

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA ECONÔMICA**

**PAULO RICARDO FIUZA MARQUES**

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

**Alegrete  
2019**



**PAULO RICARDO FIUZA MARQUES**

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

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Engenharia Econômica, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Especialista em Engenharia Econômica.

Orientador: Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

**Alegrete  
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F357a Fiuza, Paulo Ricardo

Análise da Viabilidade Econômica da Implantação de  
Tecnologia LED na Iluminação Interna de uma Escola Pública /  
Paulo Ricardo Fiuza.

101 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Especialização)--  
Universidade Federal do Pampa, ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA  
ECONÔMICA, 2019.

"Orientação: Fladimir Fernandes".

1. Eficiência Energética. 2. Iluminação LED. 3. Engenharia  
Econômica. 4. Viabilidade Econômica. I. Título.

PAULO RICARDO FIUZA MARQUES

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

Monografia apresentada ao curso de  
Especialização em Engenharia Econômica, da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Especialista em Engenharia Econômica.

Monografia defendida e aprovada em: 22 de maio de 2019.

Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

Orientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Roberlaine Ribeiro Jorge

UNIPAMPA



---

Prof. Me. Thiago Eliandro de Oliveira Gomes

UNIPAMPA



## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida.

A minha família pelo carinho, incentivo e por possibilitarem a conclusão de mais esta etapa na minha formação acadêmica. Obrigado por compartilharem dos meus objetivos, cada resultado alcançado é uma forma de retribuir a dedicação de vocês.

A Universidade Federal do Pampa pela estrutura e corpo docente qualificado, oportunizando a formação em uma instituição pública de qualidade.

Ao professor Fladimir Fernandes dos Santos pela orientação e transmissão do seu conhecimento.

A escola EEEM Dr. Romário Araújo de Oliveira, na pessoa da professora Ana Lúcia Vargas, e a 10ª CROP da 4ª região, na pessoa do engenheiro eletricista Alex Itczak, por cederem seus tempos e informações para o desenvolvimento do trabalho.



“Não creio que haja uma emoção mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando”.

Nikola Tesla



## RESUMO

A partir dos anos 2000, a tecnologia LED vem ganhando espaço no setor de iluminação interna de ambientes diversos, inclusive escolas. Apresenta inúmeros benefícios em relação às tecnologias utilizadas atualmente, porém, seu investimento inicial ainda é bastante alto. Contudo, mediante análise econômica, geralmente, possibilita-se a viabilização da utilização dessa tecnologia. 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 EEEM Dr. Romário, situada no município de Alegrete/RS. Essa escola é beneficiária do Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas, executado pela SOP do RS. Divide-se a análise em dois casos, o Caso I aborda a viabilidade de duas alternativas, uma com a reposição de novas lâmpadas fluorescentes e a outra com a substituição por lâmpadas de LED, o sistema atual utiliza lâmpadas fluorescentes tubulares. Utiliza-se, neste caso, a base de dados do SINAPI desonerado de dez/2018, coletando-se os custos com os componentes da construção civil, envolvidos no estudo. No Caso II, verifica-se a viabilidade de investimento na substituição do sistema atual de iluminação por lâmpadas de LED. Os custos da mão de obra e dos componentes que compõem uma luminária LED no Caso II foram obtidos do SGO 2018, utilizado pela 10ª CROP da 4ª região. Possibilitou-se o desenvolvimento da pesquisa mediante utilização de uma metodologia científica da análise econômica. Permitindo-se que os objetivos almejados no projeto, possam ser alcançados com as ferramentas propostas, matematicamente, do que com a própria sorte. Logo, o presente trabalho objetiva demonstrar as consequências econômicas, sobre a viabilidade econômica de um projeto de eficiência energética na iluminação de uma escola pública. Validando-se de uma metodologia de cálculos para levantamento dos custos envolvidos no projeto econômico. Assim sendo, o retorno monetário do investimento na substituição de LFT por LLT é favorável, em ambos os casos. O *retrofit* por lâmpadas de LED ostenta-se com viabilidade econômica positiva. O Caso I apresenta retorno em 5 anos e 2 meses, e o Caso II, em 7 anos e 9 meses, de acordo com o *payback* descontado. 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.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Iluminação LED, Engenharia Econômica, Viabilidade Econômica.



