

TECNOLOGIAS MAIS LIMPAS APLICADAS A SISTEMAS PRODUTIVOS



ORGANIZADORES
Mari Aurora Favero Reis
Fernanda Cristina Silva Ferreira
Elisabeth Wisbeck
Leopoldo Pedro Guimarães Filho

Sustentabilidade ambiental na tecnologia LED aplicada à iluminação artificial em ambiente industrial

HEIDRICH, Mikhail Z.

Estudante de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE

<https://orcid.org/0000-0001-67263161>

REIS, Mari A. F.

Docente do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos (PPGSP) em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE. Docente no Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental (PMPECSA)

<https://orcid.org/0000-0001-8225-1695>

FERREIRA, Fernanda C. S.

Docente do Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos (PPGSP) em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE

<https://orcid.org/0000-0001-8734-1219>

RESUMO

A preocupação ambiental tem se tornado indispensável para qualquer processo produtivo da atualidade. Neste sentido, é de alta relevância a identificação dos benefícios relativos à utilização de iluminação artificial em ambientes industriais, no aspecto ambiental. A tecnologia tipo LED pode promover benefícios como: a redução do consumo energético, a redução da produção de resíduos eletroeletrônicos, assim como a redução de resíduos considerados tóxicos ao ambiente e também o menor custo de implantação em sistemas de iluminação artificial. Este artigo tem como objetivo fazer uma revisão de literatura da relação existente entre a iluminação artificial tipo LED para o ambiente industrial e a sustentabilidade ambiental, a partir de trabalhos acadêmicos e artigos científicos, publicados nos últimos 5 anos, disponíveis na base de dados Google Acadêmico, em qualquer idioma. De acordo com os resultados de busca e sua análise espera-se atestar se existe uma relação forte entre os termos, além de estabelecer as melhores formas de executar estas buscas nos bancos de dados e se possível, diagnosticar oportunidades de estudos futuros que debatam esta correlação.

Palavras-chave: Ambiente industrial. Iluminação artificial. LED. Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Nos últimos 10 anos, a tecnologia de LED tem se desenvolvido para uso em escala comercial. Embora a história do uso do LED tenha sido estudada, especialmente na produção agrícola, muitas questões ainda precisam ser investigadas a fim de aproveitar as propriedades dos LEDs nos sistemas produtivos (MITCHELL; SHEIBANI, 2020). Os sistemas de iluminação para uso residencial, ambientes de escritórios e vias públicas têm sido bem investigados na literatura, mas os sistemas de iluminação inteligentes em ambientes industriais raramente são discutidos (FUCHTENHANS; GROSSE; GLOCK, 2019).

A iluminação artificial tem uma relevância significativa nos sistemas produtivos, e o uso da tecnologia LED tem sido objeto de estudo em diferentes contextos, como na produção leiteira (LOSHKAREV; SHIROBOKOVA; SHUVALOVA, 2019), produção de aves (SANTOS; REIS JUNIOR; REIS, 2019) e produção vegetal (OKAMOTO et al., 1996). Nos sistemas produtivos, o estudo da iluminação artificial em ambientes industriais pode resultar em ganhos na produção ao avaliar os impactos que ela pode trazer em aspectos essenciais, como o ambiental, o econômico e o social.

No aspecto ambiental, destaca-se principalmente o custo do consumo de energia elétrica na iluminação artificial. A eficiência energética é um fator preponderante na escolha de uma tecnologia de iluminação, sendo decisiva na relação custo-benefício (ROGRIGUES et al., 2019).

Entre outras vantagens que a iluminação LED pode trazer no aspecto ambiental, pode-se mencionar que os equipamentos utilizados para a iluminação de ambientes industriais constituem uma parte relevante dos resíduos gerados por essas empresas. A alta rotatividade de alguns tipos de luminárias, refletores e lâmpadas, devido à sua baixa vida útil, juntamente com a periculosidade envolvida em sua composição, são fatores que contribuem para uma

análise mais detalhada da iluminação que utiliza tecnologia LED. Essa tecnologia pode oferecer soluções e reduções consideráveis nesse aspecto (RODRIGUES; VAZQUEZ; MORAIS, 2019).

