

Retrofit luminotécnico como contribuição para um edifício Net Zero Energy Building no sul do Brasil

Lighting retrofit as a contribution to make a Net Zero Energy Building in southern Brazil

Sidnei Matana Júnior(1); Marcos Antonio Leite Frandoloso(2); Vandrê Barbosa Brião(3)

1 Arquiteto e Urbanista, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS.

E-mail: sidneimatana@gmail.com

2 Arquiteto e Urbanista, Doutor Internacional em Arquitetura, Energia e Meio Ambiente, Instituto de Tecnologia/ITec, Universidade de Passo Fundo/UPF, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: frandoloso@upf.br

3 Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia Química, Instituto de Tecnologia/ITec, Universidade de Passo Fundo/UPF, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: vandre@upf.br

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 12, n. 2, p. 56-72, julho-dezembro, 2023 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i2.4953>

Artigo convidado do



IX Seminário Internacional de
Construções Sustentáveis

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

Os edifícios estão entre os maiores consumidores de energia elétrica devido ao sistema de iluminação artificial, que impacta a produtividade e o bem-estar em ambientes internos. O retrofit destes sistemas com equipamentos mais eficientes pode reduzir o consumo e melhorar a habitabilidade do edifício. Neste contexto, esta estratégia contribui para o conceito Net Zero Energy Buildings (NZEB), para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS7) da Agenda 2030 e os processos de descarbonização. O estudo tem como objetivo desenvolver uma proposta de retrofit de iluminação como parte de uma estratégia de conversão de um prédio universitário em um NZEB. Foi realizado um levantamento do sistema de iluminação, verificando os índices de iluminância e estimando o consumo atual de energia; também, foram desenvolvidas simulações em software com modelagem de edificações em BIM. A proposta de retrofit se mostrou viável e conseguiu reduzir o consumo do sistema em 53,93%, com payback em 4 anos. Por meio do retrofit, será possível reduzir os custos de implantação de energias renováveis e atender aos níveis de iluminância exigidos. Os retrofits podem acelerar a implementação do NZEB devido à fácil substituição das lâmpadas e ao tempo de retorno favorável; a redução do consumo requer um sistema renovável de menor capacidade, contribuindo para os aspectos chave do ODS 7; além de promover benefícios de saúde para os usuários do edifício.

Palavras-chave: Eficiência energética; Iluminação artificial; Dialux; BIM; NZEB.

Abstract

Buildings are among the biggest electricity consumers due to the artificial lighting system, which impacts productivity and well-being in indoor environments. Retrofitting these systems with more efficient equipment can reduce consumption and improve the building's habitability. In this context, this strategy contributes to the concept of Net Zero energy buildings (NZEB) and the 2030 Agenda Sustainable Development Goal 7 (SDG7) and decarbonization processes. The study aims to develop a proposal for a lighting retrofit as part of a strategy to convert a university building into an NZEB. A survey of the building's lighting system was carried out, verifying illuminance indices and estimating the current energy consumption; it was developed simulations in lighting software with building modeling in BIM. The retrofit proposal proved viable and could reduce system consumption by 53.93%, with a 4-year payback. Through the retrofit, it will be possible to reduce costs for renewable energy implementation and meet the required illuminance levels. Lighting retrofits can speed up the NZEB implementation due to easy lamp replacement and favorable payback time; the reduction in consumption makes it necessary to have a renewable system of lower capacity, contributing to SDG 7 key aspects; and promoting health benefits for building users.

Keywords: Energy efficiency; Artificial lighting; Dialux; BIM; NZEB.

1 Introdução

No contexto do Objetivo 7 da Agenda 2030, a meta 7.3 busca dobrar a taxa mundial de eficiência energética (ONU, 2020). A eficiência energética pode ser o centro de estratégias de desenvolvimento econômico, segurança e sustentabilidade, de maneira que a redução da pegada ecológica dos sistemas energéticos pode promover a segurança no suprimento de energia (IEA, 2019). No setor da construção civil tem papel relevante na redução do desperdício de recursos esgotáveis, permitindo reduzir emissões quando aliada a estratégias de energia renovável (TEBBOUCHE; BOUCHAIR; GRIMES, 2017).

As estratégias de eficiência energética em edificações podem ser definidas como técnicas para reduzir o consumo, mantendo o mesmo nível de uso, através do aumento da razão entre energia produzida e energia consumida, concentradas na fase de uso da edificação, a fim de reduzir custos de manutenção e operação, resultando também em uma redução de custos (NETO *et al.*, 2019). Também compreende incorporar fontes de energia renovável (contribuindo na transição energética e descarbonização), substituir ou atualizar sistemas do edifício incluindo fachada, esquadrias e vedações ou atualizar sistemas de iluminação, condicionamento e abastecimento fornecem diferentes níveis de economia de energia.

Uma única medida, como atualização de um sistema ou componente construtivo pode ser designada como pequeno *retrofit*, sendo que a implantação de uma a três medidas pode prover até 30% de economia de energia (D'AGOSTINO; CUNIBERTI; MASCHIO, 2017). Um *retrofit* menos abrangente pode ser utilizado em casos de orçamentos limitados ou quando há apenas alguma condicionante a ser melhorada, como a atualização do sistema de iluminação artificial, se o prédio já possui aproveitamento da luz e ventilação natural e um desempenho satisfatório relativo a conforto. A renovação ou *retrofit* profundo é feito através de medidas mais abrangentes, como a renovação de diversos sistemas ao mesmo tempo (LEIVO *et al.*, 2017). Além disso, para Murto *et al.* (2019) a adoção de *retrofit* de edificações em larga escala pode transformar os usuários em agentes da mitigação das mudanças climáticas, sendo a complexidade desse processo solucionada por esforços conjuntos entre pesquisa, mercado e governos.

