

**Paulo Ricardo Fiuza**

Discente Universidade Federal do Pampa  
prfmarques2@gmail.com

**Fladimir Fernandes dos Santos**

Docente Universidade Federal do Pampa  
fladimirfernandes@gmail.com

**Aline Soares**

Discente Universidade Federal do Pampa  
alinesoares2208@gmail.com

**Alex Itczak**

Discente Universidade Federal do Pampa  
alex.itczak@gmail.com

**Arian Fagundes**

Discente Universidade Federal do Pampa  
ariantricolorfagundes@gmail.com

# ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO INTERNA DE UMA ESCOLA PÚBLICA

## RESUMO

Apresenta-se no presente trabalho, uma avaliação econômica da implantação de lâmpadas de LED tubulares (LLTs) 18 W no lugar de lâmpadas fluorescentes tubulares (LFTs) 36 W, em um estudo de caso. O local escolhido à análise foi a Escola Estadual de Ensino Médio Dr. Romário Araújo de Oliveira (CIEP), situada no município de Alegrete/RS. Aborda-se a viabilidade econômica de duas alternativas de investimento, uma com a reposição de novas LFTs e a outra com a substituição por LLTs, o sistema atual utiliza LFTs. Os custos dos materiais que compõem uma luminária e mão-de-obra de instalação foram retirados da base de dados do SINAPI desonerado de dez/2018. Possibilitou-se o desenvolvimento da pesquisa mediante utilização de uma metodologia científica da análise econômica. Assim, o *retrofit* por lâmpadas de LED ostenta-se com viabilidade econômica positiva, sugerindo-se a sua execução. Apresenta retorno em 5 anos e 2 meses (*payback* descontado), VPL de R\$ 136.448,37 e VAUE de R\$ 15.941,20 e, a TIR de 25,9%, maior que a TMA de 8% aplicada.

**Palavras-chave:** Iluminação Artificial. LED. Fluorescente. Engenharia Econômica. Viabilidade Econômica.

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC VIABILITY OF THE IMPLANTATION OF LED TECHNOLOGY IN THE INTERNAL ILLUMINATION OF A PUBLIC SCHOOL

## ABSTRACT

This paper presents an economic evaluation of the implantation of 18 W tubular LED lamps (LLTs) in place of 36 W tubular fluorescent lamps (LFTs) in a case study. The place chosen for the analysis was the State School of High School Dr. Romário Araújo de Oliveira (CIEP), located in the city of Alegrete / RS. The economic viability of two investment alternatives is addressed, one with the replacement of new LFTs and the other with replacement by LLTs, the current system uses LFTs. The costs of materials that make up a luminaire and installation labor were taken from the SINAPI database released on December 10, 2018. It was possible to develop the research using a scientific methodology of economic analysis. Thus, the retrofit by LED lamps is presented with positive economic viability, suggesting its execution. It presents a return in 5 years and 2 months (*payback* discounted), NPV of R \$ 136,448.37 and VAUE of R \$ 15,941.20, and IRR of 25.9%, higher than the 8% TMA applied.

**Keywords:** Artificial Lighting. LED. Fluorescent. Economic Engineering. Economic Viability.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A prolongada recessão econômica mundial vivida nos anos 2000, o crescimento constante dos preços dos recursos energéticos naturais, as preocupações ambientais, a redução de poluentes e emissões de gases de efeito estufa, tornam crucial a busca por soluções para os problemas de conservação e eficiência da energia elétrica.

O consumo de eletricidade, associado à iluminação, é responsável por, cerca de, 7% das emissões de gases de efeito estufa. A iluminação artificial correspondia a 19% da geração global de eletricidade em 2006, apresentando grande impacto no consumo (WAIDE; TANISHIMA, 2006; PROVOOST; GOETZELER, 2010).

Sem uma tecnologia avançada e novas políticas de eficiência energética, esse crescimento na geração de eletricidade resultará na degradação do meio ambiente.

Muitos países, conscientes de que a adoção de tecnologias de eficiência energética, somente será viabilizada com a aplicação de novos padrões de iluminação artificial, buscam, sistematicamente, políticas para o desenvolvimento de tais regulamentações, uma vez que, verifica-se que é um segmento com alto potencial de conservação de energia.

No Brasil, em 2017, utilizou-se 526,2 TWh de energia elétrica, estima-se que os sistemas de iluminação consumiram uma fatia de 20% deste montante (ABILUX, 2015; EPE, 2018). Neste mesmo ano, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

calcula ter economizado 21,2 TWh, a partir dos seus programas de eficiência energética, contabilizando um retorno de R\$ 3,8 bilhões para um investimento de R\$ 15,74 milhões (PROCEL, 2018). Verificando-se, assim, que a conservação de eletricidade na área da iluminação, também, é de suma importância no país.

Um dos métodos para obtenção de uma eficiência energética significativa provém da utilização de fontes de luz semicondutoras. O principal elemento da tecnologia de iluminação com semicondutores é o Diodo Emissor de Luz (do inglês Light Emitting Diode - LED).

