AVALIAÇÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO E ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Caroline Borges Pilenghi (1); Bianca Lucas (2); Monica Wilges (3); Eduardo Grala da Cunha (4);

(1) Engenheira Eletricista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, carolinepilenghi@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas.
(2) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, biancaplucas@yahoo.com.br, Universidade Federal de Pelotas.
(3) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, monicawilges@hotmail.com, Universidade Federal de Pelotas.
(4) Arquiteto e Urbanista, Doutor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, eduardogralacunha@yahoo.com.br, Universidade Federal de Pelotas.

RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação do projeto luminotécnico de uma sala de aula localizada no prédio do anexo FAUrb – NZEB UFPel, propondo uma diminuição de luminárias, do projeto originado pelo método dos lúmens, sem comprometer os valores de iluminância e uniformidade recomendados pela norma NBR 8995/2013. É proposto uma redução no afastamento das luminárias, com o objetivo de aumentar o conforto e segurança visual do ambiente. Foi efetuado, também, uma análise de dimerização da iluminação artificial conforme disponibilidade da iluminação natural, realizando simulações no *Dialux Evo 7.0*, com base na norma NBR 15215-4, com o objetivo de avaliar a estimativa de economia de energia elétrica gerada no período recomendado. Os resultados mostraram a possibilidade de efetuar a redução do número de luminárias, inicialmente concebido pelo método dos lúmens, sem comprometer os valores mínimos de iluminância, e foi possível aumentar o valor de uniformidade através do afastamento das luminárias na distância entre coluna/parede. Nas simulações de análise de dimerização, nota-se que na utilização da iluminação artificial como suplemento da iluminação natural, há uma redução estimada de consumo de energia de 61% no dia 22/06 e 76% no dia 22/12.

Palavras-chave: Iluminação natural. Iluminação artificial. Iluminância. Simulação computacional.

ABSTRACT

This work presents the evaluation of the lighting design of a classroom (Atelier 3) located in the FAUrb – NZEB UFPel annex building, proposing a reduction in the number of light fixtures, based on the design based on the lumen method, without compromising the recommended illuminance and uniformity values. by standard NBR 8995/2013.A reduction in the spacing of the luminaires is proposed, with the aim of increasing the comfort and visual safety of the environment. An analysis of the dimming of artificial lighting was also carried out according to the availability of natural lighting, performing simulations in the Dialux software, based on the NBR 15215-4 standard, with the objective of evaluating the estimated savings of electricity generated in the recommended period. The results showed the possibility of reducing the number of luminaires, initially conceived by the lumen method, without compromising the minimum illuminance values, and it was possible to increase the uniformity value by moving the luminaires apart in the distance between column/wall. In the dimming analysis simulations, it was noticed that, when using artificial lighting as a supplement

to natural lighting, there is an estimated reduction in energy consumption of 61% on 06/22 and 76% on 22/12.
Keywords: Natural lighting. Artificial lighting. Iluminance. Computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O estudo aqui apresentado partiu das premissas que a eficiência energética em uma edificação se relaciona à obtenção de conforto ambiental com menor consumo de energia elétrica e que é preciso considerar a utilização da luz natural como possibilidade para reduzir consideravelmente o consumo dessa energia. Levou em conta também que o uso da luz solar interfere no conforto visual e que através da arquitetura pode-se aproveitar ou não essa luz nas edificações.

A proposta foi então estudar e comparar os resultados da simulação do projeto luminotécnico utilizando o método tradicional de distribuição de luminárias e da simulação com uma nova configuração reduzindo o afastamento das luminárias da parede e integrando da luz natural como complementação.

É importante salientar que no projeto luminotécnico a definição da quantidade de luminárias, para a iluminação artificial, é realizada através do método de Lúmens, por este ser de fácil utilização (BOYCE, 2012). É definido um fluxo luminoso total para fornecer a iluminância necessária ao ambiente, conforme tarefa desempenhada e o número de luminárias que proporcione este fluxo. Não existe uma regra para a distribuição das luminárias, em geral adota-se critérios de espaçamento uniforme em função da geometria do ambiente e do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas (MORAES, L. N.; CLARO, A., 2013).

Com relação a utilização da iluminação natural integrada à iluminação artificial, as propostas comumente utilizadas são baseadas em zonas luminosas, ou seja, zonas que apresentam a mesma distribuição de iluminação natural no ambiente, com o intuito de proporcionar economia de energia elétrica pela utilização da iluminação artificial de maneira suplementar à natural (ROBBINS, 1986).

