XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente ‘

ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável

Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise da iluminação natural e conforto visual em ambientes de ensino

Analysis of natural lighting and visual comfort in teaching environments

Fernanda Nascimento Lima

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul | Campo Grande | Brasil | fer.arquiteta@hotmail.com

Márcio José Sorgato

Universidade Tecnológica do Paraná | Curitiba | Brasil |sorgato@utfpr.edu.br

Pollyana Meireles Cordeiro

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul | Campo Grande | Brasil | pollymeic@hotmail.com

Resumo

A análise da qualidade da iluminação natural e a percepção visual em ambientes de ensino, por meio de parâmetros de mensuração empregados na caracterização qualitativa e quantitativa do comportamento da iluminação natural, foram as diretrizes adotadas na pesquisa. Para tanto foram realizados experimentos para medição dos valores de iluminâncias. A qualidade lumínica de um ambiente está relacionada com os dados físicos de brilho das superfícies, retratados por meio das luminâncias e iluminâncias. O artigo considera os aspectos de eficiência energética no auxílio à redução do consumo de energia artificial, na promoção do conforto visual dos alunos, produtividade e desempenho visual em ambientes de ensino.

Palavras-chave: Iluminação natural. Conforto visual. Escola.

Abstract

The analysis of the quality of daylighting and the visual perception in teaching environments, through measurement parameters used in the qualitative and quantitative characterization of the behaviour of daylighting, were the guidelines adopted in the research. For that, experiments were carried out to measure the illuminance values. The luminous quality of an environment is related to the physical brightness data of the surfaces, portrayed through luminance’s and illuminances. The article considers aspects of energy efficiency in helping to reduce artificial energy consumption, promoting student visual comfort, productivity, and visual performance in teaching environments.

Keywords: Natural lighting. Visual comfort. School.

Como citar:

LIMA, F.N.; SORGATO, M.J.; CORDEIRO, P.M. Análise da Iluminação Natural e Conforto Visual em Ambientes de Ensino. Conferência ENTAC2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

1 INTRODUÇÃO

O melhor aproveitamento da iluminação natural é imprescindível para a eficiência energética e esse aspecto deve ser considerado para que seja integrado ao conforto visual e bem-estar do usuário, sempre relacionado concomitantemente com os aspectos quantitativos e qualitativos da luz (JAMROZIK *et al.,* 2019). As discussões sobre a qualidade da iluminação são circundantes e complexas, pela necessidade de análises concomitantes de grande número de elementos, tanto da iluminação natural quanto da artificial, além dos aspectos relacionados com as edificações, meio externo e ao próprio usuário (LIM,2017).

Uma das dificuldades de se garantir o aproveitamento da iluminação natural em ambientes escolares está especialmente na prevenção e controle do ofuscamento produzido pelas janelas, excesso de brilho e reflexões na área de trabalho, falta de uniformidade da luz e excesso de radiação solar direta incidente nos usuários, mobiliários e equipamentos (SUK, 2019). A qualidade da iluminação natural em ambientes internos, especialmente nos de ensino impacta no aprendizado dos usuários, e, assim, o conforto visual dentro desses espaços exerce um papel fundamental no nível de desenvolvimento dos estudantes (KHLEDJ e BENCHEIKH,2021).

O uso racional da iluminação artificial, assim como a qualidade do conforto visual em edifícios educacionais ganham cada vez mais destaque, uma vez que podem afetar a produtividade, o bem-estar dos alunos e a economia de energia artificial (SHAFAVI *et al*., 2020). Salienta-se que o desempenho escolar dos alunos está diretamente associado com a qualidade da iluminação natural em ambientes de ensino: “O crescente interesse pelas características dos ambientes de ensino deve-se à sua relação com a capacidade de aprendizagem do aluno” (VÁSQUEZ *et al*., 2019; WANG *et al*., 2021; SUK, 2019; SALAMATI *et al*., 2020).

Um dos objetivos desta pesquisa é transformar os resultados em premissas para projetos arquitetônicos, que necessite de elementos práticos para a aplicação de conceitos e diretrizes técnicas. Segundo Kong *et al.* (2018) é preciso desenvolver ferramentas que auxiliem o projeto de iluminação natural, especialmente com abordagens gráficas que interpretem questões técnicas para a linguagem projetual. A atenção com a qualidade da iluminação, produtividade e eficiência energética, pôs em destaque a escassez de premissas adequadas para os projetistas, e o resultado disso é que os ambientes, principalmente de ensino, vêm apresentando problemas com baixa qualidade lumínica e consumo irracional de energia (RICCIARDI e BURATTI, 2018).

