

Eficiência elétrica na sustentabilidade da iluminação pública em Concórdia SC

Electrical efficiency in the sustainability of public lighting in Concordia SC

Clóvis Seffrin Júnior, Engenharia Civil, Universidade do Contestado, Concórdia/SC.

lovissjunior@outlook.com.br

Mauro Acir Fretta, Engenharia Civil, Universidade do Contestado, Concórdia/SC.

mauroacir@gmail.com

Mari Aurora Favero Reis, Professora Universidade do Contestado, Concórdia/SC.

mariaaurorafavero@gmail.com

Resumo

A iluminação artificial nas vias públicas é uma das necessidades fundamentais da sociedade moderna. As mudanças tecnológicas revolucionaram a iluminação pública, no Brasil e no mundo. Juntamente com esses avanços, a tecnologia LED se destacou com atrativos em eficiência energética e luminosa, na transformação de energia elétrica em luz. Nesta perspectiva, iniciamos uma pesquisa com o objetivo de avaliar a eficiência elétrica e a sustentabilidade da iluminação pública na cidade de Concórdia SC, para avaliar a viabilidade do uso da tecnologia LED. A metodologia utilizada foi quantitativa e qualitativa, contemplando aspectos visuais, técnicos e econômicos. Os resultados da pesquisa mostraram que a iluminação pública da cidade estudada apresenta baixa eficiência e altos custos de manutenção. O estudo permitiu concluir que a substituição da tecnologia convencional por LED é viável, oferecendo atrativos para a melhoria da iluminação pública na cidade.

Palavras-chave: LED; Iluminação Pública; Eficiência Energética.

Abstract

Artificial lighting on public roads is one of the fundamental needs of modern society. Technological changes have revolutionized public lighting, in Brazil and worldwide. Along with these advances, LED technology stood out with attractive features in energy and light efficiency, in the transformation of electrical energy into light. In this perspective, we started a research with the objective of evaluating the electrical efficiency and the sustainability of public lighting in the city of Concórdia SC, to evaluate the feasibility of using LED technology. The methodology used was quantitative and qualitative, covering visual, technical and economic aspects. The research results showed that the public lighting of the studied city has low efficiency and high maintenance costs. The study concluded that replacing conventional technology with LED is feasible, offering attractions for improving public lighting in the city.

Keywords: LED; Street lighting; Energy efficiency.

1. Introdução

A eletricidade é um bem de consumo indispensável à sociedade moderna, atendendo a necessidades como conforto e qualidade de vida para o ser humano. Entre as inúmeras aplicações proporcionados por avanços científicos e tecnológicos no uso da eletricidade, se destaca a iluminação artificial (SANTOS; REIS JÚNIOR; REIS, 2019). O início do uso da iluminação artificial é um processo muito antigo, iniciando com o domínio do fogo e evoluindo os avanços tecnológicos. Entre as principais causas dessa evolução de tecnologias para a transformação da eletricidade em luz está a necessidade na redução no consumo de energia, a fim do sistema elétrico atender à crescente demanda.

Conseqüentemente, nas últimas décadas os sistemas de iluminação pública têm passando por mudanças na tecnologia, em todo o país, com foco na conservação da energia e eficiência do sistema. O uso de sensores com células fotoelétricas (conhecidos como sensor de luz) permite que estas reagem às alterações da luminosidade do ambiente, proporcionando ligar ao anoitecer (sem a presença da luz) e desligar durante o dia (na presença da luz do Sol), facilitando a gestão eficiente do sistema de iluminação pública (MAGALHÃES, 2014).

A tecnologia LED (Light Emitting Diode, Diodo Emissor de Luz) tem como princípio de funcionamento a transformação da energia elétrica em radiação (visível ou infravermelho) luminosa por semicondutores (OLIVEIRA et al., 2020). O diodo é um dos semicondutores de grande relevância nas engenharias. Já eram conhecidos no século XIX, entretanto sua utilização em recursos tecnológicos foi lenta devido às restritas aplicações na época. A evolução científica, junto com as novas aplicações na engenharia, proporciona a exploração das propriedades peculiares deste material, motivando a atenção de muitas pesquisas (JENKINS, 2005).

As lâmpadas de LED, completamente diferentes das lâmpadas convencionais, os semicondutores apresentam comportamento semelhante a um material isolante, até que uma fonte externa de energia seja capaz de ejetar os elétrons da banda de valência para a banda de condução, tornando-os portadores de carga em movimento (corrente). No diodo emissor de luz (fótons), a corrente percorre uma única direção. Quando os elétrons passam no diodo, os átomos que compõem o chip são “excitados” e a energia contida ali é liberada, pelo efeito fotoelétrico (RICHARDS; ETKINA, 2013).