Na esteira do apresentado acima o trabalho desenvolvido teve como objetivo analisar os resultados do projeto luminotécnico simulado na sala de aula, denominada Ateliê 3, do prédio do anexo FAUrb – NZEB UFPel, e, a partir dos achados, propor uma distribuição de luminárias diferente ao obtido pelo método dos lúmens, com redução no distanciamento das luminárias entre coluna/parede, para melhorar os níveis de iluminância e uniformidade, permitindo, inclusive uma redução no número de luminárias, sem comprometer os valores mínimos recomendados pela norma NBR 8995/2013. Outro fator analisado foi o aproveitamento e associação da iluminação natural na otimização da iluminação do ambiente, por meio de um sistema dimerizável, tendo em vista maior eficiência energética e maior conforto visual.

Tomou-se como referência para o desenvolvimento da simulação a norma NBR 15215-4 (2005). O item referente a iluminação natural, trata da Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações, método de medição, recomendadas para casos que não seja possível o monitoramento da luz natural ao longo do ano. É necessário verificar as iluminâncias nas condições de céu mais representativas do local em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro), em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho) e de duas em duas horas a partir do início do expediente (horário legal).

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é aprimorar o projeto luminotécnico de uma sala de aula, buscando uma abordagem mais otimizada, econômica e eficiente. Para isso, pretende-se reduzir o número de luminárias utilizadas, adotar uma distribuição alternativa ao método convencional, e ao mesmo tempo, garantir os níveis recomendados de iluminância e uniformidade estabelecidos pela norma. Além disso, será explorado o uso da iluminação artificial como complemento à iluminação natural, utilizando técnicas de dimerização por meio do software Dialux Evo 7.0, visando minimizar o consumo de energia elétrica e proporcionar um maior conforto visual.

3. MÉTODO

Para atingir os objetivos deste trabalho, a metodologia foi dividida nas seguintes etapas: definição do objeto de estudo, modelagem do ambiente e dispositivos de sombreamento; simulação do projeto luminotécnico, utilizando o método tradicional de distribuição das luminárias e, posteriormente, com uma nova configuração onde foi reduzido o afastamento das luminárias da parede; simulação de disponibilidade de luz natural, modelo de céu médio, nos horários das 8h às 17h, nos dias 22/06 e 22/12; simulação da iluminação artificial utilizando a dimerização, buscando melhor aproveitamento da luz natural com menor consumo de energia elétrica, a fim de efetuar uma análise do conforto visual e avaliação da economia gerada. Todas as simulações foram realizadas no *software Dialux Evo7.0*.

O *software Dialux Evo 7.0* é uma ferramenta que permite importar e exportar arquivos para qualquer programa CAD em formatos como DWG e DXF, efetuar simulação de iluminação artificial e natural, interna ou externa ao ambiente, além de disponibilizar o uso de cenas de luz que permitem definir as características de cada fonte luminosa e integrar a iluminação natural e artificial. Este software utiliza o método dos lúmens para o cálculo luminotécnico.

3.1. Definição do objeto de estudo

O objeto de estudo desse trabalho faz parte do edifício público, ainda não construído, anexado a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. O anexo é chamado de FAURB – NZEB e foi um dos quatro projetos escolhidos na chamada pública Procel Edfica NZEB Brasil no final do ano de 2019. O projeto possui conceito *Near Zero Energy Building* (NZEB), ou seja, uma edificação com balanço energético anual próximo a zero e que possui uma fonte de energia renovável. Nesse artigo, a sala de aula (Ateliê 3) analisada possui uma área 84,95m², está situada no terceiro pavimento e é equipada com sistema de automação para iluminação.

3.2.Modelagem do ambiente e dos dispositivos de sombreamento

A modelagem da edificação e da sala de aula, denominada Ateliê 3, foi realizada no *software Dialux Evo 7.0*. A Figura 1 demonstra a planta baixa da sala, de formato retangular com dimensões de 7,65m x 11,00m e pé direito de 3,09m, resultando em uma área de 84,94m².