As lâmpadas de LED são reconhecidas pelos seus atraentes indicadores de desempenho, como alta eficiência luminosa e confiabilidade, baixo consumo de energia, longa vida útil, manutenção simplificada e custo-benefício satisfatório, além de uma ampla variedade de opções de cores e configurações (CHENG; CHENG, 2006; OLIVEIRA et al., 2016).

Dessa forma, os projetos de renovação ou *retrofit* estão se tornando comuns. Os empresários, principalmente, perceberam as vantagens econômicas oriundas dessa repaginação. Um forte determinante da realização da modernização é a economia de eletricidade e, conseqüentemente, a redução nos custos do seu consumo (CÔRTEZ, 2012).

Assim, tanto manter um equipamento no formato atual ou modernizá-lo, produzirá perdas e ganhos, cabe à análise econômica transformar em termos monetários, submetendo-se a lógica do valor do dinheiro no tempo (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2000).

Portanto, o objetivo geral da pesquisa apresentada, consiste na análise da viabilidade econômica sobre a tomada de decisão em projetos de engenharia, verificando-se as alternativas de reposição com Lâmpadas Fluorescentes Tubulares (LFT) ou substituição por Lâmpadas LED Tubulares (LLT) no estudo de caso. Utilizando-se de métodos da engenharia econômica como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE) e *payback* descontado.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)

Sistema utilizado à obtenção dos preços de referência de insumos e serviços da construção civil, indicado pelo Decreto 7.983/2013 como fonte oficial, para auxiliar na elaboração de orçamentos de projetos de engenharia, subsidiados por recursos da União (BRASIL, 2013).

Seu banco de dados é gerido pela Caixa Econômica Federal (CAIXA), responsável pela manutenção da base técnica de engenharia, processamento de dados e publicação de relatórios dos preços e custos. A atualização das informações e realização de pesquisas mensais dos preços é responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), assim como, tratamento dos dados e composição dos índices (CAIXA, 2019).

### 2.2 *Retrofit*

Define-se como a modernização ou renovação de um equipamento/local considerado

fora de norma ou diagnosticado como obsoleto. Termo bastante utilizado na linguagem da engenharia (CÔRTEZ, 2012).

Conforme Tôres (2006), vida útil é o período temporal no qual um equipamento desempenha de forma satisfatória as suas funções de operação. A vida econômica é o intervalo de tempo em que um equipamento ainda apresenta custo de operação inferior ao seu valor de mercado, mostrando-se rentável.

Há dois tipos de troca de equipamentos, a reposição e a substituição:

- reposição – troca por equipamento idêntico, quando não possui variação econômica substancial, mesmos custos de aquisição, manutenção e rendimento; e
- substituição – troca por equipamento com maior avanço tecnológico que o atual, mais moderno, mais eficiente, denota evolução constante, refletindo na redução de custos periódicos (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2000; TÔRES, 2006).

### 2.3 Lâmpada Fluorescente Tubular (LFT)

As LFTs são construídas em um tubo de vidro, contido com vapor de mercúrio e gás inerte, geralmente argônio, revestido por um pó fluorescente de fósforo. Possui em suas extremidades um par de eletrodos em forma de filamento, onde é realizada a alimentação com tensão alternada (CHENG; CHENG, 2006; LIANG et al., 2013).

Como a sua partida requer alta tensão, incompatível com o nível de tensão da rede de baixa tensão, utiliza-se o reator. Esse dispositivo acende a LFT de forma estabilizada, controlando o nível da sua corrente, após entrada em operação, proporcionando economia de

eletricidade e maior durabilidade à lâmpada (LIANG et al., 2013).

## 2.4 Lâmpada de LED Tubular (LLT)

São construídas com materiais semicondutores que transformam energia elétrica em radiação visível, luz, através da eletroluminescência por efeito quântico. Esta transformação ocorre na matéria, dessa forma, é chamada, também, de estado sólido (SINNADURAI; KHAN; AZRI, 2012).

## 2.5 Comparação LFT x LLT

De acordo com Osram (2015), a LFT T8 de 36 W é equivalente em luminosidade a LLT T8 de 18 W, ainda possuem dimensões iguais, base G13 de conexão na luminária e tensão de alimentação bivolt.

A instalação da lâmpada de LED no lugar de uma fluorescente é possível devido a sua característica *retrofit*, conferindo-lhe, geralmente, uma substituição do tipo *plug and play*, sem a necessidade de adequação na luminária e instalação elétrica.

A durabilidade das lâmpadas é mensurada em horas, compondo-se pelas variáveis vida útil, mediana e média. A primeira corresponde ao tempo de duração da intensidade do seu fluxo luminoso, até que este alcance 70% do valor de fábrica. A segunda, mediana, corresponde ao tempo que metade das lâmpadas, testadas em laboratório, permaneceram acesas e, a terceira, é a média aritmética do tempo de duração destas (INMETRO, 2014; INMETRO, 2015; OSRAM, 2015).

## 2.6 Análise de Investimentos em Projetos de Engenharia

Casarotto e Kopittke (2000) definem a engenharia econômica como a análise objetiva da viabilidade econômica de um investimento, realizada por uma empresa ou um indivíduo.