O consumo de iluminação artificial é responsável por aproximadamente 19% do consumo de eletricidade de uma edificação, sendo que edifícios com escritórios representam maior consumo de energia devido a este sistema. De acordo com Carletti *et al.* (2017), o aproveitamento da luz natural é fundamental para o bem-estar e produtividade dos usuários, de forma integrada a iluminação artificial, reduzindo o consumo de 30% a 77%, sendo o consumo médio anual de energia elétrica do sistema de iluminação de 21 kWh/m²/ano na Europa, reduzido para 5 kWh/m²/ano a 9 kWh/m²/ano quando da integração com a iluminação natural.

No Brasil, estudos vêm sendo realizados com objetivo de avaliar a redução de consumo através do *retrofit*. O estudo de Santos (2014), obteve uma redução de 46,9% no consumo de energia e taxa de retorno de 3 anos para um edifício público com 507m² em Canoas, RS, além da proposta atingir os níveis de iluminância pela substituição de lâmpadas e aproveitamento de luz natural. Bortolin (2015) obteve uma redução de 30,48% no consumo de 3 blocos de edificações de uma instituição de ensino superior na serra gaúcha, indicando ainda a troca gradual dos equipamentos para reduzir o tempo de *payback*. O estudo realizado no edifício V2 da Universidade de Passo Fundo (MATANA JÚNIOR, 2019) obteve 41,16% de redução no consumo do sistema de iluminação, além de atender os parâmetros luminotécnicos, a proposta obteve tempo de retorno entre 6 e 7 anos, considerado viável dada a vida útil dos equipamentos.

A inserção do conceito de *Net Zero Energy Buildings* (NZEB) – edifícios autossuficientes em energia – no *retrofit* de edificações existentes melhora os níveis de eficiência energética e integra sistemas de fontes renováveis, reduzindo a dependência da infraestrutura de energia externa, prolongando a vida útil dos edifícios e produzindo a regeneração do espaço urbano de forma sustentável (AKSAMIIJA, 2015). O objetivo deste estudo é avaliar as condições do sistema de iluminação artificial de um edifício e propor o *retrofit* visando a melhoria do conforto visual e redução do consumo, como parte das estratégias para tornar o edifício autossuficiente em energia.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

O objeto de estudo está localizado em Passo Fundo, uma cidade de médio porte, com população estimada de 206.103 habitantes, no norte do estado Rio Grande do Sul, região sul do Brasil (IBGE, 2022). A figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Matana Júnior (2022).

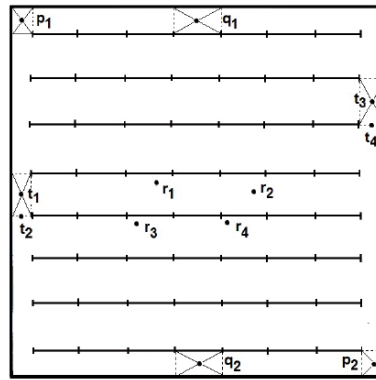


O objeto de estudo é o edifício L1 da Universidade de Passo Fundo (UPF), utilizado pelos cursos de graduação em Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e também pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e o CEPA – Centro de Pesquisa em Alimentos. Com 3.842,92m² de área construída, o edifício é composto por 2 pavimentos, concluído no ano de 2000, portanto já apresenta vinte anos de uso, com laboratórios e salas de aula teóricas como usos predominantes. O edifício foi escolhido para o estudo devido a ser o primeiro a receber placas solares fotovoltaicas em sua própria estrutura; desse modo, surge a possibilidade de ser convertido em um edifício autossuficiente em energia, sendo o *retrofit* luminotécnico uma das estratégias para redução do consumo existente (MATANA JÚNIOR, 2022).

2.2 Levantamento do sistema luminotécnico

A Norma de Higiene Ocupacional nº 11 – NHO11 (FUNDACENTRO, 2018) foi utilizada como referencial para os níveis de iluminância. As salas de aulas noturnas e laboratórios devem ter 500 lux em média, enquanto sanitários podem ter 200 lux para iluminação geral, 100 lux para áreas de circulação e os demais ambientes devem considerar 300 lux. O sistema de iluminação artificial foi identificado *in-loco*, coletando dados referentes à quantidade de luminárias, lâmpadas, ausência/presença de reatores, bem como sua distribuição nos ambientes, sendo que as medições foram realizadas durante a noite, para que não houvesse influência da iluminação natural nos resultados. A iluminância foi aferida com luxímetro digital Hikari, modelo HLX-881, com faixa de medição de até 50.000 lux.

O critério utilizado para avaliação luminotécnica é a medição em diferentes pontos e áreas de tarefa, e posterior comparação com os valores de iluminância mínima e tolerância de 10% abaixo do valor estabelecido; por exemplo, um laboratório que exige 500 lux admite 450 lux na área de tarefa. A iluminância média foi verificada sobre o plano horizontal, posicionada na altura do plano de trabalho. Para ambientes de trabalho retangulares, com iluminação simetricamente espaçada em duas fileiras, foram aferidos doze pontos de medição. A localização dos pontos de medição é indicada pela Figura 2 e após as medições, a iluminância média foi determinada pela Equação 1.