## ABSTRACT

Since the 2000s, LED technology has been gaining ground in the indoor lighting sector of diverse environments, including schools. It has many benefits compared to the technologies used today, but its initial investment is still quite high. However, through economic analysis, generally, it is possible to make feasible the use of this technology. 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 site chosen for the analysis was the EEEM Dr. Romário, located in the city of Alegrete / RS. This school is a beneficiary of the State Program for the Modernization of Electrical Installations in Public Schools, executed by SOP do RS. The analysis is divided into two cases, Case I discusses the feasibility of two alternatives, one with the replacement of new fluorescent lamps and the other with replacement with LED lamps, the current system uses tubular fluorescent lamps. In this case, the SINAPI data base of dec/2018 is used, and the costs of the civil construction components involved in the study are collected. In Case II, there is the feasibility of investing in the replacement of the current system of lighting by LED lamps. The labor costs and the components that make up an LED luminaire in Case II were obtained from the SGO 2018, used by the 10th CROP of the 4th region. It was possible to develop the research using a scientific methodology of economic analysis. Allowing that the goals sought in the project can be achieved with the proposed tools, mathematically, than with luck itself. Therefore, the present work aims to demonstrate the economic consequences, on the economic feasibility of an energy efficiency project in the illumination of a public school. Validating a calculation methodology for surveying the costs involved in the economic project. Therefore, the monetary return of the investment in the replacement of LFT by LLT is favorable, in both cases. Retrofit by LED bulbs boasts economical positive viability. Case I returns in 5 years and 2 months, and Case II in 7 years and 9 months, according to the discounted payback. The other analysis tools used also reached their respective evaluation criteria, with the NPV and the VAUE positive, and the IRR greater than the 8% TMA applied.

Keywords: Energy Efficiency, LED Lighting, Economic Engineering, Economic Viability.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lâmpada fluorescente tubular.....	37
Figura 2 - Circuitos Reator Eletromagnético (a) e Reator Eletrônico (b) .....	39
Figura 3 - Pastilha semicondutora: LED .....	40
Figura 4 – Componentes de iluminação .....	41
Figura 5 - Facho luminoso LFT x LLT .....	43
Figura 6 - Carimbo de informações da lâmpada .....	43
Figura 7 - Etapas de um sistema de engenharia.....	49
Figura 8 - Princípios do estudo em engenharia econômica .....	49
Figura 9 - Fluxo de caixa.....	51
Figura 10 - Processos do trabalho científico .....	59
Figura 11 – Processos da tomada de decisão em engenharia econômica.....	61
Figura 12 - Etapas da análise econômica dos projetos .....	63
Figura 13 - Fluxo de caixa líquido - Caso I: Projeto com LFT .....	79
Figura 14 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LLT .....	80
Figura 15 - Fluxo de caixa do valor anual uniforme equivalente - Caso I.....	84
Figura 16 - Fluxo de caixa - Caso II: Projeto com LLT .....	89
Figura 17 - Fluxo de caixa do valor anual uniforme equivalente - Caso II.....	91



