. Fez-se o ajuste da localização do objeto de estudo para São Leopoldo (RS), com longitude -51° e latitude -29° , e do Tempo Universal Coordenado (UTC, do inglês *Universal Time Coordinated*), para o Brasil, que corresponde à -3 horas em relação ao Meridiano de *Greenwich*.

Ajustou-se também as refletâncias das superfícies internas com base nos valores obtidos em campo e para os vidros utilizou-se o valor padrão de transmitância (razão entre o fluxo luminoso transmitido e o incidente), estabelecido pela NBR 15215 (ABNT, 2005). Assim, por se tratar de um vidro comum de 4mm, o valor de transmitância foi equivalente a 85%. Ajustou-se ainda a largura da malha de análise em 100 cm; o tipo de céu conforme as condições observadas no dia das medições em campo, céu limpo; ajustou-se a orientação solar com o ângulo polar de 60° ; configurou-se a data para o dia 28 de setembro de 2016 e determinou-se o horário de análise para às 12 horas. A data utilizada para a simulação computacional equivale a mesma da medição realizada *in loco*, que correspondente ao horário de início das medições em campo e representa o intervalo entre os períodos de aula das turmas da manhã e da tarde.

Com o modelo computacional da sala de aula original, foi gerado o cálculo para a iluminação natural do ambiente. Os dados do ReluxPro foram comparados com as informações levantadas em campo e, obtidos valores semelhantes, concluiu-se que o modelo computacional base estava ajustado corretamente. Então, desenvolveu-se os modelos computacionais que foram analisados de maneira comparativa com alteração de variáveis internas. Como variáveis, utilizou-se diferentes valores de refletância para as superfícies internas.

Gerou-se seis modelos de análise que apresentam como diferencial a posição das aberturas, localizadas: à norte, à sul, à norte e sul, à leste, à oeste, e à leste e oeste. Para cada modelo proposto, simulou-se o ambiente com duas configurações diferentes de superfícies internas: um modelo com revestimentos originais (paredes com pintura na cor branca e com tijolo à vista, conforme o modelo base), e o segundo modelo com todas as paredes revestidas com pintura branca. Desta maneira, o somatório de modelos de análise foi equivalente a doze.

Dimensões de aberturas foram fundamentadas no modelo base, com altura do peitoril igual ao plano de trabalho. Os critérios analisados compreenderam os valores relacionados com a iluminância e a uniformidade da luz natural no ambiente. Todos os modelos propostos foram analisados na mesma data e horário da modelo base (28/09/2016 às 12 horas), desta forma, por apresentar análise em data e horário específicos, a pesquisa caracterizou-se como um estudo de caso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se a NBR ISO/CIE 8995:1 (ABNT, 2013) para análise dos modelos simulados. A norma estabelece valores mínimos de iluminância que devem ser mantidos no plano de referência. Utiliza-se o item de Construções Educacionais que indica 300 lx (LUX) para salas de aula. Para ambientes de aula escolar, onde

o arranjo do local de trabalho pode ser alterado ao longo do período de utilização, a norma considera que toda a sala é um ambiente de trabalho, com exceção de uma faixa marginal de 50 cm.

Além disso, a norma indica que a uniformidade de iluminância da tarefa, ou seja, a razão entre o valor mínimo e o valor médio, não deve ser menor que 0,7. No entanto Santos (2014), pondera que para iluminação natural a uniformidade pode ser na ordem de 0,4 e nunca inferior à 0,2. Segundo o autor, este valor pode ser reduzido em função do caráter dinâmico e variável da luz do dia.

Com a simulação computacional do ambiente original foi possível comparar com os dados de iluminância levantados *in loco*, conforme gráficos observados na Figura 7. Para o plano de referência (75 cm), em campo, os valores de iluminância máxima e mínima corresponderam, respectivamente, à 662 lx e 87 lx, e a iluminância média obtida foi de 200 lx. Através da simulação computacional, obteve-se 668 lx de iluminância máxima, 65 lx de mínima e 192 lx de iluminância média. Assim, concluiu-se que o *software* estava ajustado para o desenvolvimento das demais simulações.