Figura 2. Pontos de medição de iluminância

Fonte: Fundacentro (2018).

Equação 1. Iluminância média do ambiente de trabalho. Fonte: Fundacentro (2018).

$$I = \frac{R(N - 1)(M - 1) + Q(N - 1) + T(M - 1) + P}{NM}$$

Onde:

N= quantidade de luminárias por fila

M= número de filas

2.3 Simulação do *retrofit* e avaliação do *payback*

Para avaliação das propostas para o sistema de iluminação artificial, foi utilizado o software DIALUX®, versão Dialux Evo 9.1 (DIAL GMBH, 2020), modelando o sistema atual, para avaliação da capacidade de iluminação teórica do sistema existente e também a modelagem dos cenários de retrofit. A edificação foi modelada no software Autodesk Revit, versão educacional, (AUTODESK, 2019), um software de plataforma BIM (*Building Information Modeling*), devido a interoperabilidade com o Dialux, através de arquivos IFC (*Industry Foundation Classes*) e DWG. Foram selecionados dois laboratórios e uma sala de aula para realizar as simulações.

O tempo para que o capital investido seja recuperado pelo fluxo de caixa é conhecido como *payback*. Este método enfatiza o tempo de retorno, sendo um dos mais utilizados para avaliação de projetos, entretanto, não foca no lucro das alternativas escolhidas (IUDÍCIBUS, 2020). O método do *payback* simples desconsidera a aplicação de juros, sendo utilizado para avaliar o tempo de retorno de maneira simplificada, verificando o tempo máximo tolerado pelo investidor, sendo que o saldo do projeto é apresentado em valores negativos até que ocorra o *payback* (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

3 Resultados

3.1 Levantamento in loco e simulações do sistema existente

Em geral o edifício apresenta características uniformes em seus ambientes. Os pisos são em cerâmica de cores claras, à exceção das salas de aula em que o piso é em parquet de madeira escura; as paredes são pintadas com cores claras e as divisórias leves seguem o mesmo padrão de cores; os tetos também são pintados com cores claras, sendo que estes fatores contribuem para a iluminação difusa nos ambientes.

Conforme levantamento, a sala de aula teórica possui um sistema composto por 16 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2.350 lúmens, caracterizando uma densidade de potência de iluminação de 14,92 W/m². A capacidade da sala é de 56 alunos, gerando um consumo per capita de 18,28W por usuário. As fileiras de luminárias são ligadas e desligadas em paralelo ao quadro e retroprojektor. Foi constatado o uso de lâmpadas de diferentes temperaturas de cor, criando um ambiente heterogêneo visualmente; além disso, o sentido de instalação das luminárias gera zonas de sombreamento junto ao forro. A figura 3 demonstra a situação atual do sistema de iluminação da sala de aula teórica.

Figura 3. Vistas da sala de aula teórica



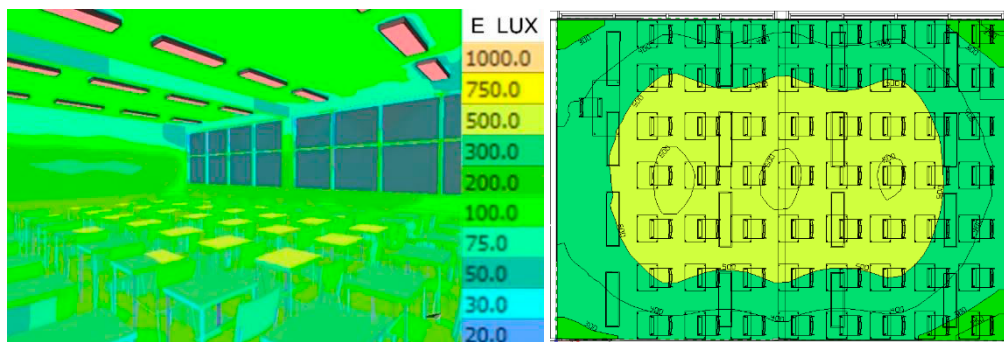
Fonte: Matana Júnior (2022).

O contraste excessivo e a distribuição não favorável das luminância geram áreas brilhantes no campo de visão, podendo causar ofuscamento, que resulta em fadiga visual. Os valores de iluminância foram aferidos conforme os pontos estabelecidos na NHO 11, sendo o maior valor encontrado de 404 lux e o menor 200 lux, sendo as áreas centrais com os maiores valores. A iluminância média encontrada é de 333,35 lux, em desacordo com o valor estipulado por norma de 500 lux para salas de aula noturnas, indicando a necessidade de adequação do sistema de iluminação. (FUNDACENTRO, 2018).

A sala de aula teórica demonstra uma distribuição homogênea da iluminância na área de trabalho. No entanto, a simulação também demonstrou que os níveis encontrados estão abaixo do simulado pelas características do ambiente, indicando a queda de iluminância dos equipamentos, decorrentes da redução da vida útil, sendo

necessária a substituição das lâmpadas existentes. Os valores identificados na área das classes encontram-se adequados à NHO 11, entretanto, a iluminância média da simulação foi de 468 lux, também abaixo dos 500 lux exigidos pela norma. A figura 4 demonstra a simulação de iluminância.