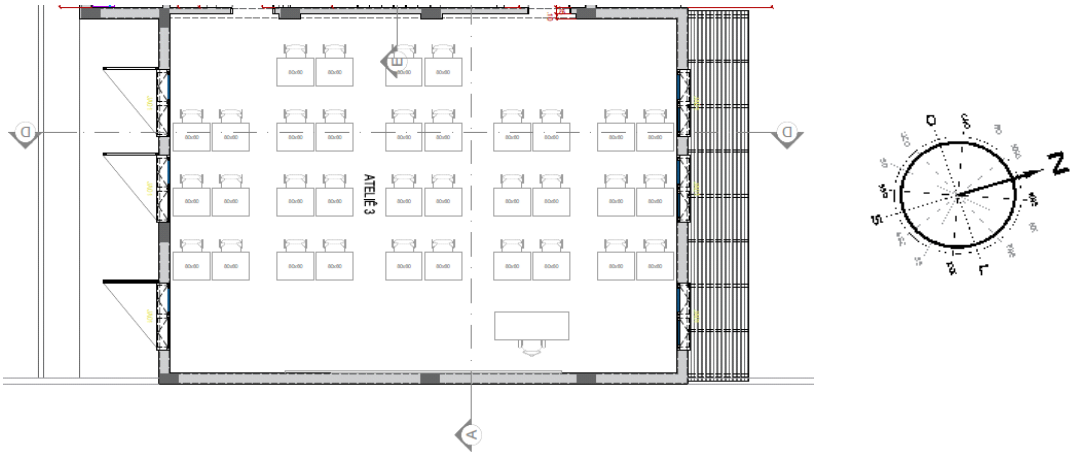


Figura 1 - Planta baixa modulada no *software Dialux Evo 7.0* (AUTORES, 2023).

No detalhamento do projeto arquitetônico são especificados dois tipos de brise: brise a 45° paralelo em painel fixo horizontal, usado na fachada NNE e brise em placa cimentícia fixo horizontal e vertical, utilizado na fachada SSO, a qual se justifica por se tratar de uma fachada sul-sudoeste onde se obtêm ganhos solares no verão a partir das 13horas, conforme carga solar latitude 30º sul. A Figura 2 apresenta as visualizações dos cortes e elevações dos respectivos brises em planta e na modelagem do *software*.

(A) (B) (C) (D)

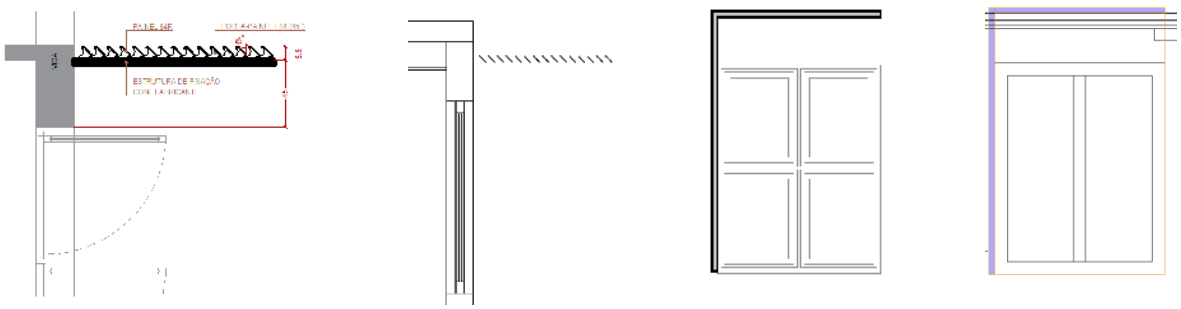


Figura 2 - Modelagem dos brises: (A) Vista do corte DD em DWG, (B) Vista do corte DD no Dialux, (C) Vista corte DD de elevação do brise em placa cimentícia em DWG e (D) Vista corte DD de elevação do brise em placa cimentícia no Dialux (AUTORES, 2023).

As janelas da fachada NNE, na sala do terceiro pavimento, possuem persianas para evitar contraste excessivo da exposição direta da luz do sol próximas às esquadrias. O modelo utilizado foi retirado do catálogo disponível no *software Dialux Evo 7.0*. Para o projeto luminotécnico foram utilizadas as luminárias da marca ITAIM, tubular led 2x T26 18W.

3.3. Simulação do projeto luminotécnico

Para a distribuição automática das luminárias foi utilizado o padrão para ambientes retangulares, sendo a distância entre as luminárias o dobro da medida existente entre as paredes e as luminárias. Dessa maneira o *software* estabeleceu cinco linhas de luminárias contendo quatro luminárias em cada linha, conforme Figura 3.

A norma NBR 8995 (2013) estabelece as iluminâncias mínimas para ambientes de trabalho e especifica que para sala de computadores determina-se um valor mínimo de iluminância médio de 500 lux e uniformidade de $U \geq 0,6$, com um fator de manutenção igual a 0,8 (ambiente limpo, fonte: ITAIM). Na simulação com a distribuição das luminárias automáticas foi possível atingir os valores de 830 lux de iluminância média e 0,66 de uniformidade. Portanto, foram atingidos valores maiores que os mínimos estabelecidos pela norma considerando, inclusive, a iluminação nas áreas de tarefas individuais.