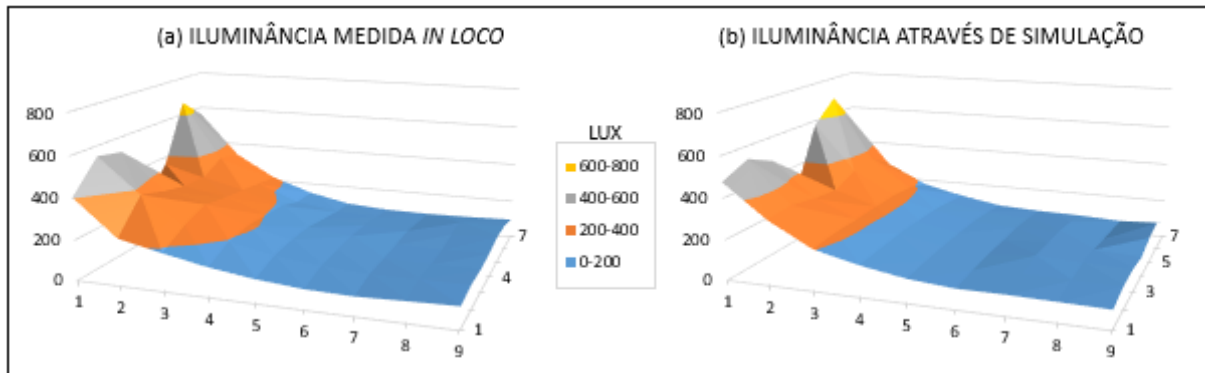


Figura 7. Gráfico comparativo: (a) iluminância *in loco*; (b) iluminância através de simulação (autores).

A Figura 8 apresenta os diagramas de cores falsas com os valores de iluminância obtidos através de simulação para os modelos com aberturas à norte, sul, norte e sul, considerando revestimentos internos originais e alterados, para o horário das 12 horas, ou seja, período entre os turnos da manhã e da tarde. Observa-se que os níveis de iluminância são maiores nos locais próximos às aberturas e que, com exceção do modelo com aberturas à sul, há incremento dos índices de iluminância nos modelos com revestimento alterado, ou seja, aqueles que passaram a ter todas às paredes com pintura na cor branca.

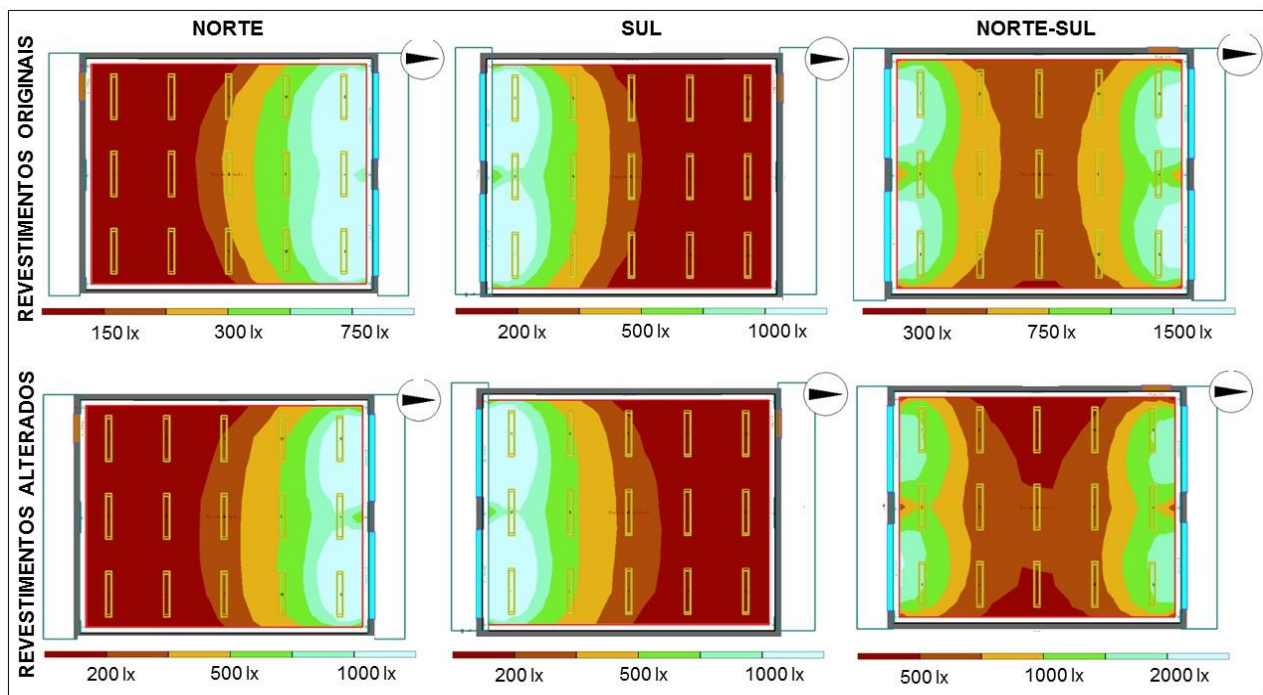


Figura 8. Iluminância para os modelos com orientação norte e sul (autores).

A Tabela 3 apresenta os valores de iluminância mínima, máxima e média e a uniformidade para cada modelo com orientações solares norte e sul, com revestimentos originais e alterados. Observa-se que todos os modelos obtiveram iluminância média acima de 300 lx, porém nenhum dos modelos atendeu ao valor mínimo de uniformidade de 0,7 estabelecido pela norma, e apenas o modelo norte-sul se aproximou do valor reduzido sugerido por Santos (2014), próximo à 0,4.