A evolução do LED teve início em 1961, por intermédio de um diodo emissor de infravermelho, o qual não é uma luz visível. A revolução na tecnologia da iluminação ocorreu a partir do desenvolvimento do LED azul, pois a tríade formada pelas cores vermelha, verde e azul pode produzir a luz branca (OLIVEIRA et al., 2020). Os trabalhos desenvolvidos e apresentados nas pesquisas dos cientistas japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura culminaram com a invenção do LED azul, resultando no Prêmio Nobel de Física em 2014, que possibilitou mudanças nas tecnologias.

O LED tem se destacado com a principal tendência para a iluminação no futuro, tendo atrativos como redução no consumo de energia, durabilidade nas lâmpadas, baixa radiação que gera impacto ambiental e capacidades de design (SANTOS, 2011). O fluxo luminoso emitido por lâmpadas de LED permite que a luz seja direcionada com precisão, para a área a ser iluminada, reduzindo deste modo o espalhamento da luz e proporcionando eficiência

na iluminação. Esses e muitos outros atributos têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias para o uso do LED na iluminação pública.

Importante destacar que a segurança nas vias públicas está diretamente relacionada a iluminação pública (MAGALHÃES, 2014), sendo uma das principais justificativas para investimentos neste setor. Este também é fator relevante na utilização da tecnologia LED na iluminação pública, melhora a segurança rodoviária e diminui a poluição luminosa. Considerando os atributos à tecnologia, bem como sua importância da iluminação pública, no início de 2018 buscamos a realização de uma pesquisa para atingir o seguinte objetivo: Desenvolver a partir de um estudo de caso para o uso da tecnologia LED na iluminação pública, relacionando aspectos sociais, ambientais e tecnológicos, associados ao conforto luminoso e qualidade de vida dos moradores. Esse artigo apresenta os resultados da avaliação qualitativa e quantitativa, iniciada em 2018 (SEFFRIN JUNIOR; REIS, 2018). A pesquisa foi realizada para responder a seguinte pergunta: Com base em eficiência energética na iluminação pública do município de Concórdia SC, qual a viabilidade na substituição da tecnologia tradicional por tecnologia LED?

2. Contextualização metodológica aplicada ao estudo

A pesquisa foi realizada com a metodologia qualitativa e quantitativa, do tipo estudo de caso. Inicialmente, por intermédio de pesquisas bibliográficas e pesquisa documental, foi realizada a busca por indicadores e informações relevantes para a eficiência energética na iluminação pública, bem como a eficácia no uso de tecnologia LED na iluminação de vias públicas. Nessa fase também foi realizada uma pesquisa em sites de fornecedores da tecnologia a fim de avaliar possibilidade e características das luminárias existentes no mercado.

Na posse de informações bibliográficas e dados de fornecedores (prefeitura, fornecedores da tecnologia LED), realizamos estudo de campo, onde foram coletados dados quantitativos e qualitativos em relação a atual situação do sistema de iluminação pública no município de Concórdia, no estado de Santa Catarina. Essa fase foi realizada em três etapas:

2.1 Avaliação qualitativa e quantitativa do sistema de iluminação de Concórdia SC

Na primeira fase da pesquisa foi realizada a avaliação qualitativa do sistema de iluminação atual, nos deslocamos aos bairros e regiões de maior altitude, realizamos observações identificando as características qualitativas da iluminação pública que está em funcionamento atualmente em Concórdia. O relevo local, especialmente nessa cidade, oferece condições para esse tipo de avaliação. Também foram realizadas observações diurnas a fim de identificar problemas apresentados na tecnologia utilizada na iluminação atual. Utilizando método hipotético-dedutivo, foi realizada a obtenção de fotografias registradas nestes pontos, de modo a coletar dados de logradouros contemplados no sistema de iluminação pública.

Na segunda etapa foi realizada uma coleta de dados junto à Prefeitura Municipal de Concórdia, responsável por gestar a iluminação das vias públicas. Nessa etapa tivemos a contribuição de colaboradores municipais e acadêmicos do Curso de Engenharia Civil. Os dados coletados nos auxiliaram os dados do sistema atual, provido por sistema iluminação das vias urbanas do município. Os dados obtidos, nessa etapa, foram de fundamental

importância para a composição do estudo de viabilidade técnica para a implantação do sistema de iluminação pública utilizando a tecnologia de LED no município estudado.