Os problemas relacionados com o uso excessivo da iluminação artificial em ambientes escolares, produz ambientes com características negativas na região onde se localizam

(LECCESE *et al*. 2020). Por essa razão, a iluminação natural é um relevante fator na projeção dos espaços internos e apresenta impacto positivo na concepção de ambientes agradáveis e em condições mais saudáveis, assim como está relacionada com a eficiência energéticas das edificações, contribuindo significativamente para a economia de energia (ZOMORODIAN e TAHSILDOOST, 2017). Não se deve substituir a

integralidade a luz natural pela artificial por esta não ser provida de todas as benesses da outra, como a percepção espaço-temporal do ambiente e a manutenção do relógio biológico humano (LAMBERTS *et al,* 2014).

Em ambientes de ensino, o conforto ambiental é condição relevante para o desempenho dos indivíduos, tanto alunos quanto professores. No entanto, esta pesquisa irá avaliar somente a qualidade do conforto lumínico do ambiente, medidos por meio da incidência lumínica e da percepção visual dos indivíduos no ambiente.

2 OBJETIVO

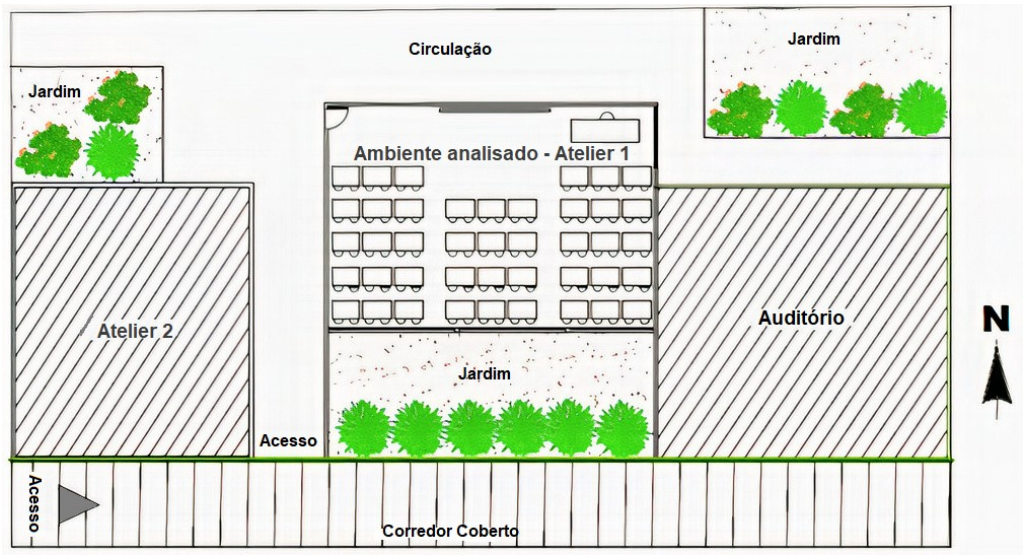
O trabalho é um estudo de caso cujo objetivo é analisar a qualidade da iluminação natural em um ambiente de ensino da rede pública federal.

3 METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de caso em um ambiente de ensino, identificando suas características físicas como detalhes, acabamentos, dimensões e entorno imediato conforme *layout* produzido na Figura 1.

Localizado em um dos blocos da Universidade, possui como característica uma estrutura modular (14,54 x 10 m) de concreto armado, cobertura também de concreto, com fechamento vertical voltado para área externa, apresenta estrutura metálica com placas de fibrocimento e abertura envidraçada, o que permite boa iluminação natural, conforme será mostrado. Ressalta-se a presença de espaços ajardinados entre as salas que são interligadas externamente por amplo corredor (Figura 1).

Figura 1: *Layout* de localização do ambiente analisado



Fonte: autores

O Atelier 1 apresenta uma configuração de abertura principal, voltada para o sentido Sul. Essa sala foi selecionada a fim de se investigar como é a contribuição da iluminação natural, com essa disposição de abertura. A sala também possui uma abertura

secundária no sentido Leste, conforme Figura 2. A sala apresenta uma área total de 145,40 m², com uma área de abertura de 29,51m². Consegue atender até 90 alunos. O entorno imediato da sala é um jardim de frente para as aberturas principais, na fachada Sul. Possui teto pintado de branco, três paredes com pintura branca e uma azul claro; piso do tipo granilite bege claro (Figura 2). O sistema de iluminação artificial possui lâmpadas fluorescentes tubulares T10 de 40w cada. Interruptores permitem acionar tanto as luminárias quanto o ar-condicionado. Nas etapas de medição, todas as persianas e lâmpadas estavam em bom estado de conservação. Todo o entorno é caracterizado por extensos espaços verdes. As janelas voltadas para sul possuem leve obstrução do céu para as janelas da sala de aula (Figura 2), em razão da presença de palmeiras próximas às aberturas. As vigas e pilares do ambiente são de concreto aparente. As aberturas são vedadas com vidros simples de 3mm.