Tendo como base que os valores de iluminância e uniformidade ultrapassaram os valores mínimos recomendados pela norma, foi possível propor uma nova configuração reduzindo a quantidade de luminárias. Sendo assim, eliminando uma linha de luminárias, totalizando a supressão de quatro luminárias (Figura 3). As novas medidas dos espaçamentos estão nas figuras abaixo.

(A) (B)

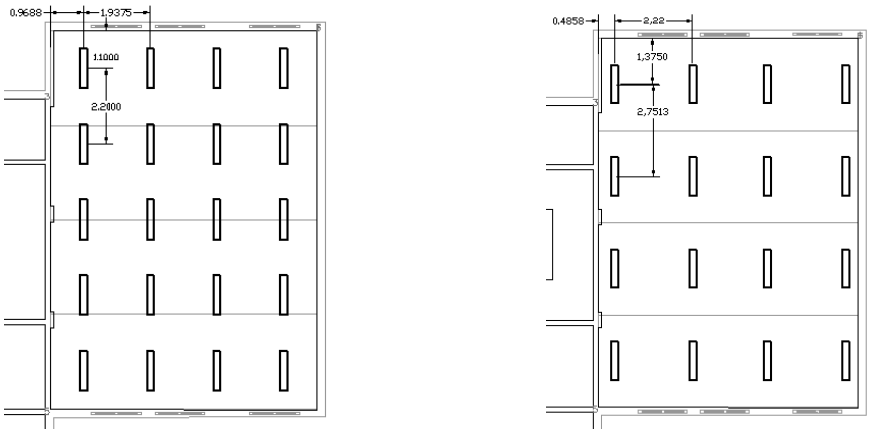


Figura 3 - Distribuição das luminárias: (A) Distribuição original; (B) Nova distribuição (AUTORES, 2023).

Considerando as pesquisas de Albuquerque (2007), Cassol *et al.* (2011) e Shikder *et al.* (2010) que demonstram uma divergência na relação da uniformidade e distribuição das luminárias no teto, e do estudo de Moraes e Claro (2013) que propõe diferentes reformulações de espaçamento, orientação e distribuição das luminárias no comportamento da iluminação, foi efetuado uma redução do afastamento das luminárias próximo das paredes. Com esta nova configuração os valores de iluminância média e uniformidade foram de 659 lux e 0,72, respectivamente, mantendo-se o nível mesmo aplicando o fator de manutenção.

3.4.Simulação da disponibilidade da luz natural

A simulação da disponibilidade da luz natural foi realizada nos dias 22 de junho e 22 de dezembro, com um modelo de céu médio, nos horários das 8h às 17h, baseada na norma NBR 15215-4 de 03/2005.

A norma prevê a determinação de uma malha de pontos de medição a partir da distribuição espacial da luz natural no ambiente, cujas áreas com características de iluminação semelhantes são divididas em zonas de controle de iluminação natural. Segundo Robbins (1986) não existe uma regra para estabelecer as zonas, uma simples observação da distribuição espacial da luz natural no ambiente pode ser empregada. Desta forma, devido a distribuição espacial da luz solar na sala, optou-se em dividir o ambiente em 4 zonas, obtendo-se 40 pontos de medição no total, conforme exemplo da Figura 4.

(A) (B)

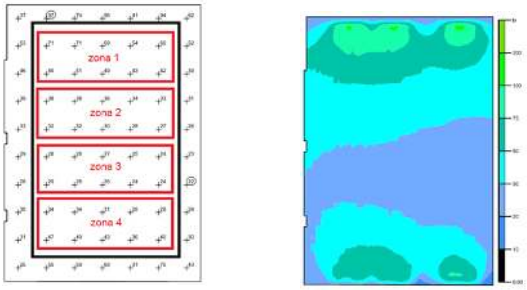


Figura 4 – Simulação no *Dialux Evo 7.0* às 8h do dia 22/06: (A) Grelha de valores; (B) Distribuição de iluminância (AUTOR, 2023).

A simulação da distribuição espacial da luz no ambiente, nos outros horários, do dia 22 de

junho, pode ser verificada na Figura 5 e do dia 22 de dezembro na Figura 6.