Na terceira e última etapa, com uso de plantinha eletrônica, realizamos a análise quantitativa dos dados coletados. Os dados brutos a nós apresentados foram organizados em planilhas eletrônicas e, a partir dessas, foi realizada a avaliação quantitativa do sistema atual de iluminação e o estudo comparativo com o sistema proposto por tecnologia LED.

2.2 Contextualização do local de estudo

A cidade de concórdia se localiza na região oeste catarinense, com divisas para o estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Dados do IBGE (2019) apontam que Concórdia (SC) possui uma área territorial de 799,194 km², com uma população de 74.641 habitantes, densidade demográfica 85,79 habitantes/km² e o PIB per capita de 43.094,67 reais. A urbanização das vias públicas é de 41,5 %, com 23,1 % de urbanização.

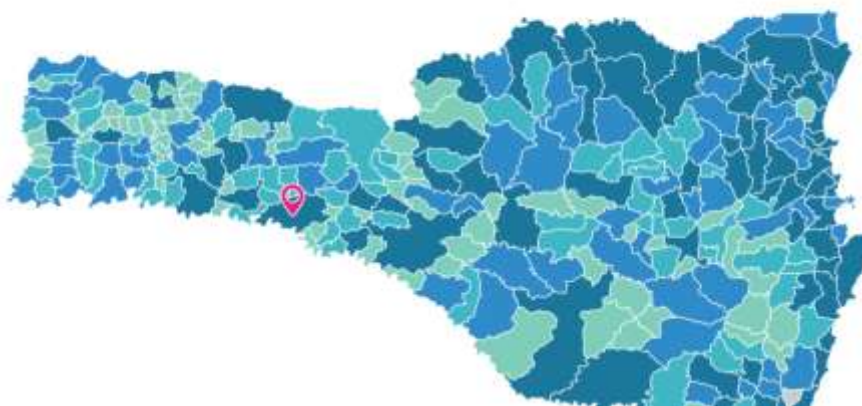


Figura 1: Localização geográfica do município de Concórdia SC.

Fonte: IBGE, disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/concordia/panorama>>.

A partir dos dados coletados no município observamos que são aproximadamente 900 logradouros atendidos por iluminação pública, num total de 11.146 pontos de iluminação (SEFFRIN JÚNIOR; REIS, 2018). A tecnologia predominante do sistema é por lâmpadas de vapor de sódio (luz amarelada) e, nas vias mais utilizadas (vias do centro), predomina a tecnologia por vapor de mercúrio de alta pressão (luz branca). O controle de acionamento das lâmpadas é realizado mediante sensores fotoelétricos, conhecidos como sensores de luz.



Figura 2: Comparativo entre a luz com lâmpada de vapor de sódio (no final da via) e vapor de mercúrio (na rua central). Fonte: Autores, 2018.

3. Avaliação da iluminação pública avaliada na cidade de Concórdia

Conforme relatado, o sistema de iluminação pública é realizado por tecnologias tradicionais com o uso de lâmpadas com vapor de sódio e de vapor de mercúrio. A lâmpada de vapor de sódio (alta pressão), predominantes nos bairros, apresenta emissão fótons com um comprimento de onda médio de 589,3 nm, cuja cor característica das lâmpadas com essa tecnologia é amarelada, classificadas como luz quente (1900°K a 2500°K). A potência dessas lâmpadas é diversificada, nas regiões próximas ao centro do município elas são de 250 Watts, já nos bairros e localidades mais afastadas (Figura 3) são utilizadas lâmpadas de 160 Watts, 150 Watts, 100 Watts, 80 Watts, 70 Watts, 25 Watts, 20 Watts ou 15 Watts (Figura 3).



Figura 3: Registro das observações noturnas em um bairro do município de Concórdia SC (SEFFRIN JÚNIOR; REIS, 2018).

Nas áreas centrais da cidade e próximo às indústrias são utilizadas lâmpadas com vapor metálico, com potência de 400 Watts. A diferença visual entre as duas tecnologias pode ser identificada na cor fótons emitidos. A tecnologia por vapor de mercúrio de alta pressão (conhecidas como lâmpadas de descarga), com emissão de fótons de comprimento de onda médio de 253,7 nm, correspondente a uma faixa do espectro entre ultravioleta (UVC) e amarelo, resultado em luz de cor branca. Na figura a seguir (Figura 4) é possível verificar a luz emitida por essas tecnologias, a partir da foto obtida de logradouros da região central da cidade, onde predomina as lâmpadas de vapor de mercúrio, também reconhecidas como lâmpadas de vapor metálico.