Figura 2: Vista externa do ambiente (à esquerda). Vista interna com uso da iluminação natural (à direita).

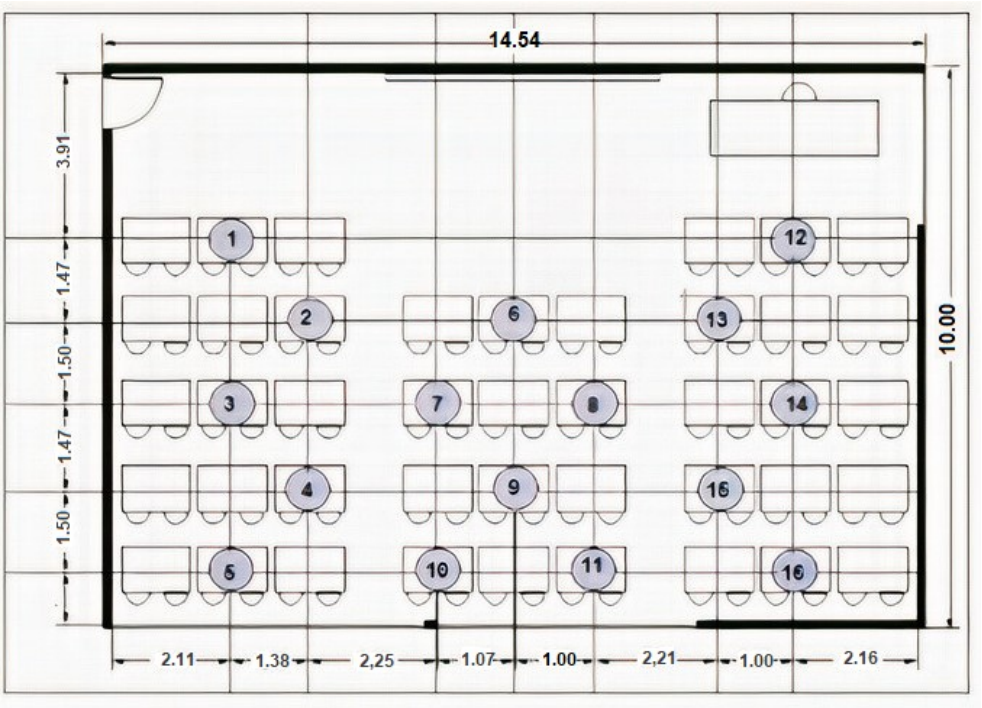


Fonte: autores.

O estudo foi desenvolvido no dia 22 de março de 2022, às 10h30 da manhã e às 13h15 da tarde. Foram realizadas aferições, somente com a iluminação natural, com as janelas dispostas sem o acionamento das persianas. As medições foram realizadas no momento das aulas.

As medições dos níveis de iluminância observaram o recomendado pela NBR15215-4:2005, foram realizadas aferições em 16 pontos distintos em uma malha de 1,50 x 1,50m entre os pontos, conforme Figura 3. De início foi feita a preparação do ambiente com o posicionamento dos equipamentos nos pontos demarcados, para as medições.

Figura 3: Localização dos pontos no ambiente para medição das iluminâncias.



Fonte: autores.

Utilizou-se um luxímetro da marca Konica Minolta CL-200, para obtenção da média das iluminâncias. Posteriormente, os resultados foram comparados com os valores estabelecidos pela Norma Brasileira NBR ISSO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) que determina a iluminância média para atividades exercida em ambientes de ensino de 750lux e para o entorno imediato de 500lux. Após as medições, os dados foram tabulados e os gráficos e Curvas isolux produzidos, possibilitando verificar quais pontos do ambiente necessitam de iluminação e se estão atendendo às necessidades dos usuários. Tal procedimento possibilita a aplicação de métodos corretivos mais eficientes. A forma de análise e os valores comparativos adotados seguiram as recomendações de Kremer (2002). Para verificar as condições ambientais e o cruzamento com os níveis de satisfação dos usuários, foi elaborado um questionário aplicado em período de aula, dentro do horário correspondente. O Quadro 1 descreve os elementos confeccionados, seus objetivos, meios de aplicação e amostragem.