Nesse contexto, a problemática abordada por esta pesquisa é: quais vantagens, segundo a literatura, a iluminação artificial do tipo LED pode trazer para ambientes industriais em termos de sustentabilidade ambiental? Com base nessa pergunta, o objetivo deste trabalho é identificar, por meio de uma revisão da literatura, os aspectos ambientais envolvidos na adoção da iluminação artificial do tipo LED em ambientes industriais.

METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, foram realizadas buscas na base de dados do Google Acadêmico e, em seguida, foi realizado o estudo dos documentos encontrados. O método utilizado nesta pesquisa é a Análise de Conteúdo, seguindo a abordagem de Bardin (1977), e possui uma abordagem qualitativa. As etapas seguidas foram as seguintes: pré-análise, exploração do material e análise, conforme apresentado a seguir.

a) Acesso aos documentos na pré-análise:

Nesta etapa, foram estabelecidas as palavras-chave utilizadas como termos de busca e os filtros empregados (Figura 1). Os termos de busca foram: “Iluminação + LED” e “LED + Sustentabilidade”. O período de publicação foi definido como a partir de 2018, devido à importância dada à atualidade nos estudos sobre tecnologias de iluminação artificial. O idioma dos trabalhos foi definido como “qualquer” e apenas foram selecionados artigos de revisão. Após o download dos artigos, ainda nesta etapa, foi realizada uma leitura prévia e os artigos foram organizados em uma biblioteca na plataforma Mendeley.

Figura 1 - Tela de busca no Banco de dados

The image shows a screenshot of a Google Scholar search results page. At the top left is the Google Acadêmico logo. To its right is a search bar containing the text 'iluminação + LED'. Below the search bar, the page indicates 'Artigos' and 'Aproximadamente 97 resultados (0,02 s)'. On the left side, there are several filter options: 'A qualquer momento', 'Desde 2022', 'Desde 2021', 'Desde 2018', and 'Período específico...'. Below these are sorting options: 'Ordenar por relevância' (highlighted in red), 'Ordenar por data', and language options: 'Em qualquer idioma', 'Pesquisar páginas em Português' (highlighted in red), and 'Qualquer tipo', 'Artigos de revisão' (highlighted in red). On the right side, three search results are visible. The first result is 'Eficiência energética na iluminação p equipamentos e tecnologias' by DM Bernades and WC Celeste, with a snippet about LED lamps and retrofitting. The second result is 'Revision of smart street lighting LED' by DJR Patarroyo, IFC Garzón, and CAL Forero, with a snippet about public lighting systems. The third result is 'Uma análise das investigações históricas cores'. Each result includes a star icon for saving, a citation icon, and the number of citations.

Nota: recorte da tela de busca, no site Google Acadêmico, após preenchimento dos termos de busca Iluminação e LED, e ajuste dos filtros: temporal, ordem, idioma e tipo de resultados.

Fonte: os autores.

b) Exploração do material:

Nesta etapa, foi realizada uma leitura completa desses artigos. Em seguida, os dados foram organizados em uma tabela para estratificar os assuntos mais relevantes e oportunos para o desenvolvimento da pesquisa. A leitura prévia consistiu na análise das principais informações do artigo, incluindo o seu resumo, enquanto a leitura completa envolveu a obtenção de informações mais detalhadas dos artigos.

O quadro de organização dos artigos encontrados como resultado da busca (Quadro 1) foi composta pelas seguintes colunas: Numeração, Nome do artigo, Autores, Palavras-chave, Relaciona-se com o tema (Sim ou Não) e Frases relevantes extraídas do resumo. Para melhorar a disposição visual do quadro, as linhas que continham artigos correlatos aos temas foram destacadas em verde forte. Aquelas que apresentavam artigos parcialmente relacionados foram sublinhadas em verde fraco, enquanto as que não tinham relação com os temas foram deixadas em branco, sem destaque.

Quadro 1 - Cabeçalho e primeiras linhas do quadro de organização dos artigos encontrados.