Com ela, pesquisa-se e aplica-se métodos de avaliação econômica das alternativas de projetos de engenharia, afim de, verificar a viabilidade monetária da sua aplicação (CÔRTEZ, 2012).

### 2.6.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Conforme Casarotto e Kopittke (2000), é a taxa mínima para que um investimento apresente ganhos financeiros, associada a um baixo risco, é o custo de oportunidade. No Brasil, quando o investimento envolve pessoas físicas, é comum empregar-se a rentabilidade da caderneta de poupança na TMA.

Nesse sentido, Degen (1989), descreve que tal taxa deve ser maior que as taxas de aplicações colocadas à disposição pelo mercado financeiro para os investimentos da empresa, assim como, maior que o custo de captação de financiamentos disponíveis. Objetivando-se compensar o risco envolvido na implantação ou expansão de um negócio.

### 2.6.2 Valor Presente (VP)

Refere-se a uma estimativa futura, corrigida por uma taxa de juros, levada para o período inicial (Equação 1), ano zero ou atual, de um fluxo de caixa (CAMARGO, 1998).

$$= VP(taxa; per;;[VF]) \quad (1)$$

Onde VP é o valor presente; taxa é a TMA; per é o horizonte de análise; e VF é o valor futuro.

### 2.6.3 Valor Futuro (VF)

Refere-se a um valor atual, corrigido por uma taxa de juros, levada para algum período futuro, conforme Equação 2 (CAMARGO, 1998).

$$= VF(taxa; per; ; [VP]) \quad (2)$$

### 2.6.4 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

Diferença entre o investimento inicial de um projeto e o acúmulo gerado dos valores presentes, dos fluxos de caixa líquidos futuros (Equação 3). Medindo-se assim, o quanto de riqueza é gerada pelo projeto, buscando-se o VPL máximo. A sua condição de atratividade é verificada pelo tamanho do seu valor, se positivo, e caso seja negativo, não se apresenta como um investimento viável (FREZATTI, 2008; CÔRTEZ, 2012).

$$= -FCL_{(0)} + VPL(taxa; FCL_{(1)}; FCL_{(n)}) \quad (3)$$

Onde FCL é o fluxo de caixa líquido; VPL é o valor presente líquido; e n é o horizonte de análise.

### 2.6.5 Método do Payback Descontado

É o tempo de retorno de um projeto de investimento, mensura a sua liquidez e não o seu acúmulo de lucro (Equação 4). A ferramenta apresenta a alternativa com o menor tempo de recuperação como a melhor (EHRlich; MORAES, 2005; CÔRTEZ, 2012).

$$Pay = (n-1) - (FCL_{acum(n-1)} \div VP_{(n)}) \quad (4)$$

Onde Pay é o *payback*; e  $FCL_{acum}$  é o fluxo de caixa líquido acumulado.

### 2.6.6 Método do Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)

Segundo Côrtes (2012), o VAUE converte um fluxo de caixa irregular em uma série uniforme equivalente, utilizando-se o VPL e uma dada taxa de juros (Equação 5).

É implementado em comparações de projetos com horizontes de operação diferentes, equipara o fluxo de caixa das alternativas (EHRlich; MORAES, 2005).

A sua condição de atratividade é verificada pelo tamanho do seu valor, se positivo, e caso seja negativo, não se apresenta como um investimento viável (BLANK; TARQUIN, 2009).

$$= PGTO(taxa; nper; vp; ; ) \quad (5)$$

Onde PGTO é o VAUE; e vp é o VPL.

### 2.6.7 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

É uma taxa de juros com rentabilidade própria gerada pelo fluxo de caixa do projeto, onde o VPL de um investimento é igual a zero (Equação 6). A TIR torna o valor presente dos fluxos de caixa igual ao investimento inicial efetuado, ideal para que o investimento não apresente entradas ou saídas (FREZATTI, 2008; BLANK; TARQUIN, 2009).

A sua condição de atratividade é verificada pelo tamanho do seu valor em relação a TMA, ou seja, quando a TIR for maior que a TMA, o projeto é viável, do contrário é inviável (CASAROTTO; KOPITKE, 2000).

$$= TIR(FCL_{(0)}; FCL_{(n)}) \quad (6)$$

Onde TIR é a taxa interna de retorno.

## 3. METODOLOGIA

O trabalho expõe a análise da viabilidade econômica da substituição de LFT por LLT, logo, a condição do estudo em foco caracteriza-se como teórico-empírica. Por conseguinte, do ponto de vista da abordagem do problema e objetivos, apresenta-se de forma quantitativa e exploratória, respectivamente. Quanto aos seus procedimentos é um estudo de caso e com relação a sua natureza, descreve-se como uma pesquisa aplicada.

Os dados pertinentes para a realização deste trabalho foram coletados por análise *in loco* na escola. Obteve-se as faturas de energia elétrica, plantas elétricas, informações sobre o período letivo e horários de aula. Retirou-se dos catálogos de fabricantes de lâmpadas e do SINAPI, as bases para a estimação da realização de serviços de instalação e manutenção.