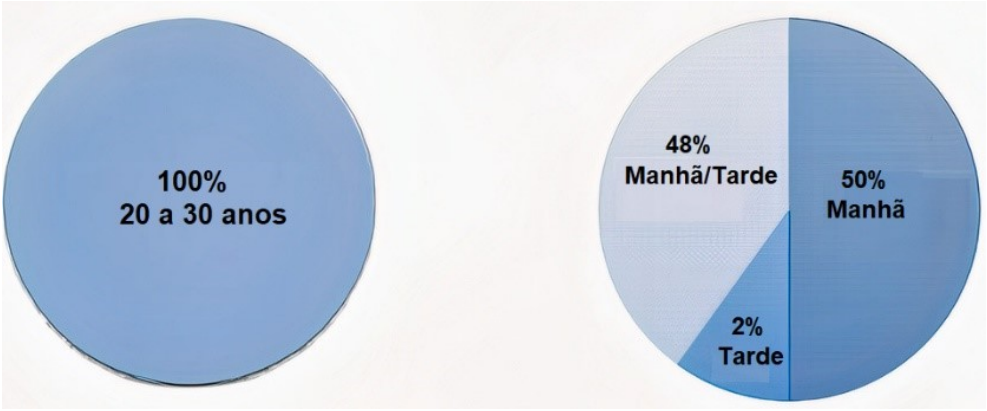
Quadro 1: Instrumento de análise da percepção visual

QUESTIONÁRIO (ESTUDANTES)	Descrição: No estudo foi utilizado o método quantitativo que buscou coletar dados por meio de perguntas fechadas. Método proposto quando existe um número considerável de indivíduos envolvidos em um processo de avaliação (LAKATOS, 2003). Foi elaborado um questionário para estudantes, que foram respondidos simultaneamente aos experimentos visando possibilitar coleta de informações detalhadas e de forma otimizada. Objetivos: coletar dados sobre a percepção visual em tempo real dos estudantes sobre o ambiente analisado com os seguintes aspectos: percepção coma a satisfação da vista externa, *layout* interno e funcionalidade, percepção das cores dos mobiliários, das paredes, do teto, do piso, incidência da luz natural sobre a área das tarefas, uso dos dispositivos internos do sistema de sombreamento (cortinas e persianas), área das aberturas (janelas), percepção de ofuscamentos, detalhes de materiais e sistemas construtivos. Meio: Questionário *online* distribuído por meio de *QR Codes* disponibilizados aos estudantes. Amostragem: 58 questionários distribuídos aos estudantes, com 49 respondentes.

Fonte: autores.

Durante as medições foram entregues aos alunos *QR Codes* para acesso a um questionário *online* com a finalidade de avaliar se a percepção destes estava de acordo com os dados obtidos. Para se verificar as condições ambientais e o cruzamento com os níveis de satisfação dos usuários, os questionários foram realizados em período de aula, dentro do horário correspondente. O público é constituído por jovens com idade média de 20 a 30 anos (Figura 3), com 64% do sexo feminino, em um total de 49 alunos respondentes. Não houve relação entre idade e preferência por iluminação natural por causa da perda de acuidade visual.

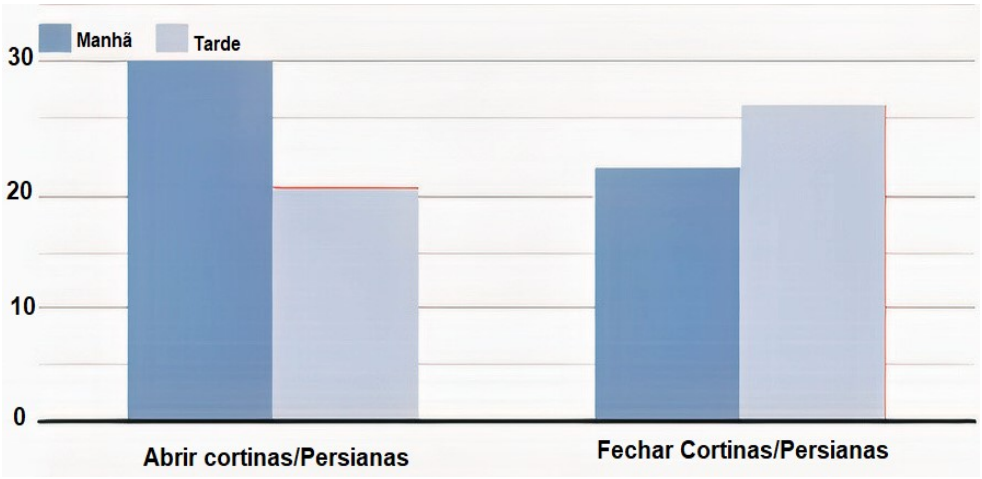
Figura 3: Idade dos usuários (à esquerda). Período de permanência no ambiente (à direita).