Número	Nome do artigo	Autores	Palavras-chave	Relaciona-se	Trechos relevantes (análise do resumo)
1	Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias	BERNARDES, D. M.; CELESTE, W. C.; DINIZ CHAVES, G. de L.	Gestão pública; Eficiência energética; Iluminação pública; Sustentabilidade.	Sim	O presente trabalho apresenta e compara os principais recursos existentes para melhoria da eficiência energética na iluminação pública urbana, através de pesquisa bibliográfica e documental. São demonstradas as tecnologias atuais com estudos de caso que visam promover a eficiência energética da iluminação pública urbana, destacando suas vantagens e desvantagens. (LED)
2	Uma análise das investigações históricas sobre a luz e o entendimento das cores	DIAS, R. da S.; OLIVEIRA, A. F.	Óptica; Luz; Ensino de ciências; Evolução do conceito da luz; Divulgação científica.	Em partes - social	Metodologia de três aulas tradicionais com uma sequência lógica que pode ser aplicada para estudantes de ensino fundamental, médio e a população leiga. Gráficos sobre o espectro eletromagnético. Funcionamento do olho humano para captação da luz.
3	Aplicação de fluidodinâmica computacional em processos de tratamento avançado de efluentes: uma breve revisão	PINTO, V. B. S.; COLOMBO, F. D.	Fluido dinâmica computacional; Processos oxidativos avançados; Tratamento de efluentes; efluentes industriais;	Não	Simulações de CFD demonstram que otimizar o design de iluminação é tão importante quando a geometria do reator.

Nota: recorte do quadro em Microsoft Excel utilizada na organização dos artigos obtidos após busca em banco de dados. Quadro composto por linhas numeradas de forma crescente de 1 (um) a 3(três) e colunas contendo as informações: Número, Nome do artigo, Autores, Palavras-chave, Relaciona-se e Trechos relevantes (análise do resumo).

Fonte: os autores.

c) Metodologia da Análise.

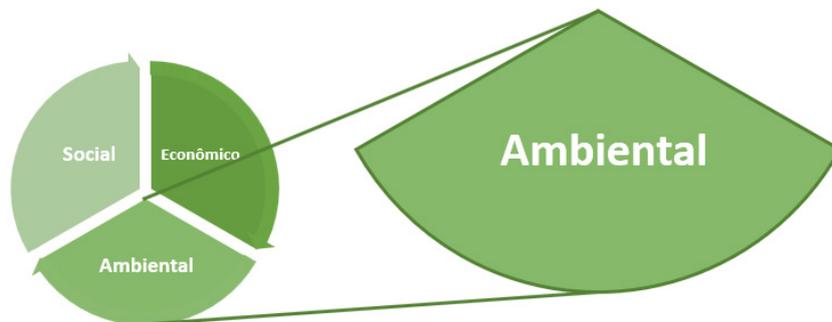
Por fim, foram contabilizados os artigos que apresentavam alguma relação com os temas, bem como aqueles que possuíam relação parcial e foram destacados para análise. Dessa forma, foi possível examinar o conteúdo classificado no quadro, o que permitiu apresentar os resultados obtidos pela pesquisa. Estabeleceu-se relação com os termos “iluminação LED” e “sustentabilidade”, considerando os periódicos das publicações e os principais achados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perspectiva sustentável diante dos aspectos sociais, econômicos e ambientais é composta pelo chamado Triple Bottom Line (RASHIDI et al., 2020), também conhecido como tripé da sustentabilidade (Figura 2). Embora a tecnologia LED possa estar relacionada a

qualquer um dos três aspectos, nesta pesquisa o foco será exclusivamente no fator ambiental. Com base no conteúdo obtido por meio da busca realizada na base de dados do Google Acadêmico e sua análise, alguns resultados puderam ser observados no contexto ambiental.

Figura 2 - Tripé da sustentabilidade e foco da pesquisa.



Nota: gráfico de setores representando o Tripé da sustentabilidade e ao lado, ampliação do terço do gráfico correspondente à seção Ambiental.

Fonte: os autores.

O tema da Iluminação LED tem sido amplamente estudado no meio acadêmico, especialmente nos últimos anos, o que é evidenciado pelo elevado número de trabalhos encontrados nas buscas. A sustentabilidade relacionada à tecnologia LED é destacada tanto na pesquisa acadêmica quanto no âmbito empresarial, uma vez que o LED é uma alternativa que contribui para esse fim (BERNADES; CELESTE; DINIZ CHAVES, 2020), o que justifica esse alto número de resultados.