Considera-se na análise o valor das lâmpadas de LED e fluorescente, mão-de-obra para a substituição das mesmas, assim como manutenção e consumo de energia kWh. Os elementos obtidos foram confrontados aplicando-se as equações de análise e viabilidade econômica, mediante o uso de planilhas eletrônicas.

### 3.1 Engenharia Econômica

A análise econômica de investimento em um projeto, através da engenharia econômica, é representada pela utilização de métodos e técnicas matemáticas à determinação dos seus resultados numéricos. Possibilitando-se, assim, a verificação da viabilidade econômica do investimento, embasando, por meio de estimativas de resultados futuros, a tomada de decisão sobre a execução, ou não, de um projeto (BLANK; TARQUIN, 2009).

Na Figura 1 ilustra-se o diagrama da tomada de decisão na análise econômica de projetos de engenharia, com os processos divididos em fases.

#### 3.1.1 Fase I

É a contextualização do problema e os objetivos do trabalho, detalhados na Seção 1.

#### 3.1.2 Fase II

Distingue-se como a fase da criação das alternativas do projeto, pode existir inúmeros estudos da solução de um problema ou somente uma análise.

O estudo econômico realizado contém duas alternativas de investimento. A primeira alternativa é a de reposição das lâmpadas atuais por novas LFT e a segunda, a substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas de LED.

#### 3.1.3 Fase III

Coleta dos dados e quantização das informações, realizando-se os seguintes passos:

1º. Coletam-se os dados sobre a escola, referentes ao período de 2018.

2º. Calcula-se a vida útil das lâmpadas, verificada na Equação 7, determinando-se assim, o horizonte de análise dos investimentos.

$$VU_L = VM_L \div (UD_L \times UM_L \times 12) \quad (7)$$

Onde L é a lâmpada; VU é a vida útil; UD é o uso diário; e UM é o uso mensal.

3º. Analisa-se as faturas de energia elétrica da escola e calcula-se o custo médio da TE (Tarifa de Energia), mediante Equação 8.

$$TE_{med} = VTF \div (CEE_{mêsFP} + CEE_{mêsP}) \quad (8)$$

Onde  $TE_{med}$  é a tarifa de energia média; VTF é o valor total das faturas;  $CEE_{mês}$  é o

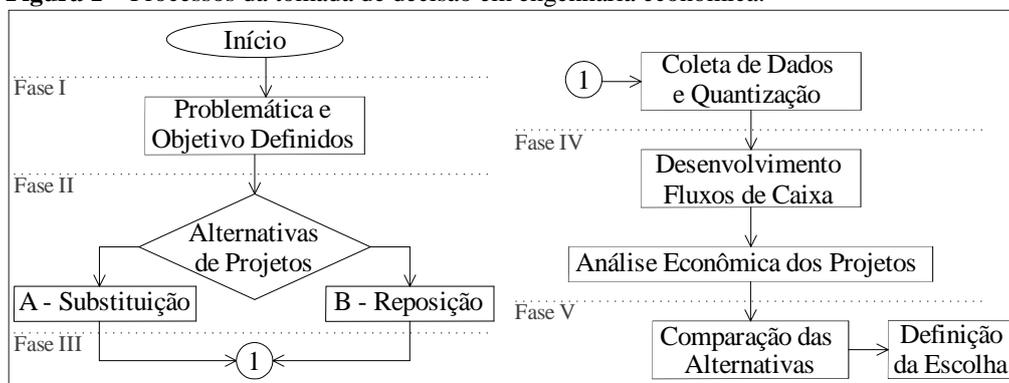
consumo de energia elétrica mensal; FP é horário fora de ponta; e P é horário em ponta.

E a correção monetária anual da tarifa de energia é realizada na Equação 9.

$$TE_{(n)} = TE_{(n-1)} \times (1 + IGPM_{med}) \quad (9)$$

Onde  $IGPM_{med}$  é o índice geral de preços do mercado médio.

**Figura 1** – Processos da tomada de decisão em engenharia econômica.



**Fonte** – Adaptado de Blank e Tarquin (2009 p. 10).

### 3.1.4 Fase IV

Projeta-se o fluxo de caixa das alternativas e aplicam-se os métodos da análise econômica. Dividindo-se em etapas:

#### 3.1.4.1 1ª Etapa

Estratificação do estudo de caso, coletam-se os valores envolvidos nas alternativas, como valor dos componentes de iluminação e mão de obra, contidos na tabela do SINAPI desonerado de dez/2018.

#### 3.1.4.2 2ª Etapa

Determina-se uma taxa de juros que reflita a correção monetária e, posteriormente, a construção do fluxo de caixa ajustado.

#### 3.1.4.3 3ª Etapa

Projetam-se os fluxos de caixa para o horizonte de vida útil dos equipamentos, calculando-se os FCL pela Equação 10 e o VP do FCL (VF), conforme Equação 1 (Seção 2.6.2).

$$FCL_{(n)} = TE_{(n)} \times \Delta CEE_{anual} \quad (10)$$

Onde  $\Delta CEE_{anual}$  é a economia no consumo de energia elétrica anual.