Fonte: autores.

A maioria demonstrou preferência por abrir as persianas no período da manhã e fechar as cortinas no período da tarde (Figura 5).

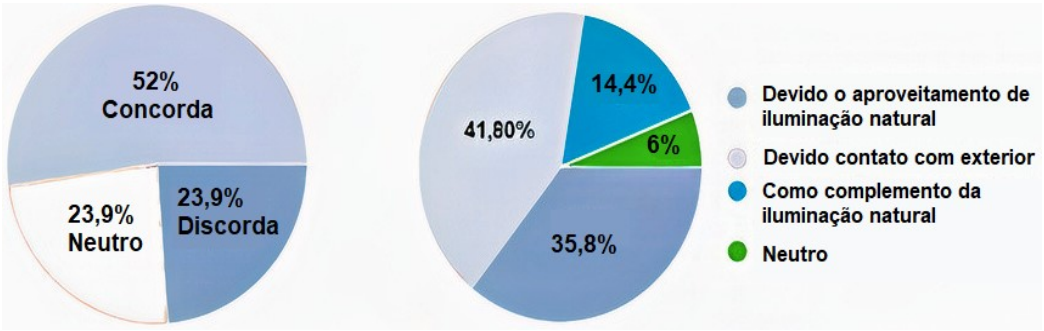
Figura 4: Utilização da persiana (abrir/fechar) de acordo com cada período.



Fonte: autores.

Observou-se que a maioria dos usuários se sente visualmente confortável (Figura 5) não apresentando nenhum desconforto mais acentuado com relação ao ambiente. Fato este diretamente relacionado com a reduzida incidência do ofuscamento, causado pela iluminação natural.

Figura 5: A iluminação natural nesse ambiente é suficiente (à esquerda). Razão da preferência pela vista exterior (à direita).



Fonte: autores.

A maior parte dos indivíduos (52%) concordam que a iluminação natural no ambiente no período matutino é satisfatória. Devido a pouca incidência de ofuscamento no ambiente, os indivíduos preferem deixar as persianas abertas pela manhã, e a maioria (41,8%) diz que apreciam a vista com o exterior, somente para contato externo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os questionários aplicados, demonstraram alguns dos principais impactos observados no estudo de caso, como apresentado no Quadro 2.

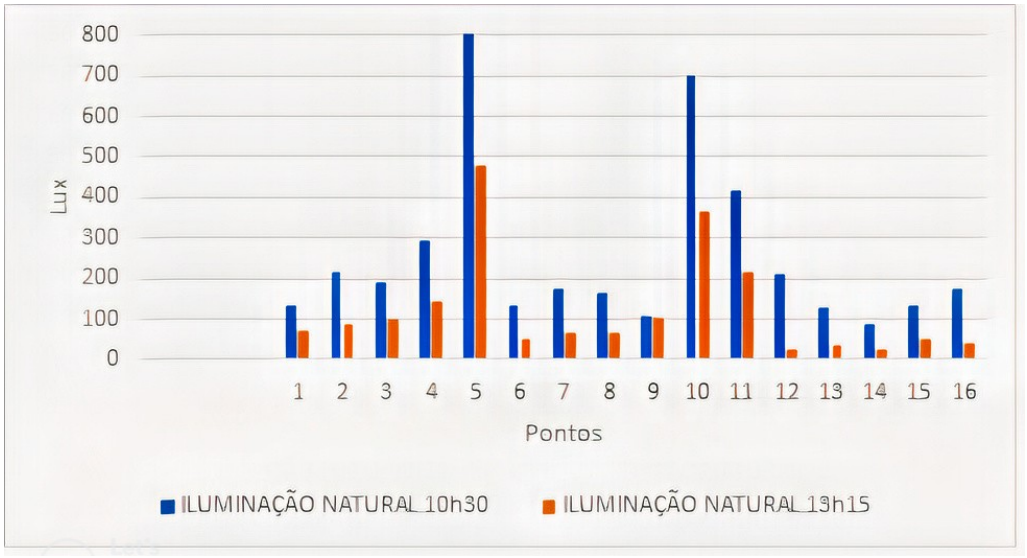
Quadro 2: Instrumento de análise da percepção visual