Foi possível constatar que estudos estão sendo realizados em áreas como o agronegócio (LOSHKAREV; SHIROBOKOVA; SHUVALOVA, 2019; OBREGÃO DA ROSA et al., 2017; SANTOS; REIS JUNIOR; REIS, 2019), setor terciário, como a iluminação de escritórios (SARRA; MÜLFARTH, 2020), além de pesquisas realizadas em universidades (DE FARIA RODRIGUES; VAZQUEZ; DA SILVA MORAIS, 2019; SILVA; NASSAR, 2016; STEPPACHER, DAMIAN; MARTINS, 2021), iluminação de vias urbanas (BERNADES; CELESTE; DINIZ CHAVES, 2020), entre outros.

O quadro a seguir (Quadro 2) apresenta alguns dos artigos destacados por estabelecerem relação com o enfoque ambiental, pesquisados em revisões da literatura nos últimos anos. Nesse contexto, a literatura atribui à tecnologia LED benefícios ambientais, tais como: Eficiência Energética (BERNADES; CELESTE; DINIZ CHAVES, 2020; COSTA; ANDRADE JUNIOR, 2021), redução de impactos ambientais pela menor produção de resíduos perigosos (STEPPACHER, DAMIAN; MARTINS, 2021) e Sustentabilidade energética (PARIZOTTO, 2022).

Quadro 2 - Cabeçalho e primeiras linhas do quadro de organização dos artigos relacionados.

Ano		Nome do artigo	Autores	Palavras-chave	Relaciona	Trechos relevantes (análise do resumo)
2019	Ingeniería Solidaria	Revisão de Iluminação Pública LED Inteligente	Patarroyo, D. J. R.; Garzón, I. F. C.; Forero, C. A. L.	Iluminação pública inteligente LED, eficiência energética, energias renováveis, luminárias LED	Sim	Resultados do artigo: Os sistemas inteligentes de iluminação pública LED são mais eficientes no uso de energia, levam a economias de custos em médio prazo e, por fim, apresentam menor impacto ambiental em comparação aos sistemas de iluminação convencionais.
2020	Research, Society And Development	Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias	Bernades, D. M.; Celeste, W. C.; Diniz Chaves, G. De L.	Gestão pública; Eficiência energética; Iluminação pública; Sustentabilidade.	Sim	O presente trabalho apresenta e compara os principais recursos existentes para melhoria da eficiência energética na iluminação pública urbana, através de pesquisa bibliográfica e documental. São demonstradas as tecnologias atuais com estudos de caso que visam promover a eficiência energética da iluminação pública urbana, destacando suas vantagens e desvantagens. (LED)
2020	Energies	Tools for measuring energy sustainability: A comparative review	Muniz et al.	Sustentabilidade energética ; planejamento energético ; desenvolvimento sustentável	Sim	Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão comparativa e qualitativa entre oito ferramentas para medir a sustentabilidade energética.
2020	Research, Society And Development	Práticas ambientais em laboratórios químicos universitários: uma revisão sistemática de literatura	Aires, C. F.; Pimenta, H. C. D.	Práticas ambientais; Laboratório químico; Revisão sistemática de literatura; Ensino.	Sim	Esta pesquisa tem como objetivo identificar práticas ambientais implementadas em laboratórios químicos universitários visando a sua disseminação. Foram identificadas 46 práticas que trazem entre outros benefícios, a Eficiência energética.

2020	Engineering and Science	Desempenho Termoenergético de Edificações Sob a Ótica das Mudanças Climáticas: Uma Revisão Sistemática	Guarda, E. L. A. da; Durante, L. C.; Callejas, I. J. A. (2020).	Aquecimento Global. Resiliência de edificações. EnergyPlus.	Sim	O objetivo deste trabalho é elaborar um panorama das publicações científicas acerca das projeções de aumento da temperatura interna e do consumo de energia elétrica em edificações, considerando os parâmetros do Quarto Relatório (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).
------	-------------------------	--	---	---	-----	--