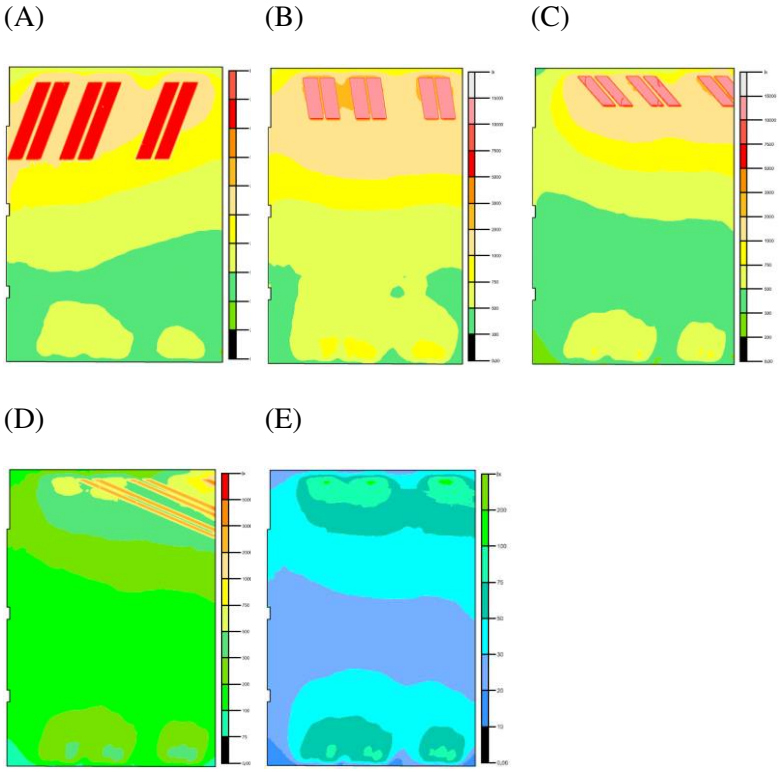


Figura 5 - Simulação no *Dialux Evo 7.0* do dia 22/06: (A) 10 horas; (B) 12horas; (C) 14 horas; (D) 16horas; (E)17horas (AUTORES, 2023).

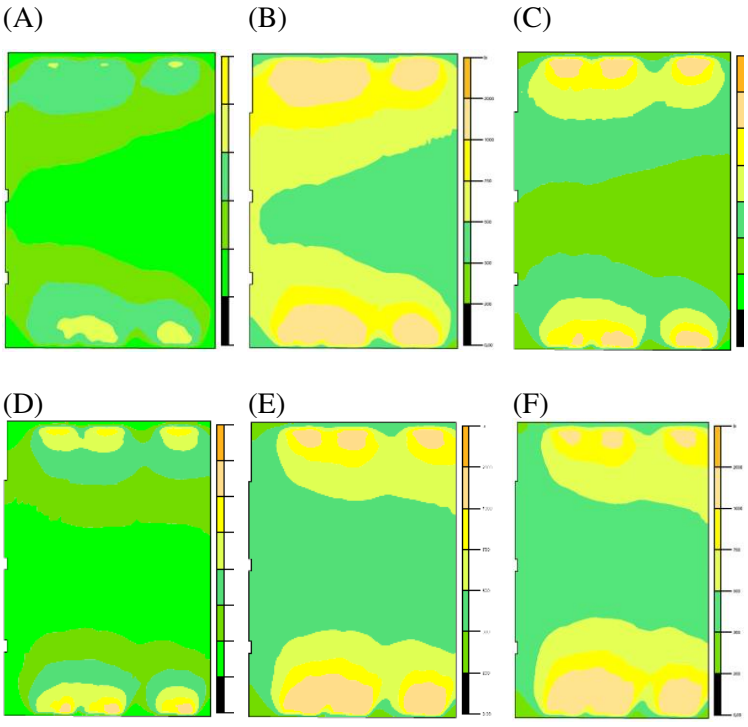


Figura 6 - Simulação no *Dialux Evo 7.0* do dia 22/12: (A) 10horas; (B) 12horas; (C) 14 horas; (D) 16horas; (E)18horas (AUTORES, 2023).

De acordo com Pereira e Souza (2005), o rendimento visual tende a crescer a partir de 10 Lux com o logaritmo do iluminamento até cerca de 1000 Lux, enquanto a fadiga visual se reduz nessa faixa. A partir desse ponto, os aumentos do iluminamento não provocam melhorias sensíveis no rendimento visual e a fadiga começa a aumentar. Dessa forma, recomenda-se usar um nível de iluminamento máximo de 2000 Lux. Este valor será o limite de iluminância e, caso seja ultrapassado, as persianas serão gradativamente fechadas.

3.5.Simulação da iluminação artificial com dimerização, ANÁLISE do conforto visual e avaliação da economia de energia elétrica gerada.