#### 3.1.4.4 4ª Etapa

Implementam-se os métodos de análise econômica, nos seguintes passos:

1º. Encontram-se o  $FCL_{acum(n)}$ , conforme Equação 11.

$$FCL_{acum(n)} = VP_{(n)} + FCL_{acum(n-1)} \quad (11)$$

2º. Define-se o VPL da alternativa mediante a Equação 3 (Seção 2.6.4), onde  $VF_{(n)}$  é igual a  $FCL_{(n)}$ , após, realiza-se a seguinte avaliação:

- Se  $VPL < 0$ , investimento inviável;
- Se  $VPL = 0$ , investimento indiferente; e
- Se  $VPL > 0$ , investimento viável.

3º. Calcula-se a TIR da alternativa, de acordo com a Equação 6 (Seção 2.6.7), onde  $VF_{(n)}$  é igual a  $FCL_{(n)}$ , após, verifica-se o critério a seguir:

- Se  $TIR < TMA$ , investimento inviável;
- Se  $TIR = TMA$ , indiferente; e
- Se  $TIR > TMA$ , investimento viável.

4°. Transforma-se o fluxo de caixa em uma série uniforme, conforme Equação 5 (Seção 2.6.6), respeitando-se os seguintes critérios:

- Se  $VAUE < 0$ , investimento inviável;
- Se  $VAUE = 0$ , indiferente; e
- Se  $VAUE > 0$ , investimento viável.

5°. Encontra-se o *payback* descontado, utilizando-se a Equação 4 (Seção 2.6.5).

### 3.1.4 Fase V

Efetua-se a comparação e definição da alternativa, inclui-se a arguição sobre o projeto selecionado, destacando-se os critérios de decisão e os resultados futuros esperados sobre a sua implantação (CÔRTEZ, 2012).

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 Fase III: Coleta dos Dados

#### 4.1.1 1º Passo: Características da Escola

A EEEM Dr. Romário possui dois andares, térreo e superior, com 578 pontos de iluminação (luminárias) e 1.156 lâmpadas fluorescentes tubulares 36 W.

A escola funciona durante todo o dia, permanecendo aberta, em média, 13 horas por dia e 17 dias por mês em 2018. No período letivo daquele ano, aproximadamente, 628 lâmpadas permaneceram acesas.

#### 4.1.2 2º Passo: Vida Útil Lâmpadas

Segundo Osram (2013), a vida mediana da lâmpada fluorescente tubular T8 36 W é de 20 mil h, utilizando-se reator eletrônico. Já a lâmpada de LED tubular T8 18 W, de acordo com Osram (2015), possui vida mediana de 40 mil h. Calculando-se então, pela Equação 7 (Seção 3.1.3), a estimativa do tempo da vida útil,

em anos, das lâmpadas especificadas para o projeto. A LFT apresenta vida útil de 7,5 anos e a LLT de 15 anos.

Cabe dizer que, de forma a preservar o anonimato, não será divulgado no estudo a marca da lâmpada, sendo apenas caracterizada pelo nome de “marca A”.

Assim sendo, conforme Proteste (2013), as lâmpadas fluorescentes compactas da “marca A” queimam, frequentemente, após 4 anos de vida útil. Todavia, segundo Proteste (2018), as lâmpadas de LED da mesma “marca A”, não apresentam problemas antes do fim da sua vida útil.

Portanto, estima-se que 30% das LFTs queimarão após 4 anos (347 un.) e 5% das LLTs apresentarão defeito ao final de 9 anos (58 un.), ambos arredondados. Então, reserva-se um custo de manutenção das lâmpadas, acrescido ao fluxo de caixa dos tempos citados.

#### 4.1.3 3º Passo: Tarifa de Energia Elétrica

Em 2018, a escola consumiu 46.496 kWh no horário fora de ponta e 8.191 kWh no horário de ponta. Com um faturamento total de R\$ 30.714,97. Conforme Equação 8 (Seção 3.1.3), o preço médio (R\$) do kWh na análise foi de R\$ 0,56, já acrescido de ICMS, PIS/COFINS, CIP e bandeiras vigentes no período de estudo.

Realizando-se a correção monetária da  $TE_{\text{anual}}$  com um IGP-M de 6,10%, obtido da média dos últimos 15 anos desse índice.

### 4.2 Fase IV: Análise Econômica

#### 4.2.1 1ª Etapa: Custos das Alternativas

O valor total unitário de aquisição de um kit lâmpada fluorescente é de R\$ 57,61 e de um kit LED é de R\$ 131,05. Onde o custo total do

kit lâmpada LED é de R\$ 75.746,90 e da LFT de R\$ 33.298,58, para as 578 luminárias instaladas.

O custo da mão de obra do electricista e auxiliar, por luminária, é de R\$ 9,78 e R\$ 3,17, respectivamente, o valor é o mesmo para os dois tipos de lâmpadas, uma vez que, não há na tabela do SINAPI o orçamento analítico do serviço de instalação da lâmpada LED. Realiza-se, também, a troca das luminárias em ambos os tipos de lâmpadas, acrescentando-se, assim, o custo de remoção de R\$ 0,94, por luminária, no seu custo de instalação final. Assim, o custo total de remoção é de R\$ 543,32 e instalação é de R\$ 7.485,10.