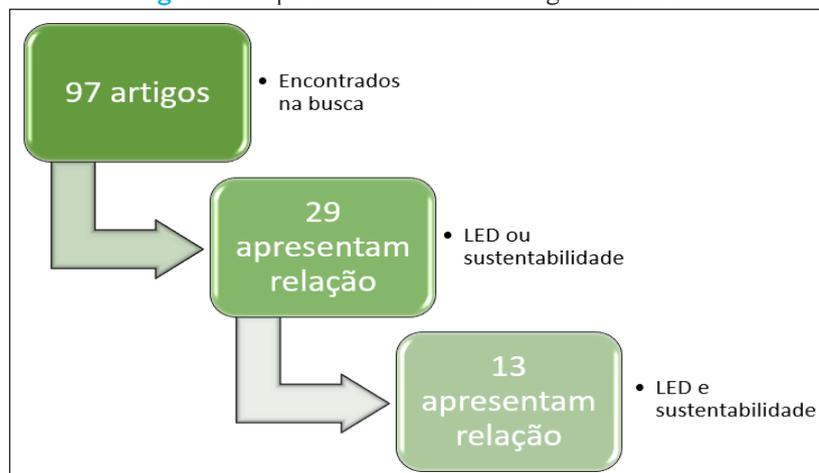
Nota: recorte do quadro em Microsoft Excel utilizada para selecionar informações dos artigos mais importantes. Quadro composto por colunas contendo as informações: Ano, Revista, Nome do artigo, Autores, Palavras-chave, Relaciona-se e Trechos relevantes (análise do resumo).

Fonte: os autores.

Além disso, destaca-se a aplicação dessa tecnologia em diversas outras áreas do conhecimento, especialmente na área da saúde (FARIAS; CATÃO, 2022; FARIAS; FERNANDES NETO; CATÃO, 2021; SILVA et al., 2022). No entanto, em relação à busca específica que relaciona a iluminação artificial tipo LED com o tema da sustentabilidade ambiental, observa-se uma quantidade pouco significativa de resultados. Além disso, o processo de busca revelou-se trabalhoso devido ao número limitado de artigos adequados para essa finalidade.

A busca realizada, conforme descrito na etapa 1 da metodologia, resultou em 97 trabalhos. Dentre esses 97 trabalhos verificados como resultado da busca, apenas 13 estavam diretamente relacionados aos dois temas propostos - sustentabilidade ambiental e iluminação artificial tipo LED. Outros 16 artigos apresentaram alguma relação com os temas, porém de forma superficial. No total, foram identificados 68 artigos provenientes da busca que não puderam ser aproveitados, pois tratavam apenas de um dos temas propostos ou não possuíam uma relação considerável com nenhum deles.

Figura 3 - Aproveitamento dos Artigos de busca.



Nota: figura representativa da quantidade de artigos encontrados na busca inicial, em seguida, artigos que apresentavam relação com um ou outro termo selecionado, e por fim os artigos que apresentavam relação com ambos os termos selecionados.

Fonte: os autores.

restringir os resultados a trabalhos que tenham relação direta com o objetivo da pesquisa. Por exemplo, ao buscar por “aquecimento global”, os resultados seriam mais precisos, identificando trabalhos que abordam especificamente esse tema, evitando a necessidade de seleção manual de trabalhos irrelevantes. Essas adaptações nas buscas podem ampliar a utilização de outros bancos de dados, enriquecendo as análises de conteúdo com trabalhos relacionados adicionais.

CONCLUSÃO

Com base neste estudo foi possível reafirmar que a tecnologia LED vem sendo lembrada e relacionada às preocupações ambientais, em diferentes contextos de aplicação. Além disso, foi possível reforçar a existência das vantagens ambientais recorrentes da adoção da iluminação artificial tipo LED para ambientes internos e externos de edificações.

As buscas realizadas para este artigo resultaram em um número significativo de artigos encontrados. No entanto, apenas alguns deles atenderam ao objetivo da pesquisa, que era identificar, por meio de uma revisão de literatura, os aspectos ambientais relacionados à iluminação artificial tipo LED em ambientes industriais. Observa-se, no entanto, que os estudos sobre iluminação artificial por LED frequentemente associam essa tecnologia à eficiência energética.