Tabela 3. Iluminância para as simulações com variações de orientação solar norte e sul (autores).

Critérios	Norte		Sul		Norte-Sul	
	Original	Alterado	Original	Alterado	Original	Alterado
Iluminância mínima	37	64	41	70	241	287
Iluminância máxima	1810	1850	2280	2360	1950	2050
Iluminância média	380	424	431	478	764	846
Uniformidade	0,1	0,15	0,09	0,15	0,32	0,34

Na Figura 9 observa-se os diagramas de cores falsas com os valores de iluminância obtidos através de simulação para os modelos com aberturas à leste, oeste, leste e oeste, com revestimentos internos originais e alterados. O maiores níveis de iluminância se encontram próximo às aberturas e em todos os modelos analisados há incremento nos valores de iluminância nos modelos com paredes internas revestidas unicamente com pintura na cor branca.

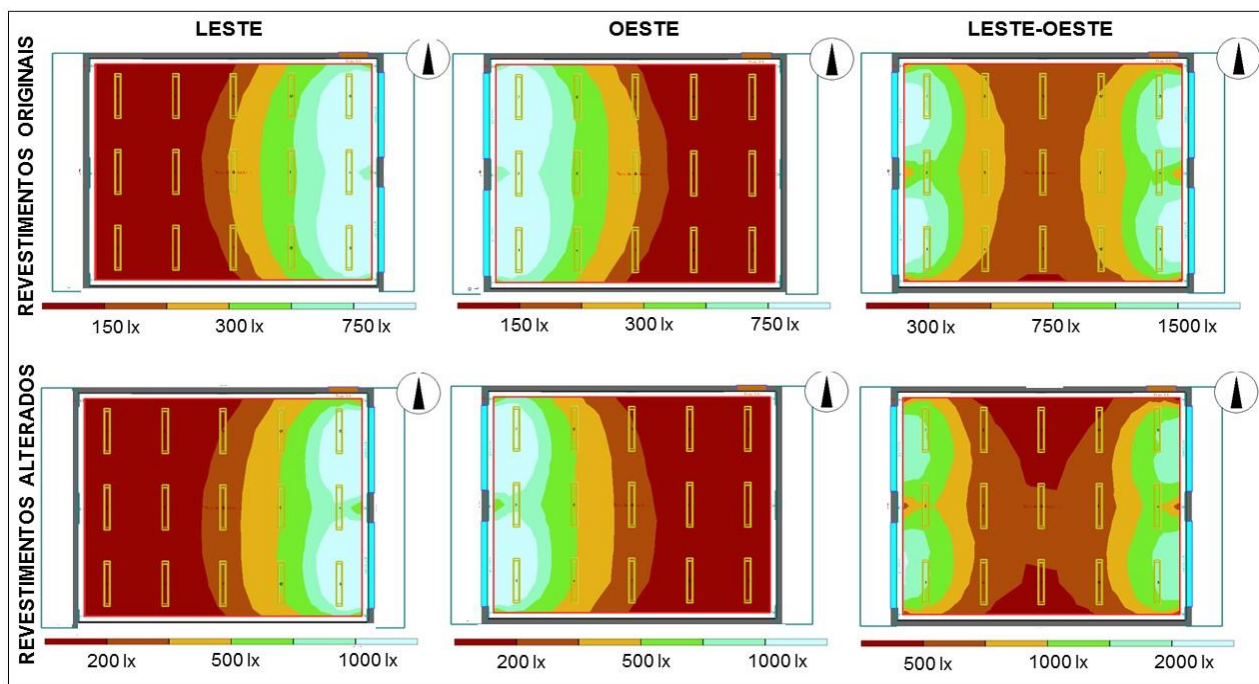


Figura 9. Iluminância para os modelos com orientação leste e oeste (autores).

Observa-se na Tabela 4 que a iluminância média acima de 300 lx foi obtida em todos os modelos analisados. Porém, novamente, nenhum dos modelos alcançou o nível de uniformidade 0,7 exigido pela norma, embora o modelo com aberturas nas orientações leste-oeste tenha se aproximado do valor reduzido sugerido por Santos (2014), equivalente a 0,4.

Tabela 4. Iluminância para as simulações com variações de orientação solar leste e oeste (autores).