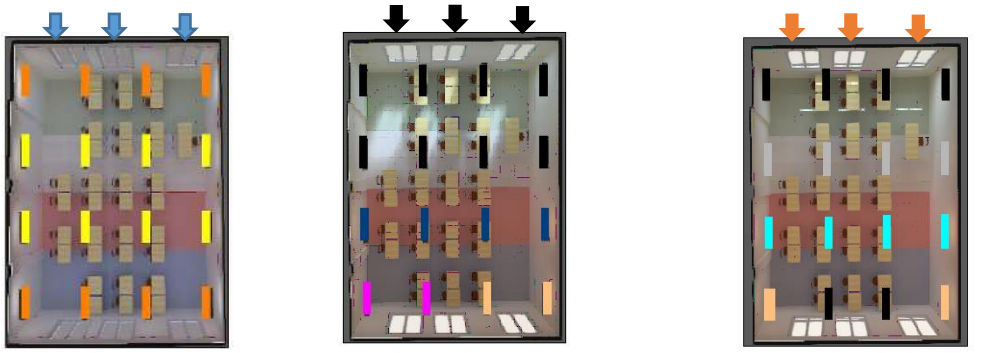
A dimerização da iluminação foi realizada para a nova configuração de distribuição das luminárias, conforme destacado na Figura 7. Para o melhor entendimento do estudo, foi desenvolvida uma legenda de cores para determinar a dimerização de cada luminária (tabela 1). O percentual associado varia de 0 a 100%, com acréscimo de 10% para cada cor.

Tabela 1: Legenda de cores do percentual de potência das luminárias

Legenda de cores	
	90% da potência da luminária
	80% da potência da luminária
	70% da potência da luminária
	60% da potência da luminária
	50% da potência da luminária
	40% da potência da luminária
	30% da potência da luminária
	20% da potência da luminária
	10% da potência da luminária
	0% da potência da luminária
⇩	Persianas 100% abertas
⇩	Persianas 100% fechadas
⇩	Persianas 90% fechadas
⇩	Persianas 80% fechadas

Os cenários de iluminação foram configurados a partir dos grupos de luminárias disponíveis *no software Dialux Evo 7.0*. Estes grupos foram criados conforme as zonas de iluminação natural, ou seja, 4 luminárias por grupo. Portanto, de acordo com o nível de iluminância disponibilizado pela luz natural no ambiente, foram determinados os percentuais de potência de cada luminária de forma que fosse possível atingir o valor médio de 500 lux de iluminância e melhor índice de uniformidade. As persianas foram acionadas conforme o nível de iluminância acessível ao ambiente levando em consideração o nível de iluminamento máximo permitido de 2000 Lux para um rendimento visual adequado. Na Figura 7 é possível observar o resultado da dimerização para o dia 22 de junho com os percentuais de potência das luminárias e acionamento das persianas, assim como os valores de iluminância média e uniformidade. Na Figura 8 obteve-se o resultado da dimerização para o dia 22 de dezembro, com os respectivos valores de iluminância média e uniformidade.

(A) Em= 551 lux e U=0,71 (B) Em= 703 lux e U=0,46 (C) Em= 586 lux e U=0,52



(D) Em= 668 lux e U=0,48 (E) Em= 540 lux e U= 0,62 (F) Em= 540 lux e U= 0,72

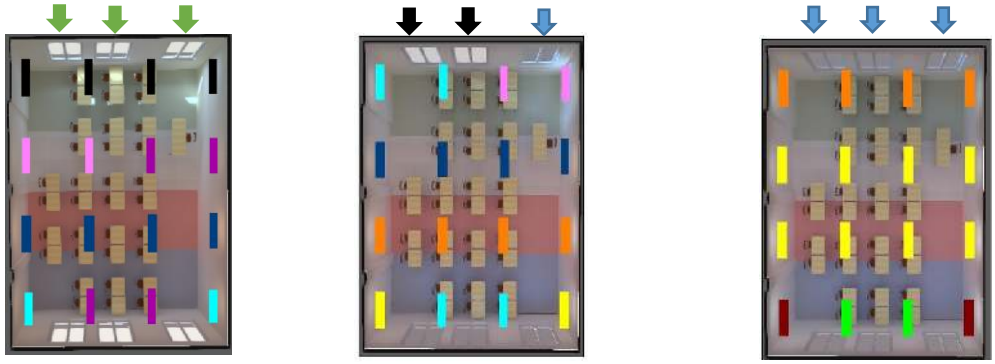
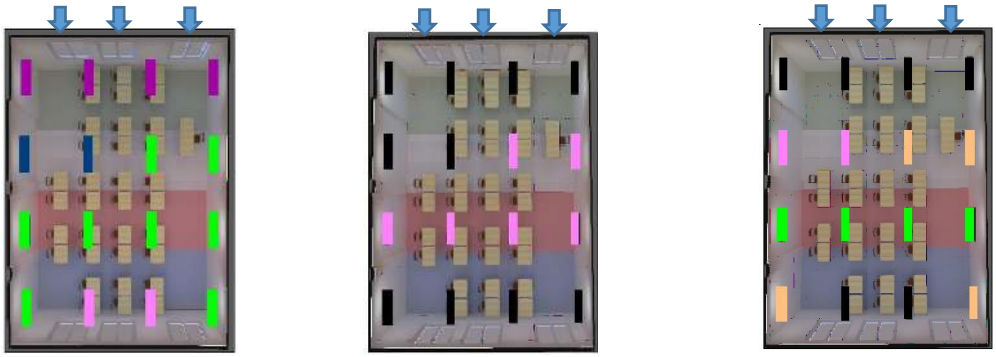