A pesquisa de revisão bibliográfica é uma ferramenta de grande valia na exploração do conhecimento sobre determinados temas, pois é capaz de elucidá-los de forma mais completa. Além disso, traz oportunidades de novas pesquisas que podem ser feitas, uma vez que mostra como pesquisas anteriores têm estudado o tema. Todavia, essa pesquisa pode ser trabalhosa e/ou ineficaz, portanto devem ser levadas em consideração, formas de otimizar esta pesquisa, tornando-a mais eficiente a fim de trazendo resultados relevantes que cooperem para o desenvolvimento do conhecimento na área fim.

Com base no exposto, é visto de forma positiva, a continuidade desta pesquisa, conforme as observações feitas, a fim de obter resultados ainda mais refinados e completos da relação da tecnologia LED com a Sustentabilidade ambiental, como também, nos demais aspectos do tripé da sustentabilidade

REFERÊNCIAS

BARDIN, L. (1977). Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.

BERNADES, D. M., CELESTE, W. C., DINIZ CHAVES, G. DE L. Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e606973957, 30 maio 2020.

COSTA, J. DOS S., ANDRADE JUNIOR, L. M. L. DE. Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e26210414085, abr. 2021.

DE FARIA RODRIGUES, S., VAZQUEZ, G. H., DA SILVA MORAIS, J. Replacement of fluorescent lamps with light emitting diode (LED) in an educational institution: Environmental,

energetic and economic concern. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 4, p. 799–808, 2019.

FARIAS, L. G. DE, CATÃO, M. H. C. DE V. Uso do laser de baixa intensidade e LED no processo de cicatrização de feridas: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 4, p. e55811427722, mar. 2022.

FARIAS, L. G. DE, FERNANDES NETO, J. DE A., CATÃO, M. H. C. DE V. O uso da fotobiomodulação com luz LED e laser na clínica de ortodontia e ortopedia facial dos maxilares: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e23110414084, abr. 2021.

FUCHTENHANS, M., GROSSE, E. H., GLOCK, C. H. Literature review on smart lighting systems and their application in industrial settings. 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). *Anais...IEEE*, abr. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8820539/>>

LOSHKAREV, I. Y., SHIROBOKOVA, T. A., SHUVALOVA, L. A. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1333, n. 4, 2019.

MITCHELL, C. A., SHEIBANI, F. LED advancements for plant-factory artificial lighting. In: *Plant Factory*. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 167–184.

OBREGÃO DA ROSA, C. et al. Análise econômica de diferentes sistemas de iluminação em aviários dark house. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, v. 19, n. 1, p. 23–30, 10 jul. 2017.

OKAMOTO, K. et al. Development of plant growth apparatus using blue and red led as artificial light source. *Acta Horticulturae*, n. 440, p. 111–116, dez. 1996.

PARIZOTTO, V. Z. De consumidor a agente ativo no mercado de energia elétrica no território brasileiro : Uma revisão da literatura. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

RASHIDI, K. et al. Applying the triple bottom line in sustainable supplier selection: A meta-review of the state-of-the-art. *Journal of Cleaner Production*, v. 269, p. 122001, out. 2020.

RODRIGUES, S. DE F., VAZQUEZ, G. H., MORAIS, J. DA S. Substituição de lâmpadas fluorescentes por light emitting diode (LED) em uma instituição de ensino: preocupação ambiental, energética e econômica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 4, p. 799–808, ago. 2019.

SANTOS, G. P. DOS, REIS JUNIOR, P., REIS, M. A. F. Uso do LED na eficiência energética e na sustentabilidade da produção de aves. *Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar*, v. 8, p. 42–57, 25 fev. 2019.

SARRA, S. R., MÜLFARTH, R. C. K. Os impactos da iluminação sobre a saúde e o conforto em edifícios de escritórios. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 91493–91512, 2020.

SILVA, A. C. T. et al. Uso da terapia fotodinâmica em lesões de mucosa bucal: uma revisão de literatura / Use of photodynamic therapy in oral mucosal lesions: a review of the

literature. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 2, p. 12714–12731, fev. 2022.

SILVA, C. D. O. S. DA, NASSAR, C. A. G. Análise do Uso da Energia Elétrica no Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, n. 3, p. 1–20, 2016.

STEPPACHER, D., MARTINS, M. S. D. F. Revelando práticas sustentáveis em universidades – uma revisão sistemática da literatura. XXIII ENGEMA – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Anais...2021.