Portanto, somando-se os custos totais, o valor de aquisição da alternativa com LFT é de R\$ 41.327,00 e com LLT é de R\$ 83.775,32. Ainda, considerando-se as informações sobre manutenção periódica, o custo total de manutenção da LFT é de R\$ 4.536,14 e da LLT é de R\$ 3.370,90.

O CEE<sub>mês</sub> da LFT é de 5.190,67 kWh e a LLT de 2.498,18 kWh, assim, a economia anual da utilização de LLTs é de R\$ 18.093,51.

#### 4.2.2 2ª Etapa: Taxa de Juros

Segundo Tolmasquim (2007), a taxa a ser considerada em aplicações de avaliação das alternativas de expansão e eficiência energética é

a TMA de, no mínimo, 8% ao ano (a.a.), com base no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030.

#### 4.2.3 3ª Etapa: Fluxos de Caixa

Na Tabela 1 estão apresentados os valores do horizonte de análise (n), da TE(n) de correção, do FCL(n) e do VP(n) das alternativas.

A coluna da TE é calculada pela Equação 9 (Seção 3.1.3), do FCL pela Equação 10 (Seção 3.1.4.3), do VP pela Equação 1 (Seção 2.6.2) e do FCL<sub>ideal</sub> é a economia gerada, sem correção.

##### 4.2.3.1 Alternativa com LFT

A LFT apresenta vida útil de 7,5 anos no objeto de estudo, no fim desse ciclo (ano 8), efetua-se a compra de novas lâmpadas, alcançando-se o intervalo de 15 anos. Procedimento necessário para aplicação dos métodos do VPL e TIR. O novo investimento e manutenções são corrigidos pela taxa de 3,75%, inflação acumulada em 2018 (EBC, 2019), aplicando-se a Equação 2 (Seção 2.6.3).

Portanto, investe-se o montante de R\$ 41.327,00 no ano 0 (zero) e R\$ 55.480,29 no ano 8. Observa-se também, que ocorrem saídas de caixa oriundas das manutenções programadas nos anos 4 e 12, no valor de R\$ 5.255,81 e R\$ 7.055,76, respectivamente.

**Tabela 1** – Fluxo de caixa das alternativas.

n (ano)	TE <sub>(n)</sub>	LFT		LLT	
		FCL <sub>(n)</sub>	VP <sub>(n)</sub>	FCL <sub>(n)</sub>	VP <sub>(n)</sub>
0	-	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 83.775,32	-R\$ 83.775,32
1	R\$ 0,56	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 18.093,51	R\$ 16.753,25
2	R\$ 0,59	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 19.196,97	R\$ 16.458,31
3	R\$ 0,63	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 20.367,73	R\$ 16.168,56
4	R\$ 0,67	-R\$ 5.255,81	-R\$ 3.863,17	R\$ 21.609,89	R\$ 15.883,91
5	R\$ 0,71	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 22.927,80	R\$ 15.604,28
6	R\$ 0,75	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 24.326,09	R\$ 15.329,56
7	R\$ 0,80	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 25.809,65	R\$ 15.059,68
8	R\$ 0,85	-R\$ 55.480,29	-R\$ 29.974,27	R\$ 27.383,69	R\$ 14.794,56
9	R\$ 0,90	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 29.053,73 -R\$ 4.525,33	R\$ 12.270,31
10	R\$ 0,95	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 30.825,62	R\$ 14.278,22

11	R\$ 1,01	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 32.705,56	R\$ 14.026,86
12	R\$ 1,07	-R\$ 7.055,76	-R\$ 2.801,94	R\$ 34.700,16	R\$ 13.779,91
13	R\$ 1,14	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 36.816,41	R\$ 13.537,32
14	R\$ 1,21	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 39.061,71	R\$ 13.298,99
15	R\$ 1,28	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 41.443,95	R\$ 13.064,86

Fonte – Autor (2019).

Não há economia de energia elétrica no projeto com LFT, assim, o  $FCL_{(n)}$  representa somente os dispêndios com as compras e manutenções.

#### 4.2.3.2 Alternativa com LLT

Verifica-se um investimento inicial de R\$ 83.775,32 e uma série de entradas de caixa, gerada pela economia anual no consumo, até o término da vida útil do tubo de LED. O valor inicial economizado é de R\$ 18.093,51, após é anualizado pela nova TE anual.

No ano 9, há uma saída de caixa de R\$ 4.525,33, valor obtido da correção inflacionária em 3,75% da manutenção programada, utilizando-se a Equação 2 (Seção 2.6.3).