Figura 4. Simulação de iluminância na sala de aula teórica



Fonte: Matana Júnior (2022).

A diferença entre os valores simulados e aferidos se deve a redução da vida útil das luminárias, com a redução do fluxo luminoso. Neste ponto, as luminárias de LED apresentam menor redução desse aspecto em relação às lâmpadas fluorescentes, além de uma vida útil superior. Apesar da diferença entre os valores simulados e aferidos, a distribuição da iluminância na superfície de trabalho é homogênea e para atingir o nível de 500 lux, será necessário alterar a quantidade ou altura de instalação das luminárias.

Outra avaliação foi realizada no Laboratório de Operações Unitárias. O sistema é composto por 18 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2.350 lúmens, gerando uma densidade de potência de 12,63 W/m². O laboratório pode ser usado por até 20 alunos, representando o consumo per capita de 28,8W por usuário. A figura 5 apresenta o sistema de iluminação do laboratório.

Figura 5. Sistema de iluminação artificial no laboratório de operações unitárias

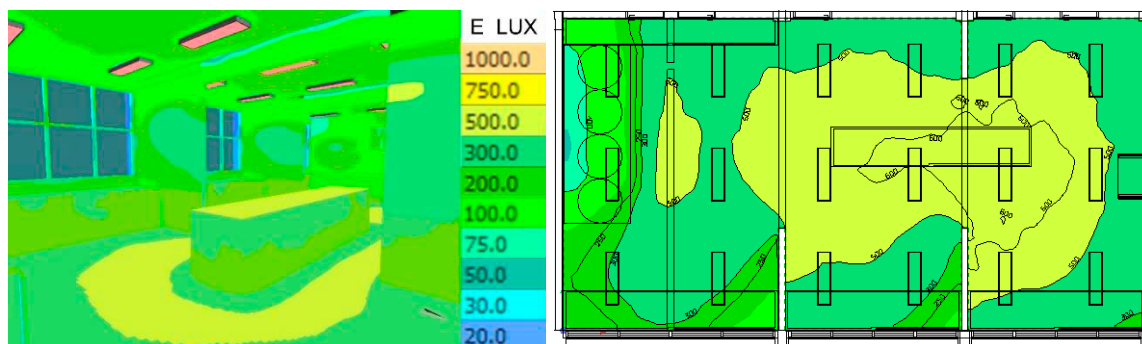


Fonte: Matana Júnior (2022).

As medições *in loco* demonstraram que na bancada central os valores de iluminância foram próximos a 265 lux. Nas bancadas das janelas os valores foram inferiores a 200 lux e a iluminância média calculada foi de 247 lux, em desacordo com

a NHO11. Cabe salientar que duas luminárias na área central estavam com as lâmpadas queimadas na data da medição, afetando os resultados, que ainda assim demonstram a necessidade de instalação de mais luminárias no ambiente. A simulação demonstrou que a bancada central do laboratório atingiria valores na faixa de 500 lux, porém, nas bancadas junto às janelas os valores ficaram entre 300 e 400 lux e na área junto aos reservatórios os índices foram os menores, na faixa de 100 lux. Em função disso, a iluminância média simulada foi de 406 lux, de acordo com a simulação do laboratório na figura 6.

Figura 6. Simulação de iluminância no laboratório de operações unitárias



Fonte: Matana Júnior (2022).

Portanto, para melhorar os índices de iluminância no laboratório, além da substituição das lâmpadas existentes, podem ser realizados ajustes na altura das luminárias, a adequação do layout com a instalação de mais uma linha de luminárias e reposicionamento das existentes, ou ainda instalação de iluminação suplementar sobre as bancadas de trabalho.

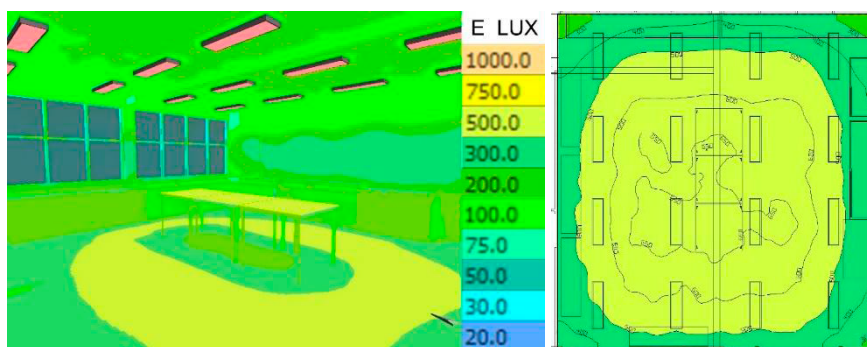
A última avaliação foi realizada para o Laboratório de Processos Químicos. O sistema é composto por 16 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2.350 lúmens, gerando uma densidade de potência de 14,94 W/m². O laboratório pode ser usado por até 30 alunos, um consumo per capita de 17W por usuário. As medições *in loco* demonstraram que na bancada central os valores de iluminância foram acima de 500 lux. Nas bancadas ao redor do laboratório os valores aferidos foram acima de 300 lux, dentro da faixa aceitável para áreas de entorno imediato. A figura 7 apresenta o sistema de iluminação do laboratório.