Critérios	Leste		Oeste		Leste-Oeste	
	Original	Alterado	Original	Alterado	Original	Alterado
Iluminância mínima	41	72	39	62	241	286
Iluminância máxima	1800	1850	1900	1970	1950	2050
Iluminância média	375	416	382	425	763	845
Uniformidade	0,11	0,17	0,10	0,15	0,32	0,34

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iluminação natural é um dos componentes de qualidade do ambiente interno e análises quantitativas e qualitativas podem indicar se um determinado local apresenta desempenho luminoso satisfatório para o desenvolvimento de atividades. Desta maneira, o trabalho buscou avaliar de maneira comparativa o desempenho lumínico para um ambiente de sala de aula. Para isso, utilizou-se um objeto de estudo como base para o desenvolvimento de modelos de análise. Os modelos propostos apresentaram alteração de aberturas em relação à orientação solar e de valores de refletância nas superfícies internas. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, pois os modelos propostos foram analisados de maneira estática e em data e horário específicos.

Verificou-se que os maiores níveis de iluminância se encontraram nas áreas próximas às aberturas, havendo redução gradual conforme afastamento. Para o dia e horário analisado, os modelos apresentaram iluminância média acima de 300 lx, conforme indicado pela NBR ISO/CIE 8995:1 (ABNT, 2013), porém, nenhum dos ambientes atendeu ao critério de uniformidade indicado pela norma, equivalente a 0,7, sugerindo a baixa qualidade do sistema de iluminação natural. Considerando o valor reduzido de uniformidade indicado por Santos (2014), de 0,4, apenas os modelos com aberturas em duas laterais aproximaram-se do valor indicado. Assim, conclui-se que, apenas com o sistema de iluminação natural, os modelos não atendem à NBR ISO/CIE 8995:1, pois, embora tenham contemplado o aspecto quantitativo (iluminância média mantida), não atenderam ao quesito qualitativo (uniformidade).

Com base nas condições avaliadas, as diferentes orientações solares não representaram alterações significativas nos valores de iluminância e uniformidade do ambiente. Porém, a alteração dos revestimentos internos influenciou nos resultados obtidos. Observou-se que os modelos simulados com todas as paredes com revestimento de pintura na cor branca obtiveram incremento no valor de iluminância média em relação aos modelos com tijolo à vista de até, aproximadamente, 80 lx. Embora pouco significativo, observou-se também o incremento dos valores de uniformidade.

O trabalho limitou-se em avaliar os modelos em período específico, com dia próximo ao equinócio de primavera do hemisfério sul e com horário definido às 12hs, visando maior uniformidade da luz natural. O item de ofuscamento indicado pela norma foi desconsiderado nas análises. Conforme analisado, apenas o sistema de iluminação natural não atende à norma vigente, devendo ser necessária a utilização do sistema artificial para complementar e atender aos requisitos técnicos e de conforto visual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. NBR ISO/CIE 8995: Iluminação De Ambientes De Trabalho. Rio de Janeiro: 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215: Iluminação Natural. Rio de Janeiro: 2005.
- COSTA, G. J. C. DA. Iluminação Econômica. 2ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.
- DURÁN, G. Y. B.; PRADO, D. D. A.; FILHO, W. P. Caracterização da refletância espectral de materiais urbanos com uso de espectraloradiômetro Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Anais...Foz do Iguaçu: INPE, 2013
- EGAN, M. D.; OLGAY, V. ARCHITECTURAL LIGHTING. 2ª ed. New York: Mc Graw Hill, 2002.
- FERVENÇA, Y. S. G.; BARTHOLOMEI, C. L. B. O ambiente escolar e o conforto lumínico: avaliação em escolas públicas de Presidente Prudente – SP. In XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Anais... Brasília: 2013.
- KEELER, M.; BURKE, B. Projeto de edificações sustentáveis. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- LECHNER, N. Heating, Cooling, Lighting. 3. ed. New Jersey: Wiley & Sons, 2009.
- LIMA, M. R. C. DE. Percepção Visual Aplicada a Arquitetura a Iluminação. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2010.
- PEREIRA, C. D. *et al.* Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1). Florianópolis: CB3E, 2015. v. 1
- SANTOS, A. J. A Iluminação nos Edifícios: Uma perspectiva no âmbito do conforto ambiental e da eficiência energética. 1ª ed. Lisboa: LNEC, 2014.
- SANTOS, C. V. G. B.; VANDERLEI, P. S. S.; GONÇALVES, R. B. Avaliação do desempenho luminoso em sala de aula: estudo de caso. In XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Anais... Brasília: 2013.
- SARDEIRO, Paula; NETO, Arquimedes Rotta. Avaliação do desempenho luminoso em salas de aula: estudo de caso. In XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Anais... Juiz de Fora: 2012.
- VENTORIM, F. C. *et al.* Análise do desempenho da iluminação natural de salas de aula de desenho em Vitória (ES). In XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Anais... Maceió: 2014.
- VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação e Arquitetura. São Paulo: Virtus s/c LTDA, 2001.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao laboratório VizLab - *Advanced Visualization & Geoinformatics Lab*, pelo auxílio nas medições realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.