#### 4.2.4 4ª Etapa: Métodos

##### 4.2.4.1 1º Passo: $FCL_{acum}$

Com o fluxo de caixa determinado, calculam-se os  $FCL_{acum}$  das alternativas, através da Equação 11 (Seção 3.1.4.4), contidos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Prognóstico da recuperação do investimento das alternativas.

n (ano)	LFT	LLT
	$FCL_{acum(n)}$	$FCL_{acum(n)}$
0	-R\$ 41.327,00	-R\$ 83.775,32
1	-R\$ 41.327,00	-R\$ 67.022,07
2	-R\$ 41.327,00	-R\$ 50.563,75
3	-R\$ 41.327,00	-R\$ 34.395,19
4	-R\$ 45.190,17	-R\$ 18.511,28
5	-R\$ 45.190,17	-R\$ 2.907,00
6	-R\$ 45.190,17	R\$ 12.422,56
7	-R\$ 45.190,17	R\$ 27.482,24
8	-R\$ 75.164,45	R\$ 42.276,80
9	-R\$ 75.164,45	R\$ 54.462,22
10	-R\$ 75.164,45	R\$ 68.740,44
11	-R\$ 75.164,45	R\$ 82.767,30
12	-R\$ 77.966,39	R\$ 96.547,21
13	-R\$ 77.966,39	R\$ 110.084,52

14	-R\$ 77.966,39	R\$ 123.383,51
15	-R\$ 77.966,39	R\$ 136.448,37

Fonte: Autor (2019).

Verifica-se que o  $FCL_{acum}$  da LFT não gera valor, mantém-se negativo durante todo o horizonte de análise. Já o  $FCL_{acum}$  da LLT apresenta retorno positivo no ano 6, zerando o investimento inicial.

##### 4.2.4.2 2º Passo: VPL

Calcula-se o VPL das alternativas, através da Equação 3 (Seção 2.6.4).

Segundo os critérios do VPL, o investimento na reposição das LFT é inviável, seu valor é negativo (-R\$ 77.966,39), não há recuperação do investimento. Entretanto, o investimento na substituição por lâmpadas de LED é viável, acumulando valor considerável no decorrer da sua vida útil (R\$ 136.448,37).

##### 4.2.4.3 3º Passo: TIR

Calcula-se a TIR das alternativas, através da Equação 6 (Seção 2.6.7).

O investimento na reposição das LFT não possui TIR, visto que há somente saídas de caixa do projeto econômico, sendo assim, não produz retorno monetário da sua aquisição. Contudo, a TIR do investimento na substituição por tubos de LED apresenta uma taxa de 25,89%, maior que a TMA aplicada, apresentando-se viável sua execução.

##### 4.2.4.4 4º Passo: VAUE

Calcula-se o VAUE das alternativas, através da Equação 5 (Seção 2.6.6). Como o

VAUE permite a comparação de duas alternativas com horizontes de análise diferentes, recalcula-se o VPL da LFT. Assim, com base na vida útil de um investimento único em lâmpadas fluorescentes, 8 anos, encontra-se o novo valor de -R\$ 45.190,17.

Em consoante com os critérios do VAUE, o investimento na reposição das LFT é inviável, seu valor é negativo (-R\$ 7.863,76), não há recuperação do investimento. Entretanto, o investimento na substituição por lâmpadas de LED é viável, série uniforme positiva, no valor de R\$ 15.941,20.

#### 4.2.4.5 5º Passo: *Payback*

Efetua-se a análise visual do  $FCL_{acum}$  das alternativas, verificando-se o momento em que essas variáveis se tornam maiores que zero. Percebe-se que somente a LLT recupera o valor investido. Então, calcula-se o tempo de retorno exato dessa alternativa, através da Equação 4 (Seção 2.6.5), recuperando-se o investimento em 5 anos e 2 meses.

### 4.3 Fase V: Comparação das Alternativas

A alternativa com LLT supera a alternativa da LFT na capacidade de gerar valor, nos quatro métodos aplicados, sendo medido pelo VPL à taxa de 8% a.a. e com a TIR maior que essa TMA. O VAUE da alternativa com LLT é maior que o da LFT, além disso, os critérios do retorno do capital investido também a favorecem, ocorre em 5 anos e 2 meses. Resultados contidos na Tabela 3.

**Tabela 3** – Resultados alternativas.

	VPL (R\$)	TIR (%)	VAUE (R\$)	$Pay_{descontado}$
LFT	-77.966,39	-	-7.863,76	-

LLT	136.448,37	25,89	15.941,20	5,2 anos
-----	------------	-------	-----------	----------

Fonte – Autor (2019).

Não há entradas de caixa para o projeto com LFT e, conseqüentemente, não há retorno do investimento, porém, o projeto possui investimento inicial inferior. Entretanto, como não produz economia de energia, em longo prazo o tubo de LED recupera o investimento.

Portanto, a decisão final de execução, cabe à alternativa com a implantação de lâmpadas de LED tubular. Esta maximiza a criação de valor, recuperando o investimento realizado antes do fim da sua vida útil. Possibilita, inclusive, reinvestimento em componentes novos ao término do horizonte de análise, com a mesma quantidade de lâmpadas, conforme o resultado do  $FCL_{acum(15)}$ .

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se no presente trabalho uma avaliação econômica sobre a implantação de lâmpadas de LED 18 W no lugar de LFTs 36 W, em um estudo de caso. O local escolhido para análise foi a EEEM Dr. Romário, situada no município de Alegrete/RS.

Dividiu-se a análise em duas alternativas, uma com reposição de LFTs e, a outra, com a substituição por LLTs. Utilizou-se a base de dados do SINAPI desonerado de dez/2018, coletando-se os custos com os componentes da construção civil, envolvidos no estudo.