Impactos: A maioria (52%) dos respondentes, demonstrou preferência por abrir as persianas no período da manhã e fechar as mesmas no período da tarde, em ambas as condições o uso da iluminação artificial é contínuo. Embora haja preferência em se abrir as persianas pela manhã, isso não otimiza a entrada da luz natural em todo o interior do ambiente, por isso o uso em conjunto das lâmpadas. E no período da tarde, ao se fechar as persianas devido a pouca entrada de luz natural, isso potencializa o uso da energia elétrica. **Capacidades adaptativas:** Observou-se que a maioria dos usuários se sente visualmente confortável não apresentando nenhum desconforto mais acentuado com relação ao ambiente. Fato este podendo estar relacionado com a pouca incidência de ofuscamentos, causados pela iluminação natural direta, quando abertas as persianas. Evidencia-se aqui a possibilidade de se reduzir o uso de lâmpadas, distribuindo as mesmas em pontos onde haja menor incidência de luz natural, limitando, assim o consumo de energia elétrica. Porém, é importante ressaltar que antes de aplicar qualquer intervenção para diminuir a iluminação artificial, deve-se verificar em quais pontos esta iluminância realmente pode ser reduzida.	  

Fonte: autores.

Os resultados das iluminâncias médias nos diferentes horários, estão ilustrados na Figura 8. Os dados foram tabulados por meio da incidência solar direta distribuída no ambiente, conforme apresentado.

Figura 6: Iluminâncias média em dois períodos – matutino e vespertino



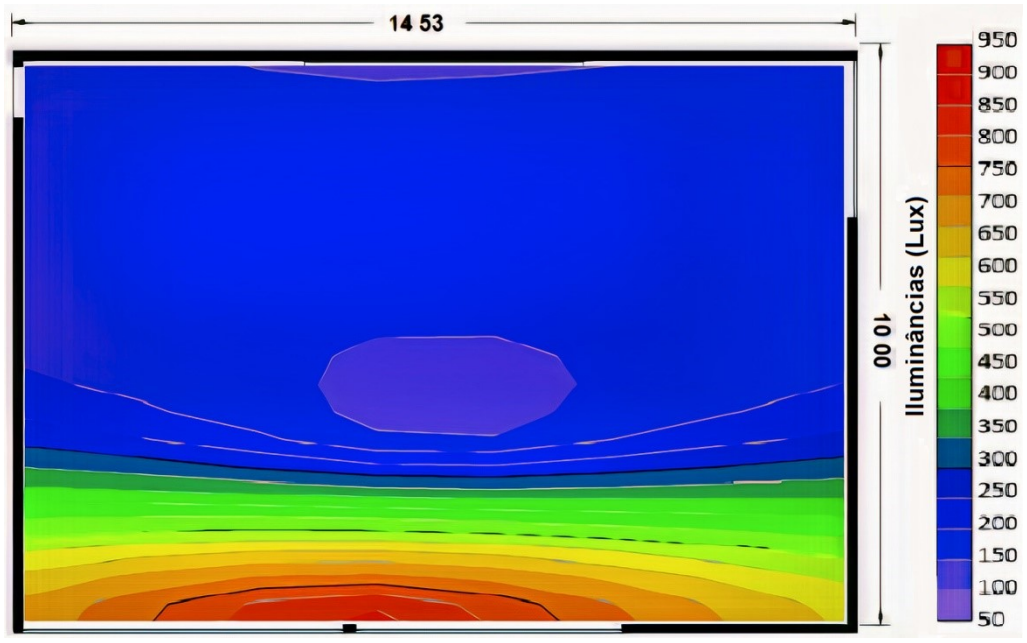
Fonte: autores.

Quanto às iluminâncias médias, foi feita uma verificação somente com iluminação natural nos períodos matutino e vespertino (Figura 6). Os valores apresentados mostram que as iluminâncias são semelhantes nos dois períodos, no entanto, essa distribuição mostrou-se diferente em razão da quantidade de incidência solar.

GRÁFICOS ISOLUX

Para a continuidade das análises foi necessária a representação gráfica das iluminâncias por meio de curvas isolux (Fig. 7 e 8). Foram analisados dados com valores de iluminâncias somente com iluminação natural.