Figura 7. Sistema de iluminação artificial no laboratório de processos químicos

Fonte: Matana Júnior (2022).

A iluminância média calculada foi de 502 lux, em acordo com a NHO11, portanto, neste laboratório seria apenas necessária a substituição de lâmpadas para redução do consumo, visto que os níveis aferidos estão conformes à norma. Após a medição foi realizada a simulação, que demonstrou que a bancada central está adequada dentro da faixa de 500 lux. As bancadas nas laterais e sobre as janelas apresentaram iluminância a partir de 300 lux, com valores em torno de 450 lux nas bancadas das paredes, neste caso, o deslocamento das luminárias para a proximidade das paredes e a instalação de iluminação suplementar sobre as bancadas das janelas pode aumentar a iluminância sobre as áreas de trabalho.

Esta proximidade entre valores simulados e aferidos se deve ao fato de o laboratório ter sido montado nos últimos 5 anos, então as lâmpadas utilizadas possivelmente apresentam vida útil maior do que nos outros ambientes aferidos. A iluminação é distribuída de forma homogênea no ambiente e o sentido de instalação das luminárias também não gera áreas de contraste junto ao forro, como observado na sala de aula, de modo que a área sombreada é contínua, gerando menos contraste visual. A figura 8 demonstra a simulação no laboratório.

Figura 8. Simulação de iluminância no laboratório de processos químicos.

Fonte: Matana Júnior (2022).

Nas medições *in loco* dos ambientes, observou-se que os índices de iluminância da sala de aula e do laboratório de operações unitárias foram menores, indicando a necessidade de substituição das lâmpadas e modificação do sistema de iluminação.

Através do Dialux, foi realizada a simulação dos demais ambientes, juntamente com medições *in loco* na área de tarefa. Salas administrativas e de apoio apresentaram valores de acordo com o exigido por norma, assim como a circulação e sanitários.

3.2 Atendimento dos parâmetros luminotécnicos

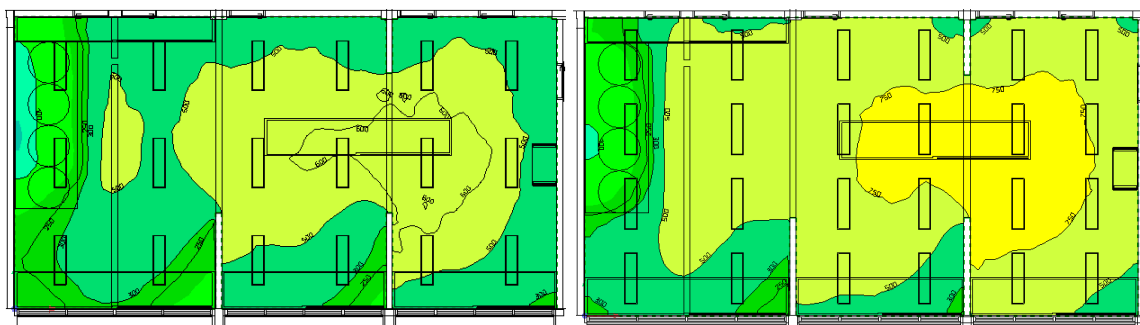
O edifício atende em parte as condições de iluminação, sendo necessário o *retrofit* dos sistemas instalados. Quanto à iluminação artificial, os índices simulados em geral atenderam às normas, porém a verificação *in loco* indicou valores abaixo dos requeridos pela NHO11. Os índices verificados são decorrentes da redução da vida útil das lâmpadas, que reduz também o fluxo luminoso e a iluminância na área de trabalho. Portanto, recomenda-se a substituição das lâmpadas fluorescentes existentes por modelos de LED e ajustes nas luminárias.

Além dos benefícios relacionados à redução de consumo de energia, o *retrofit* do sistema luminotécnico também implicará em benefícios psicológicos aos usuários do edifício, através da adequação da iluminância nas áreas de tarefa, pela uniformização da temperatura de cor e ajustes de contraste excessivo, reduzindo a possibilidade de fadiga visual. A utilização de lâmpadas de temperatura de cor branca neutra e alto IRC (Índice de Reprodução de Cores) permitirá uma melhor visualização de cores, requisito essencial para as aulas práticas e atividades de laboratório relacionados à qualidade dos alimentos.

3.3 Proposta de *retrofit* e potencial de redução de consumo

No Laboratório de Operações Unitárias será considerada a modificação da altura de instalação e a colocação de mais luminárias, atingindo iluminância média de 584 lux, atendendo aos requisitos de iluminância da NHO11 e melhorando a distribuição da iluminação no espaço. A distribuição no espaço não se torna totalmente homogênea dado a instalação de reservatórios de paredes divisórias que avançam em direção ao centro da sala. A figura 9 apresenta o layout proposto no *retrofit* do laboratório.