Figura 4: Registro das observações noturnas no município de Concórdia SC (SEFFRIN JÚNIOR; REIS, 2018).

Um dos principais problemas observados durante as observações noturnas e diurnas foi a baixa eficiência na transformação da energia elétrica em luz. Mesmo apresentando elevado custo na manutenção, conforme será demonstrado nos próximos tópicos, a tecnologia atual apresenta baixa eficiência na conservação da energia. Entre os muitos exemplos, durante o período de observações foram identificadas muitas luminárias com sensores fotoelétricos danificados, de modo que as lâmpadas permanecem acesas 24 horas diárias, gerando perdas significativas (Figura 3). Também foram identificadas regiões desprovidas de luz artificial noturna, devido ao mau funcionamento dos equipamentos. Portanto, o sistema atual demonstra qualitativamente ineficiência da iluminação pública atual.

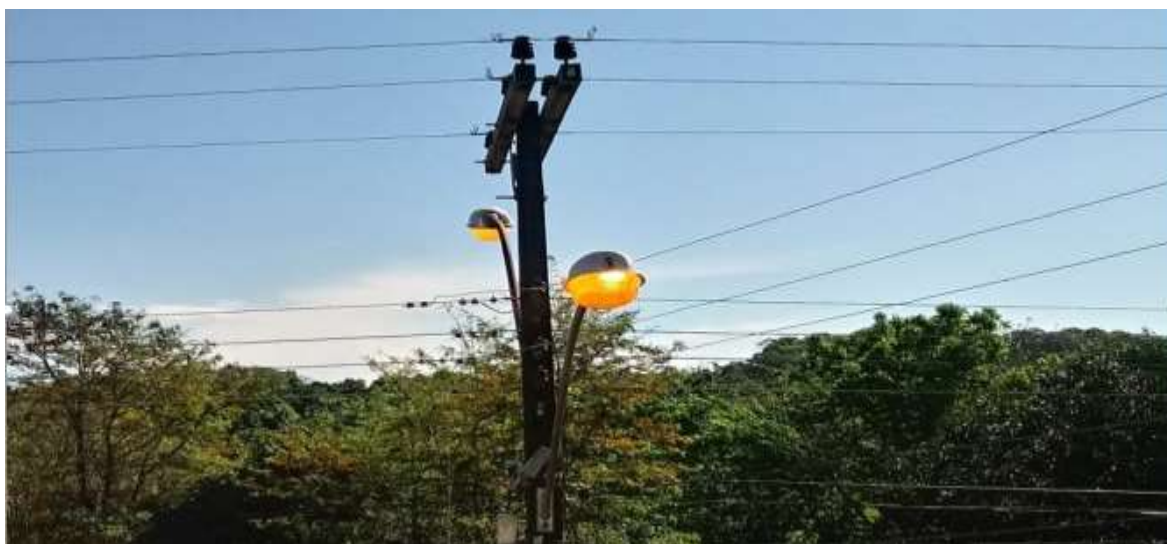


Figura 5: Poste com sensores fotoelétricos com falta de funcionamento. Fonte: Autores, 2019.

4. Dados quantitativos coletados e analisados durante a pesquisa

Os resultados dos dados obtidos em campo e analisados em planilha eletrônica, demonstram que a iluminação pública é de gestão da Prefeitura Municipal de Concórdia. O sistema oferece esse serviço em aproximadamente 900 logradouros (ruas e avenidas). A potência de cada lâmpada depende do local onde é instalada e oscilam de 15 a 400 Watts. No total são 11.146 unidades, todas acompanhadas de reator com potência que oscila, também conforme a potência da lâmpada.

As lâmpadas mais utilizadas são as de 70 Watts, num total de 9.207 unidades, acompanhadas por um reator de 15 Watts de potência. Em seguida, no ranking de instalações, estão as de 250 Watts de potência, somando um total de 1.179 unidades instaladas. São lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, acompanhadas por reator de 31 Watts. Nesse cenário, o consumo total de energia elétrica no sistema de iluminação pública do município é de 1.282.718 Watts/hora (Tabela 1).