O desenvolvimento da pesquisa foi possível mediante utilização de uma metodologia científica da análise econômica. Permitindo-se que os objetivos almejados no projeto, pudessem ser alcançados com as ferramentas propostas, matematicamente, do que com a própria sorte.

Dessa forma, a rentabilidade do investimento na substituição de LFT por LLT foi favorável. O *retrofit* por LLTs ostentou-se com viabilidade econômica positiva, apresentando retorno em, aproximadamente, 5 anos e 2 meses. As demais ferramentas de análise utilizadas, também atingiram os seus respectivos critérios de avaliação, com o VPL e o VAUE positivos e, a TIR maior que a TMA de 8% aplicada.

Assim sendo, cientificamente a alternativa com LLT mostrou-se a mais indicada à implantação, gerando mais valor ao projeto de investimento. Aproximando-se de forma mais precisa a realidade do ambiente e adversidades no horizonte de análise.

## REFERÊNCIAS

- ABILUX — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Abilux aponta medidas para reduzir o consumo de energia**. 2015. Disponível em: <[http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque\\_2015-02-12.pdf](http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque_2015-02-12.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.
- BRASIL. Poder Executivo. Decreto nº 7.983, de 8 de abril de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília: Poder Executivo, 8 abr. 2013.
- CAIXA. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 2019. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/paginas/default.aspx>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- CAMARGO, I. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico**. 1. ed. Brasília: Finatec, 1998.
- CASAROTTO, F. N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CHENG, Y. K.; CHENG, K. W. E. General study for using LED to replace traditional lighting devices. In: **2006 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications**. IEEE, 2006. p. 173-177.
- CÔRTEZ, J. G. P. **Introdução à economia da engenharia: Uma Visão do Processo de Gerenciamento de Ativos de Engenharia**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012.
- DEGEN, R. J. **O empreendedor: fundamentos da iniciativa empresarial**. São Paulo: Makron Books, 1989.
- EBC — EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. **Inflação Oficial Fecha 2018 em 3,75% / Agência Brasil - EBC**. 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-01/inflacao-oficial-fecha2018em375>>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- EHRlich, P. J.; MORAES, E. A. d. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- EPE — EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.
- FGV — FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Índice Geral de Preços do Mercado**. 2019. Disponível em: <<https://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- INMETRO — INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria nº 389, de 25 de agosto de 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2014.
- INMETRO — INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria nº 144, de 13 de março de 2015. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2015.
- LIANG, T. J. et al. Design and implementation of retrofit LED lamp for fluorescent lamp driven

by electronic, electromagnetic ballast and AC mains. In: **2013 1st International Future Energy Electronics Conference (IFEEC)**. IEEE, 2013. p. 585-589.

OLIVEIRA, G. d. S. et al. Power quality of LED lamps. In: **2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)**. IEEE, 2016. p. 575-580.

OSRAM. Soluções em LED OSRAM. **Catálogo LED OSRAM**. [S. l.: s. n.], 2015.

PROCEL — PROGRAMA NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Resultados do PROCEL 2018**: Ano Base 2017. Rio de Janeiro: PROCEL, 2018.

PROTESTE. **Lâmpadas Pouco Duráveis e de Baixa Qualidade**. 2013. Disponível em: <<https://www.proteste.org.br/suas-contas/energia-e-gas/noticia/lampadas-pouco-duraveis-e-de-baixa-a-qualidade>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

PROTESTE. **Saiba Quais Lâmpadas de LED Duram Mais**. 2018. Disponível em: <<https://www.proteste.org.br/suas-contas/energia-e-gas/noticia/saiba-quais-lampadas-de-led-duram-mais>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

PROVOOST, R.; GOETZELER, M. A global transition to efficient lighting. *Climate and Action Technology and Business*, p. 84-85, 2010. SINNADURAI, R.; KHAN, M. A.; AZRI, M. Development of white LED down light for indoor lighting. In: **2012 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT)**. IEEE, 2012. p. 242-247.

TÔRRES, O. F. F. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos**. São Paulo: Thomson Learning, 2006.

WAIDE, P.; TANISHIMA, S. Light's labour's lost: policies for energy-efficient lighting. **OECD Publishing**, 2006.

---

**Paulo Ricardo Fiuza**

Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Especialista em Engenharia Econômica pela UNIPAMPA. Graduado em Engenharia Elétrica pela UNIPAMPA.

---

---

**Fladimir Fernandes dos Santos**

Docente na UNIPAMPA. Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia de Produção pela UFSC. Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

---

---

**Aline Soares**

Graduanda em Administração Pública pela UNIPAMPA. Graduada em Gestão Ambiental pela Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR).

---

---

**Alex Itczak**

Mestrando em Engenharia Elétrica pela UNIPAMPA. Graduado em Engenharia Elétrica pela UNIPAMPA.

---

---

**Arian Fagundes**

Mestrando em Engenharia Elétrica pela UNIPAMPA. Especialista em Engenharia Econômica pela UNIPAMPA. Graduado em Engenharia Elétrica pela UNIPAMPA.

---