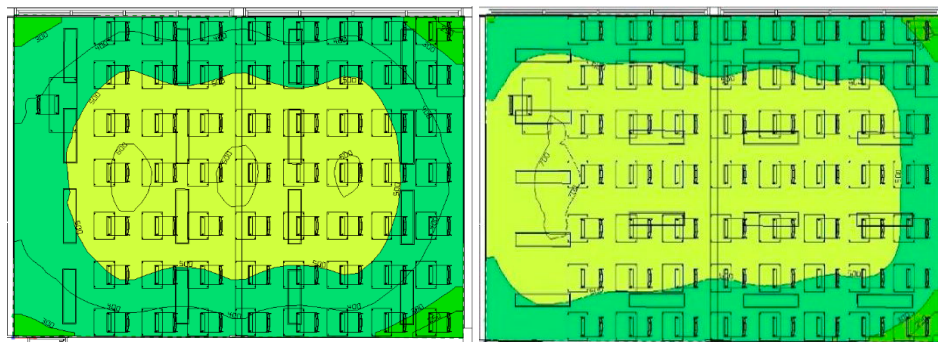
Figura 9. Layout luminotécnico existente (esquerda) e proposto (direita) para o laboratório



Fonte: Matana Júnior (2022).

Na sala de aula teórica, a orientação das luminárias e a instalação de mais uma luminária próxima ao quadro foi proposta, atingindo iluminância média de 523 lux, exigida pela norma. Além disso, a distribuição da iluminação seria mais homogênea. A figura 10 apresenta o layout proposto no *retrofit* da sala de aula.

Figura 10. Layout luminotécnico existente (esquerda) e proposto (direita) para a sala de aula



Fonte: Matana Júnior (2022).

A lâmpada selecionada para os estudos de redução de consumo foi o modelo tubular T8 Alper ALP-LT8-18W-V-145°-023LM-840. A eficiência luminosa é de 123 lm/W, a temperatura de cor 4000k (Branco neutro), IRC 80 e o fluxo luminoso de 2.300 lúmens, próximo aos 2.350 lúmens das fluorescentes existentes, facilitando a substituição, porém o grande diferencial é a vida útil da lâmpada, estimada em 25.000h (ALPER, 2021), enquanto as fluorescentes apresentam valores próximos a 10.000h úteis. Com a vida útil de 25.000h, as lâmpadas de LED poderiam ser utilizadas por aproximadamente 12 anos, considerando 2.080 horas anuais e eventuais variações, até que fosse necessária uma nova substituição.

A temperatura de cor de 4000k, branca neutra, foi escolhida para padronizar o aspecto da iluminação do edifício e por ter maior fluxo luminoso em relação a lâmpada com temperatura de 6.500k. Além disso, a temperatura de cor branca fria altera a percepção da cor real de objetos (INNES, 2014) e também está relacionada à redução de exposição a luz azul, que é fototóxica, alterando o ciclo circadiano, o que pode desencadear distúrbios do sono e redução da produtividade (CILUZ, 2020).

A economia obtida pelo *retrofit* foi de 53,93% em relação ao sistema luminotécnico. A redução da Densidade de Potência de Iluminação para 5,74W/m² permitiria obter a classificação A pela INI-C (INMETRO, 2021), que estabelece o valor de 8,7W/m² como parâmetro de maior eficiência. A situação atual do sistema e a proposta de *retrofit* são apresentadas na tabela 1.

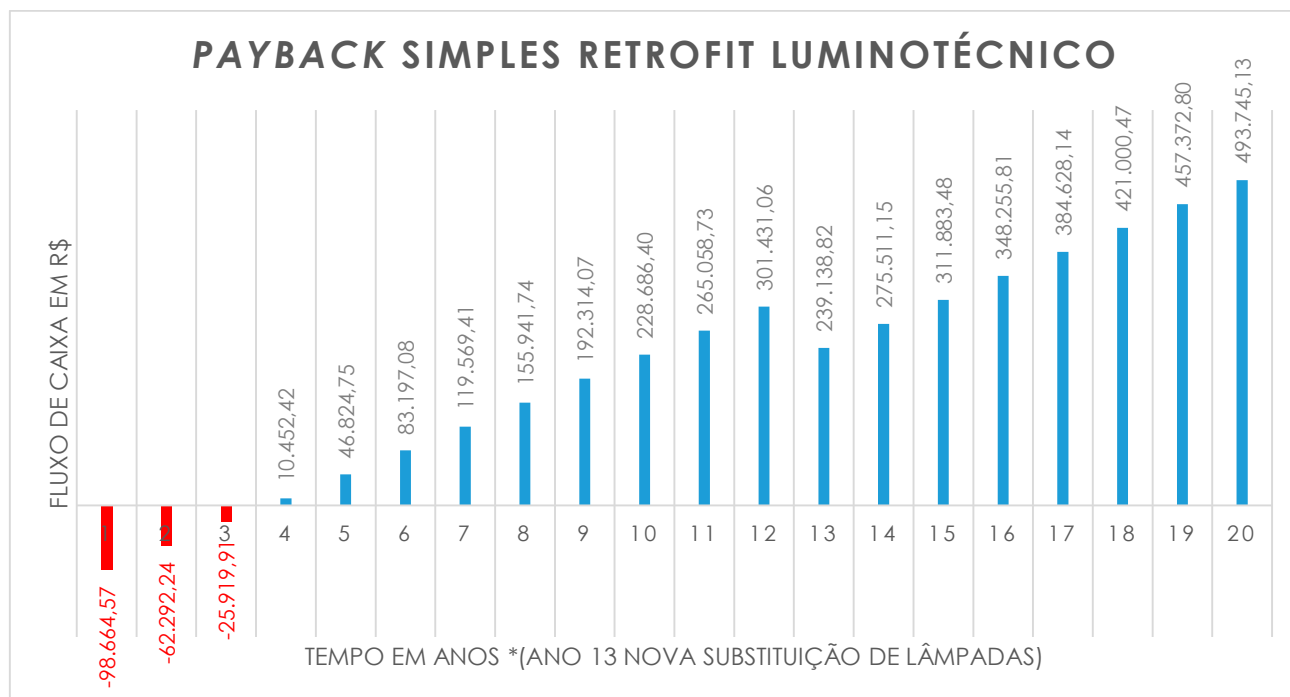
Tabela 1. Potencial de redução de consumo do sistema de iluminação artificial