Tabela 1: Quantitativo do sistema atual da iluminação pública de Concórdia SC

Potência (W)	Reator (W)	Quantidade	Potência (W)
15	5	1	20
20	5	1	25
25	5	74	2.220
70	15	9.207	782.595
80	15	11	1.045
100	18	25	2.950
150	22	429	73.788
160	22	33	6.006
250	31	1.179	331.299
400	45	186	82.770
TOTAL		11.146	1.282.718

Fonte: Autores, 2019.

Nesse caso não foram consideradas as perdas de energia no sistema, mas somente a potência dos equipamentos. O sistema atual apresentou custos mensais variável com manutenção das lâmpadas e tocas de equipamentos no sistema. Esses custos estão diretamente relacionados à vida útil do sistema de iluminação, fatores climáticos e atos de vandalismo ocorrido no período. A pesquisa mostrou que no segundo trimestre de 2018 o custo de manutenção foi de aproximadamente 130 mil reais (R\$130.000,00). Só no mês de abril o custo de manutenção foi de aproximadamente 84 mil reais, superior à somatória dos meses de maio e junho (em maio foi 29 mil reais e no mês junho de 17 mil reais).

A média de gasto mensal atual no sistema (Tabela 2), a partir de obtida no entre agosto de 2017 a julho de 2018, foi de R\$ 233.714,86 com uso a tecnologia atual. E, utilizando a tecnologia LED na iluminação pública, os gastos mensais com energia elétrica podem reduzir a R\$ 84.072,81. Portanto, com a utilização da tecnologia de LED na iluminação pública, é possível economizar aproximadamente R\$1.800.000,00 ao ano.

Tabela 2 Valores obtidos no período (agosto de 2017 a julho de 2018)

Arrecadação últimos 12 meses		Gastos últimos 12 meses		Lucro últimos 12 meses		Utilizando LED	
Período	Arrecadação	Período	Gasto	Período	Lucro	Período	Gasto
ago/17	R\$ 285.176,15	ago/17	R\$ 199.717,22	ago/17	R\$ 85.458,93	jan/19	R\$ 84.072,81
set/17	R\$ 294.026,19	set/17	R\$ 208.952,29	set/17	R\$ 85.073,90	fev/19	R\$ 84.072,81
out/17	R\$ 311.685,96	out/17	R\$ 222.664,12	out/17	R\$ 89.021,84	mar/19	R\$ 84.072,81
nov/17	R\$ 303.290,15	nov/17	R\$ 235.800,17	nov/17	R\$ 67.489,98	abr/19	R\$ 84.072,81
dez/17	R\$ 314.508,18	dez/17	R\$ 294.117,75	dez/17	R\$ 20.390,43	mai/19	R\$ 84.072,81
jan/18	R\$ 322.495,12	jan/18	R\$ 255.035,52	jan/18	R\$ 67.459,60	jun/19	R\$ 84.072,81
fev/18	R\$ 315.009,93	fev/18	R\$ 249.647,76	fev/18	R\$ 65.362,17	jul/19	R\$ 84.072,81
mar/18	R\$ 328.080,22	mar/18	R\$ 216.263,27	mar/18	R\$ 111.816,95	ago/19	R\$ 84.072,81
abr/18	R\$ 329.839,73	abr/18	R\$ 231.908,50	abr/18	R\$ 97.931,23	set/19	R\$ 84.072,81
mai/18	R\$ 313.642,24	mai/18	R\$ 207.078,69	mai/18	R\$ 106.563,55	out/19	R\$ 84.072,81
jun/18	R\$ 316.881,51	jun/18	R\$ 227.760,21	jun/18	R\$ 89.121,30	nov/19	R\$ 84.072,81
jul/18	R\$ 340.326,37	jul/18	R\$ 255.632,85	jul/18	R\$ 84.693,52	dez/19	R\$ 84.072,81
Total	R\$ 3.774.961,75	Total	R\$ 2.804.578,35	Total	R\$ 970.383,40	Total	R\$ 1.008.873,72
Média	R\$ 314.580,15	Média	R\$ 233.714,86	Média	R\$ 80.865,28	Média	R\$ 84.072,81

Fonte: Autores, 2019.

5. Simulação para substituição da tecnologia atual por tecnologia LED

Na posse dos dados do sistema atual e pesquisa documental, realizada junto a fornecedores por intermédio da rede mundial de computadores, realizamos buscas de dados por tecnologias LED, para simular a substituição do sistema. Na tabela 3 é apresentada a simulação de dados quantitativos para as substituições das lâmpadas, considerando manter a quantidade de pontos de luz e intensidade luminosa. A simulação demonstrou que a tecnologia de LED poderá gerar um consumo de aproximadamente 461.230 W/hora, equivalente a 35,97% do consumo atual de energia elétrica. Na tecnologia LED não há necessidade do uso de reatores e, portanto, há ganhos na sustentabilidade energética para o uso desse sistema.