Figura 7 - Simulação da dimerização das luminárias para o dia 22/06 às (A) 8h, (B) 10h, (C) 12h, (D) 14h, (E) 16h e (F) 17h (AUTORES, 2023).

(A) Em= 557 lux e U=0,55 (B) Em= 742 lux e U=0,44 (C) Em= 586 lux e U=0,52



(D) Em= 668 lux e U=0,48 (E) Em= 540 lux e U= 0,62 (F) Em= 540 lux e U= 0,72

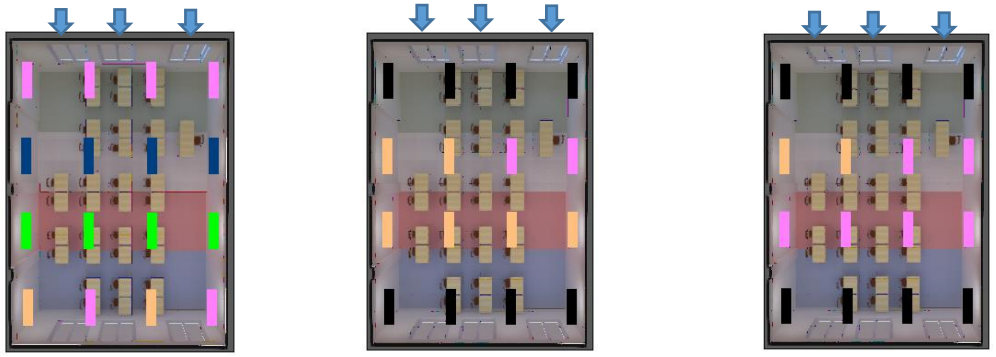


Figura 8 - Simulação da dimerização das luminárias para o dia 22/12: (A) 8h, (B) 10h, (C) 12h, (D) 14h, (E) 16h e (F) 17h

A estimativa de consumo de energia elétrica (kWh) foi calculada através do somatório da multiplicação do percentual de potência (dimerização), potência da luminária e tempo utilizado. Com isso, os resultados de estimativa de consumo de energia elétrica e percentual de economia (destacados em vermelho) com e sem dimerização podem ser observados na Figura 9.

(A) (B)

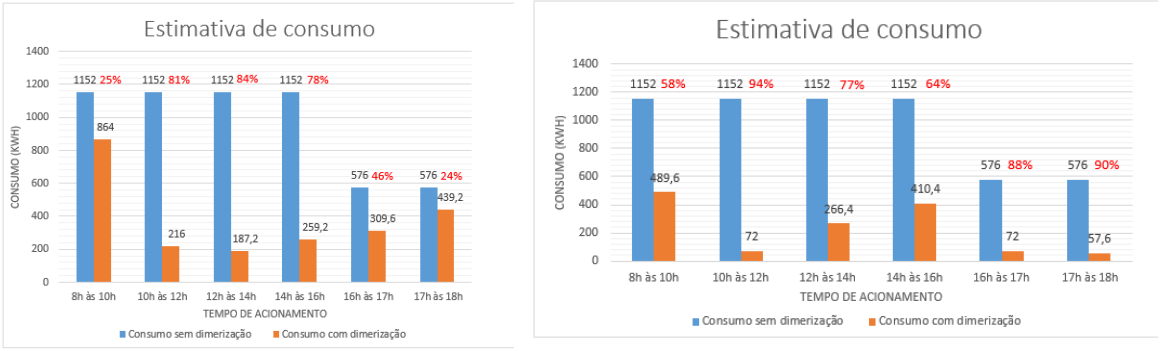


Figura 9- Consumo de energia elétrica com e sem dimerização: (A) Dia 22/06; (B) 22/12 (AUTORES, 2023).