SISTEMA EXISTENTE							
Nº de luminárias	Nº de lâmpadas	Nº de reatores	Potência lâmpada	Fluxo luminoso lâmpada	Potência reator	Potência total instalada	Custo anual do sistema de iluminação (Ocupação total)
533	1066	533	32W	2350lm	15W	42,11kW	R\$ 67.443,37
8h diárias x 26 dias x 10 meses = 2.080/ano x 42,11kW x R\$ 0,77							
RETROFIT LUMINOTÉCNICO							
Nº de luminárias	Nº de lâmpadas	Nº de reatores	Potência lâmpada	Fluxo luminoso lâmpada	Potência reator	Potência total instalada	Custo anual do sistema de iluminação (Ocupação total)
539	1078	-	18W	2300lm	-	19,40kW	R\$ 31.071,04
8h diárias x 26 dias x 10 meses = 2.080/ano x 19,40kW x R\$ 0,77 (Tarifa kWh UPF)							
Redução na carga instalada do sistema em kW							22,703 kW (53,93%)
Redução no consumo total da edificação (ocupação atual do edifício)							4,2%
Redução no custo anual (ocupação atual do edifício) em R\$							R\$ 36.372,33
Redução na densidade de potência de iluminação – DPI em W/m²							12,60 > 5,74 (54,4%)

Fonte: Matana Júnior (2022).

Em relação a estudos anteriores, Santos (2014) e Bortolin (2015) os realizaram em tipologia ou porte diferente do edifício L1, não sendo possível comparar a redução de consumo devido a diferença nos sistemas adotados e necessidades energéticas de cada edificação. Em contrapartida, o estudo realizado no edifício V2 (MATANA JÚNIOR; MAGRO; FRITSCH, 2019), além de realizado na própria UPF, utilizou um edifício com área construída similar, de mesmo uso (educacional) e número similar de lâmpadas e luminárias instaladas, obtendo 41,16% de redução no consumo do sistema de iluminação. Entretanto, o impacto do *retrofit* pode ser maior no consumo total, visto que o V2 possui menos laboratórios e equipamentos de alto consumo do que no edifício L1 e sem consumo de gás GLP, portanto, a definição dos usos de uma edificação implica diretamente nas possibilidades de redução de consumo de energia elétrica, mesmo que algumas características sejam similares, neste caso, dois edifícios educacionais em um mesmo campus. As características construtivas e os sistemas existentes afetam no potencial de redução, no edifício L1, algumas salas necessitariam apenas de substituição de lâmpadas e mudança na altura de instalação, no edifício V2 além da substituição, seriam necessárias luminárias suplementares e reforma do forro suspenso das salas.

O custo para execução da proposta de *retrofit* foi orçado em R\$ 98.664,57 e o *payback* simples seria atingido em 4 anos, considerado satisfatório devido a vida útil das lâmpadas. O valor economizado também poderá ser utilizado para uma nova substituição, 13 anos após a implantação do *retrofit*, projetando um ciclo de vida de 20 anos de painéis fotovoltaicos do conceito NZEB. A figura 11 apresenta o *payback* simples do sistema.

Figura 11. *Payback do retrofit luminotécnico.*

Fonte: Elaborado pelo autor.

O edifício L1 foi concluído no ano 2000 e o edifício V2 concluído em 2015 e apesar da diferença de 15 anos, os sistemas de iluminação apresentam consumo equivalentes por utilizarem lâmpadas fluorescentes e apresentarem um número de lâmpadas similares. Neste caso, o uso do edifício é um dos fatores preponderantes na diferença de consumo, pois o L1 apresenta um número maior de laboratórios, equipamentos e perfil de uso diferente em relação ao edifício V2. Verificou-se através das simulações a interoperabilidade dos softwares utilizados, como barreiras, foi percebido que o Dialux pode apresentar erros ou demora o cálculo luminotécnico quando o mobiliário é proveniente da modelagem do Revit, sendo recomendado utilizar o próprio mobiliário na biblioteca do Dialux.

Por fim, o *retrofit* luminotécnico poderá contribuir para que o edifício se torne autossuficiente em energia, além da melhoria do conforto visual para os usuários (MATANA JÚNIOR, 2023; MATANA JÚNIOR; FRANDOLOSO; BRIÃO 2022). A economia gerada pela substituição de lâmpadas permitirá reduzir a demanda de energia renovável a ser gerada, no caso do edifício L1, reduzirá o número de painéis fotovoltaicos para atingir o equilíbrio energético do edifício. Este estudo poderá ser replicado a outras edificações, de diferentes tipologias, assim como a substituição das lâmpadas no edifício permitirá avaliar os resultados projetados e obtidos.

4 Conclusão

A adoção de estratégias de eficiência energética em edificações pode contribuir não somente com a redução de consumo, emissões e custos de operação, mas também melhorar a qualidade do ambiente para seus usuários. O *retrofit* luminotécnico constitui uma das principais estratégias neste sentido, pois impacta diretamente na produtividade e bem-estar nos espaços internos.