Tabela 3 – Dados simulados para a potência de consumo após substituição por LED.

Potência LED (W)	Quantidade	Potência (W)
7	2	14
9	74	666
30	9.218	276.540
50	25	1.250
80	462	36.960
100	1.179	117.900
150	186	27.900
TOTAL	11.146	461.230

Fonte: Autores, 2019.

A pesquisa mercadológica demonstrou que os custos de mercado para a aquisição da tecnologia LED sejam necessários investimento público de R\$ 2.732.324,19, com taxa de juro anual de 6%, é necessário um período de aproximadamente dois anos para recuperar todo o investimento realizado. Não foram considerados os custos com a mão de obra na substituição, pois os próprios funcionários que atualmente fazem a manutenção no sistema poderão realizar as substituições da tecnologia.

Considerações Finais

A pesquisa realizada demonstrou que a iluminação pública do município de Concórdia apresenta problemas que podem ser identificados de modo qualitativo e quantitativo. A coleta de dados qualitativos nos contextualizou para os aspectos visuais e funcionais, a fim de reconhecermos as características da iluminação pública atual de Concórdia. Também, demonstrou aspectos que justificam a ineficiência no sistema, como perdas na conservação da energia, apesar dos custos elevados aplicados na manutenção do sistema. O estudo mostrou, também, que a iluminação atual não segue um padrão técnico ou metodológico para a potência e característica das lâmpadas, de modo que é possível identificar em imagens noturnas.

O estudo quantitativo demonstrou que a potência de consumo em cada ponto de iluminação é variável, dependendo do fluxo da via. A substituição por LED poderia padronizar o sistema e aumentar a eficiência energética na transformação da eletricidade em luz visível para a iluminação pública do município de Concórdia. A padronização do sistema permite maior controle sobre a iluminação, proporcionando maior segurança e conforto à população. Além desse resultado, a substituição das tecnologias pode reduzir os custos com manutenção e, principalmente, reduzir os gastos de energia elétrica. Assim, a economia gerada nos cofres públicos, a partir do sistema de iluminação LED, o município poderá investir em melhores no sistema, deixando a cidade mais iluminada ou investir em técnicas para o desenvolvimento de tecnologia própria para cidades inteligentes.

A pesquisa nos proporcionou concluir que a substituição da tecnologia atual por tecnologia LED é indispensável. Considerando os desafios apresentados nesse artigo e dimensão do projeto, para o sucesso na transição das tecnologias, um projeto de *retrofit* para o sistema foi desenvolvido como trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil, por um dos autores desse artigo. Encontra-se em edição o artigo, com os dados da pesquisa de transação, para ser submetido para apreciação em periódico.

Referências

- IBGE. **Censo Demográfico - Concórdia**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/concordia/panorama>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- JENKINS, T. A brief history of . . . semiconductors. **PHYSICS EDUCATION**, v. 430, n. 111, p. 40, 2005.
- MAGALHÃES, J. M. L. **Eficiência Energética na Iluminação Pública**. Porto - Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- OLIVEIRA, I. N. DE et al. Estudo das propriedades do Diodo Emissor de Luz (LED) para a determinação da constante de Planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, p. e20190105, 2020.
- RICHARDS, A. J.; ETKINA, E. Kinaesthetic learning activities and learning about solar cells. **Physics Education**, v. 48, n. 5, p. 578–585, 2013.
- SANTOS, C. R. A. **Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética**. Porto - Portugal, 2011.
- SANTOS, G. P. DOS; REIS JÚNIOR, P.; REIS, M. A. F. Uso do LED na eficiência energética e na sustentabilidade da produção de aves. **Saúde & Meio Ambiente Revista Interdisciplinar**, v. 8, n. 1, p. 42–57, 2019.
- SEFFRIN JÚNIOR, C.; REIS, M. A. F. **Avaliação da sustentabilidade energética na iluminação pública: estudo de caso para o município de Concórdia SC**. Anais da 12ª Jornada de Iniciação Científica (JINC). Anais...Concórdia SC: UnC/EMBRAPA, 2018Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1100650/1/final9023.pdf#page=33>>.