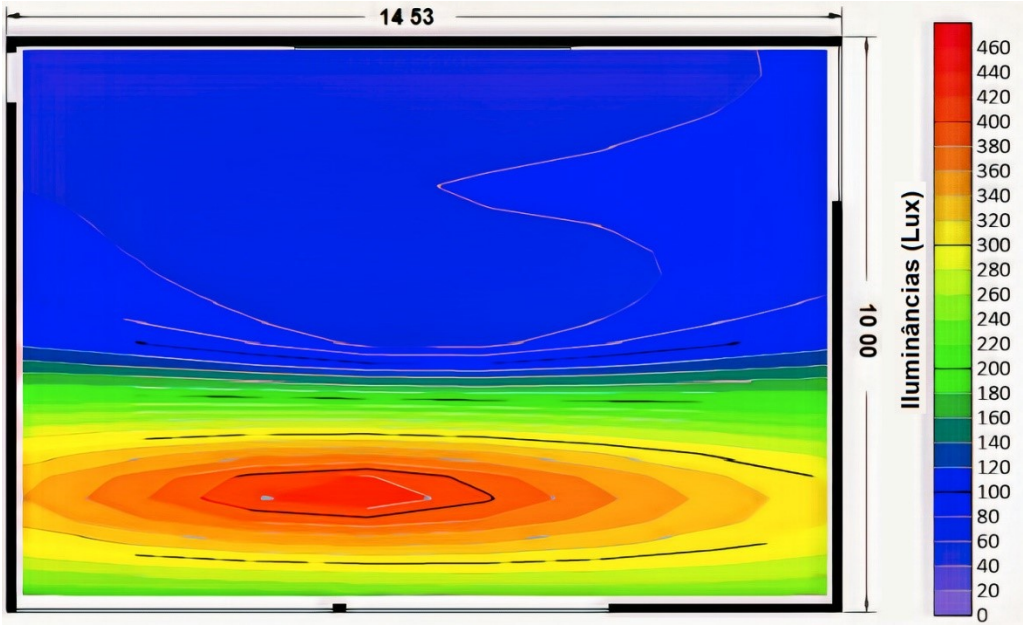
Figura 7: Gráfico isolux sobre iluminação natural – Manhã.



Fonte: autores.

A iluminância média da luz natural encontrada nas análises (Figura 7 e 8) mostra que o ambiente avaliado não possui condições lumínicas adequadas para ser utilizado sem o acionamento das lâmpadas, haja vista que grande parte dos valores encontrados na condição de iluminação natural, estão abaixo de 300 lux, recomendado pela NBR 8995/2013. As maiores incidências ocorrem pela manhã, quando a luz natural entra pelas duas fachadas: sul e leste. A maior parte das iluminâncias se encontram próximas às janelas, especialmente da parede sudoeste, e vão reduzindo, gradativamente conforme se aproxima da porta. Mesmo os maiores níveis não atingiram o recomendado pela NBR 8995/2013. Tal fato pode ocorrer em razão das aberturas não receberem radiação direta devido a presença de obstruções externas como jardins e a própria edificação. Outro fator seria a orientação principal das aberturas voltadas para o sul.

Figura 8: Gráfico isolux sobre iluminação natural - Vespertino



Fonte: autores.

Nas duas condições, os pontos mais próximos da janela apresentaram maiores iluminâncias e essa incidência vai gradativamente se reduzindo conforme vai se distanciando da abertura. Esse resultado indicou a possibilidade de associação da iluminação (natural + artificial) em alguns pontos do ambiente para se obter melhores índices de iluminância de forma mais uniforme.

ZONAS DE ILUMINÂNCIAS

Para a análise, adotou-se a classificação do ambiente por zonas (Tabela 1). Esta classificação divide os intervalos em cinco zonas que qualifica a quantidade de iluminação no ambiente. Considera-se como melhor desempenho luminoso do ambiente, como: quanto maior a área dentro da zona de iluminância, ela será tida como suficiente. As áreas de transição, serão consideradas admissíveis. As da zona excessiva serão consideradas como insuficientes, e seu desempenho será tido como baixo (Tab. 1).

Tabela 1: Classificação das zonas de iluminância

Intervalo de Iluminância (lux)	Zona	Classificação
Abaixo de 300	INSUFICIENTE	RUIM (baixo)
300 a 350	TRANSIÇÃO INFERIOR	REGULAR (baixo)
Entre 350 e 650	SUFICIENTE	BOM
Entre 650 e 700	TRANSIÇÃO SUPERIOR	REGULAR (alto)
Acima de 700	EXCESSIVA	RUIM (alto)

Fonte: Kremer (2002).

Na avaliação de desempenho do ambiente estudado ao se verificar a Tab. 1, observa-se que as zonas de classificação na maior parte do ambiente se encontram com iluminância deficiente, por falta de iluminância (com valores predominantes abaixo de 300 lux). De acordo com a Tab. 1, as zonas insuficientes são consideradas impróprias, ocasionando limites inadequados para o desempenho de tarefas visuais. Os resultados obtidos no ambiente resultaram nas porcentagens apontadas na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição das zonas de iluminância

Definição dos intervalos de avaliação	Classificação
Acima de 70,1%	BOM
De 50,1% a 70%	REGULAR
Abaixo de 50%	RUIM

Fonte: Kremer (2002).