Na edificação em estudo, o sistema luminotécnico necessita ser remodelado, tanto para redução de consumo, quanto para atendimento dos níveis mínimos de iluminância, conforme levantamento *in loco* e simulações no Dialux. Através do software, foi possível projetar um sistema luminotécnico que atendesse os requisitos de iluminância e também reduzir o consumo existente, como parte de uma estratégia maior para tornar o edifício autossuficiente em energia.

Em relação aos custos, o *retrofit* é viável, com *payback* dentro do prazo aceitável e que contribuirá também para reduzir custos com a implantação de um sistema de energia renovável. Este estudo poderá ser replicado para outras tipologias de edificações e parques construídos, com a elaboração de estudos de verificação de iluminância após a substituição das lâmpadas e outras medidas de *retrofit* propostas. Por fim, estratégias de eficiência energética e energia renovável, visando a implantação de NZEBs, poderão contribuir com as metas propostas no ODS7 da Agenda 2030 e no processo de descarbonização das edificações.

Referências bibliográficas

- AKSAMIJA, A. Regenerative Design of Existing Buildings for Net-Zero Energy Use. *Procedia Engineering*, v. 118, p. 72–80, 2015.
- ALPER. *LED tube – Folha de especificações do produto*. 2021. Disponível em: http://www.alper.com.br/specsheets/tube-led_ss_cert.pdf. Acesso em: 26 mai. 2021.
- AUTODESK. *Software Autodesk Revit Architecture 2019*. Versão 19.0.0.420. Versão educacional. Autodesk, 2019.
- BARROS, B. F.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. *Eficiência energética: Técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos*. São Paulo: Érica, 2015.
- BORTOLIN, T. A. *Eficiência energética em iluminação: Estudo de caso do campus de uma instituição de ensino superior da serra gaúcha*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CARLETTI, C.; CELLAI, G.; PIERANGIOLI, L.; SCIURPI, F.; SECCHI, S. The influence of daylighting in buildings with parameters nZEB: Application to the case study for an office in Tuscany Mediterranean area. *Energy Procedia*, v. 140, p. 339–350, 2017.
- CILUZ. Fototoxicidade: Os efeitos nocivos das lâmpadas LED em nossas retinas. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/922879/fototoxicidade-os-efeitos-nocivos-das-lampadas-led-em-nossas-retinas>. Acesso em: 2 jun. 2021.
- D'AGOSTINO, D.; CUNIBERTI, B.; MASCHIO, I. Criteria and structure of a harmonized data collection for NZEBs retrofit buildings in Europe. *Energy Procedia*, v. 140, p. 170–181, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.133>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- DIAL GMBH. *DIALux Evo 9.1*. 2020. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/download/>. Acesso em: 2 out. 2020.
- FUNDACENTRO. *Norma de Higiene Ocupacional nº11: Procedimento técnico Avaliação dos níveis de iluminamento em ambientes internos de trabalho*. São Paulo, 2018.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Passo Fundo*. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/passos-fundo.html>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2019*. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021: Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência*

- energética. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-42-de-24-de-fevereiro-de-2021-307486285>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- INNES, M. *Iluminação no design de interiores*. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.
- IUDÍCIBUS, S. *Contabilidade gerencial: da teoria à prática*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2020.
- LEIVO, V.; KIVISTE, M.; AALTONEN, A.; TURUNEN, M.; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. Impacts of energy retrofits on hygrothermal behavior of Finnish multi-family buildings. *Energy Procedia*, v. 132, p. 700–704, 2017.
- MATANA JÚNIOR, S. *Estudo de retrofit em iluminação no prédio da faculdade de arquitetura e urbanismo da UPF*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Design e Interiores) – Curso de Pós-Graduação em Design e Interiores, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.
- MATANA JÚNIOR, Sidnei. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para edificação universitária zero energy building*. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2022.
- MATANA JÚNIOR, S.; FRANDOLOSO, M. A. L.; BRIÃO, V.B. Technical and economic feasibility study for a university zero energy building in Southern Brazil. *Energy and Buildings*, v. 281, 112748, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112748>.
- MATANA JÚNIOR, S., FRANDOLOSO, M.A.L., BRIÃO, V.B. Lighting Retrofit: Consumption Reduction Practices in a University in Southern Brazil. In: LEAL FILHO, W., PORTELA DE VASCONCELOS, C.R. (eds) *Handbook of Best Practices in Sustainable Development at University Level*. World Sustainability Series. 2022. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04764-0_16
- MURTO, P.; JALAS, M.; JUNTUNEN, J.; HYYSALO, S. Devices and strategies: An analysis of managing complexity in energy retrofit projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 114, n. July, p. 109294, 2019.
- NETO, A. H.; IOSHIMOTO, E.; YAMADA, E.S.; KATO, E.; NEVES, L. O. Eficiência Energética. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). *Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos*. 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- SANTOS, A. B. *Eficientização energética de unidade operacional dos correios*. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- TEBBOUCHE, H.; BOUCHAIR, A.; GRIMES, S. Towards an environmental approach for the sustainability of buildings in Algeria. *Energy Procedia*, v. 119, p. 98–110, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.053>. Acesso em: 20 set. 2020.