4. RESULTADOS

É possível afirmar que com a diminuição do afastamento das luminárias entre parede/coluna, houve a possibilidade de redução no número de luminárias, sem comprometer os níveis de iluminância e uniformidade. Além de manter o nível de iluminância acima de 500 lux, o valor de uniformidade, sem a aplicação dos cenários de luz natural, foi aumentado. Melhorando o conforto visual e garantindo que o espaço tenha a uniformidade da luz necessária para que tudo fique perfeitamente visível no ambiente. Desta forma, nos projetos luminotécnicos, torna-se viável uma melhor avaliação da distribuição das luminárias, visando uma maior eficiência e conforto, sem limitar-se a utilização do método de cálculo, padrão, comumente utilizado.

Para que haja um conforto dos usuários em relação ao nível de iluminância na sala foi necessário fazer o fechamento parcial ou total das persianas da fachada NNE, nos horários das 10h, 12h, 14h e 16h, da simulação do dia 22 de junho, devido ao nível de iluminância ter ultrapassado o valor limite de 2000 lux nos pontos próximos as aberturas. A partir desse valor sabe-se que ocorre a perda do rendimento visual e o aumento da fadiga.

Outro ponto a salientar é que a utilização da luz artificial como suplemento da luz natural ocasiona uma redução total de consumo de energia em 61% no dia 22/06 (solstício de inverno) e 76% no dia 22/12 (solstício de verão) no horário de expediente. Esse foi um importante resultado, à que se torna cada vez mais necessário, pois, mostra que com a interversão da luz natural e dimerização da luz artificial obtém-se eficiência com baixo consumo de energia elétrica.

O valor de uniformidade média recomendado pela norma, foi atingido em apenas três horários das simulações da iluminação artificial dimerizável. Isso se justifica pelo motivo da luz natural ser pouco uniforme em horários com maior intensidade e incidência de luz, nesse momento o valor médio da iluminância aumenta, diminuindo assim o valor da uniformidade, já que seu valor é obtido através da relação entre iluminância mínima e iluminância média.

Nestas simulações foi possível observar, pelo acionamento das persianas, por exemplo, que os dispositivos de sombreamento, brises, foram projetados de forma a se obter maior incidência da luz solar no inverno e menor no verão dentro do ambiente. Essa é uma condição importante pois possibilita a utilização da iluminação natural, sem comprometer o conforto térmico dentro da sala.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que com a nova proposta de layout das luminárias foi possível diminuir o número de luminárias sem afetar os índices de iluminância sugeridos pela norma, assim como aumentar o índice de uniformidade de luz no ambiente trazendo maior conforto visual e ainda, trazendo economia no consumo de energia elétrica com reduções aos gastos públicos.

A ideia de economia está vinculada diretamente ao uso eficiente da energia elétrica. O sistema de iluminação artificial integrada a iluminação natural proporciona esta eficiência, possibilitando suplementar a iluminância disponibilizada pela luz natural e mantendo constante os níveis de iluminamento ao ambiente.

Na simulação alcançada, a determinação dos cenários de luz (dimerização) e das potências de cada ponto luminoso é realizada manualmente, e por isso, em alguns resultados a iluminância média ultrapassou o índice de 500 lux recomendado pela norma para este tipo de atividade. Contudo, os valores de economia de energia elétrica alcançados foram significativos, indicando que na prática valores maiores poderão ser alcançados, pois esta dimerização será automatizada.

Por fim, é importante realçar que o projeto luminotécnico é fundamental em um projeto arquitetônico, o projetista deve estar atento a usar todos os recursos possíveis e disponíveis para unir eficiência e conforto, otimizando o uso das luminárias, sem prejudicar os índices de iluminância e uniformidade do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013. Parte 1: interior.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 15215-4**: Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

ALBUQUERQUE, A. T. **Uma Metodologia Para Otimização do Projeto de Iluminação Artificial Aplicando Recozimento – Manaus**. Manaus, 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

BOYCE, P. **The Measure of Quality: just how do we define good lighting?** CIBSE Journal, dec. 2012.

CASSOL, F. et al. **Multi-Objective Optimization as a New Approach to Illumination Design of Interior Spaces. Building and Environment**, v.46, n. 2, p. 331-338, 2011.

MORAES, L. N.; CLARO, A. **Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 59-74, jul./set. 2013.

PEREIRA, F. R.; SOUZA, M. B. (2005**). Iluminação. Apostila de conforto ambiental – Iluminação.** UFSC: Florianópolis.

ROBBINS. C. L. **Daylighting, Design and Analysis**. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, 1986.

SHIKDER, S.; MOURSHED, M.; PRICE, A. **Luminaire Position Optimisation Using Radiance Based Simulation: a test case of a senior living room**. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, Nottingham, 2010.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.