Tabela 3: Porcentagem de classificação do ambiente analisado

Classificação	Iluminância	Natural Manhã	Natural Tarde	Artificial
ruim	<300lux	97,9%	100%	
regular	300lux - 349lux	2,1%	0%	10,4%
bom	350lux - 650lux	0%	0%	72,9%
regular	651lux - 1000lux	0%	0%	0%
ruim	1000lux	0%	0%	0%
Porcentagem total adequada		2,1%	0%	83,3%

Fonte: autores.

Através das análises verifica-se por meio das zonas de distribuição das iluminâncias a falta de qualidade lumínica do ambiente quando não é acionada a iluminação artificial, tanto no período da manhã quanto da tarde, as aferições de iluminâncias somente com a iluminação natural se mostraram baixas em todo o ambiente, se classificando na categoria de “ruim”. A iluminação artificial se qualificou como “bom”, uma vez que mais de 70% do ambiente está dentro das exigências lumínicas dos usuários.

5 CONCLUSÕES

Por meio da análise das iluminâncias foi possível medir os níveis incidência lumínica, demonstrando que os valores obtidos no ambiente, na maioria das vezes não atingiram o valor de 750 lux estabelecido pela NBR 8995/2013. Observou-se que o ambiente analisado apresenta baixa qualidade de iluminação natural em todo o período do dia, apontando a necessidade de associar o sistema de iluminação artificial com a iluminação natural.

Evidencia-se a relevância do estudo que por meio dos instrumentos de análise do conforto lumínico em ambientes internos é possível pontuar os impactos que incidem sobre a concepção das edificações de ensino, devendo estas considerarem estratégias de iluminação natural para otimizar a qualidade da iluminação e por conseguinte promover o conforto lumínico aos usuários, apontando para o que pode ser melhorado e o que deve ser mantido. Como visto, os sistemas de iluminação com o melhor aproveitamento da luz natural associado com sistemas mais eficientes de iluminação artificial, além de viabilizarem a qualidade ambiental dos ambientes, melhoram: a direção e a distribuição da iluminação no interior dos espaços e a eficiência energética das edificações, sendo este o passo seguinte para a pesquisa de mestrado em andamento.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade – Curso de Mestrado Profissional (PPGEES) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] LIM, G.-H. et al. Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 175-185, 2017.

[2] SUK, J. Y. Luminance and vertical eye illuminance thresholds for occupants' visual comfort in daylit office environments. **Building and Environment**, v. 148, p. 107-115, 2019.

[3] KHLEDJ, S.; BENCHEIKH, H. Impact of a Retrofitting Project on Thermal Comfort and Energy Efficiency of a Historic School in Miliana, Algeria. **International Journal of Architectural Heritage**, v.15, n. 3, p. 407-425, 2021.

[4] SHAFAVI, N. S.; TAHSILDOOST, M.; ZOMORODIAN, Z. S. Investigation of illuminance-based metrics in predicting occupants' visual comfort (case study: Architecture design studios). Solar Energy, v. 197, p. 111-125, 2020.

[5] VÁSQUEZ, A.N.G.; FELIPPE, M.L.; PEREIRA, F.O.R.; KUHNEM, A. Luminous and visual preferences of young children in their classrooms: Curtain use, artificial lighting and window views. **Building and Environment**, v. 152, p.59-73. 2019.

[6] WANG, C.; ZHANG, F.; WANG, J.; DOYLE, J. K.; HANCOCK, P. A.; MAK, C. M.; LIU, S. How indoor environmental quality affects occupants' cognitive functions: A systematic review. **Building and Environment**, v. 193, p. 107647, 2021.

[7] SUK, J. Y. Luminance and vertical eye illuminance thresholds for occupants' visual comfort in daylit office environments. **Building and Environment**, v. 148, p. 107-115, 2019.

[8] SALAMATI, M.; MATHUR, P.; KAMYABJOU, G.; TAGHIZADE, K. Daylight performance analysis of TiO2@W-VO2 thermochromic smart glazing in office buildings. **Building and Environment**, v. 186, p. 107351, 2020.

[9] KONG, Z.; UTZINGER, D. M.; FREIHOEFER, K.; STEEGE, T. The impact of interior design on visual discomfort reduction: A field study integrating lighting environments with POE survey. **Building and Environment**, v. 138, p. 135-148, 2018.

[10] RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. **Building and Environment**, v. 127, p. 23-36. 2018.

[11] LECCESE, A.; SALVADORI, G.; BURATTI, C.; BELLONI, E. A method to assess lighting quality in educational rooms using analytic hierarchy process. **Building and Environment**, v. 168, p. 106-501. 2020.

[12] ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M. Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics. **Energy and Buildings**, v. 134, p. 80-93, 2017.

[13] LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Eletrobras/Procel, 2014.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995**: 1. Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

[15] KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural**: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. 194 f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2002.

[16] LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.