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da LFT T8 de 36 W.....	37
Tabela 2 - Características da lâmpada LED T8 de 18 W .....	41
Tabela 3 - Comparação LFT 36 W x LLT 18 W .....	42
Tabela 4 - Classificação dos grupos de consumidores de energia elétrica .....	47
Tabela 5 - Relação de luminárias por ambiente da escola.....	67
Tabela 6 - Período letivo da EEEM Dr. Romário em 2018.....	68
Tabela 7 - Luminárias em operação por turno de funcionamento da escola .....	69
Tabela 8 - Faturas de energia elétrica da escola em 2018 .....	71
Tabela 9 - IGP-M e reajuste tarifário.....	72
Tabela 10 - Custos de aquisição das alternativas – Caso I.....	74
Tabela 11 - Custos de remoção, instalação e manutenção – Caso I.....	75
Tabela 12 - Informações sobre a manutenção das lâmpadas – Caso I .....	76
Tabela 13 - Consumo de energia das alternativas - Caso I.....	76
Tabela 14 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LFT .....	78
Tabela 15 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LLT.....	79
Tabela 16 - Prognóstico da recuperação do investimento - Caso I: Projeto com LFT.....	81
Tabela 17 – Prognóstico da recuperação do investimento - Caso I: Projeto com LLT.....	82
Tabela 18 - Resultados dos métodos de análise econômica - Caso I .....	85
Tabela 19 - Custos de aquisição da alternativa – Caso II.....	86
Tabela 20 – Consumo de energia da alternativa – Caso II.....	87
Tabela 21 – Fluxo de caixa - Caso II: Projeto com LLT.....	88
Tabela 22 – Prognóstico da recuperação do investimento - Caso II: Projeto com LLT.....	90
Tabela 23 - Resultados dos métodos de análise econômica - Caso II.....	93
Tabela 24 – Análise comparativa dos casos .....	93



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus <i>Celsius</i> – Unidade Termométrica
A	Série Uniforme
a.a.	Ao Ano
Am	Bandeira Tarifa Amarela
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BTE	Bandeira Tarifa de Energia
cd	Candela – Unidade Luminotécnica
CEE <sub>mês</sub>	Consumo de Energia Elétrica Mensal
CIEP	Centro Integrado de Educação Pública
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CROP	Coordenadoria Regional de Obras Públicas
D	Diâmetro – Unidade de Área
Dr.	Doutor
EEEM	Escola Estadual de Ensino Médio
EJA	Educação de Jovens e Adultos
FC	Fluxo de Caixa
FCL	Fluxo de Caixa Líquido
FCL <sub>acum</sub>	Fluxo de Caixa Líquido Acumulado
h	Horas
i	Taxa de Juros
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IR	<i>Infra Red</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cor
K	Graus <i>Kelvin</i> – Unidade Termométrica
k	Quilo – Unidade de medida multiplicada por 1.000
l	Comprimento – Unidade de Área
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LFT	Lâmpada Fluorescente Tubular
LLT	Lâmpada LED Tubular

lm	Lúmen – Unidade Luminotécnica
lx	Lux – Unidade Luminotécnica
m	Mili – Unidade de medida dividida por 1.000
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado – Unidade de Área
MME	Ministério de Minas e Energia
n	Nano – Unidade de medida dividida por 1.000.000.000
nº	Número
PIS	Programa de Integração Social
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Qtde	Quantidade
RE	Reator Eletrônico
REM	Reator Eletromagnético
R\$	Real – Unidade Monetária
RS	Rio Grande do Sul
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SOP	Secretaria de Obras e Planejamento
T	Tera – Unidade de medida multiplicada por 1.000.000.000.000
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
un	Unidade
UV	Ultra Violeta
V	<i>Volt</i> – Unidade Elétrica
VAUE	Valor Anual Uniforme Equivalente
Vd	Bandeira Tarifa Verde
VF	Valor Futuro
Vm1	Bandeira Tarifa Vermelha Patamar 1
Vm2	Bandeira Tarifa Vermelha Patamar 2
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
W	<i>Watt</i> – Unidade Elétrica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos do Trabalho.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3</b>	<b>Estado da Arte.....</b>	<b>29</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da Monografia .....</b>	<b>31</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1</b>	<b>Considerações Gerais .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2</b>	<b>Secretaria de Obras e Habitação do Estado do Rio Grande do Sul (SOP) .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3</b>	<b>Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) ..</b>	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b>Eficiência Energética .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6</b>	<b><i>Retrofit</i>.....</b>	<b>35</b>
<b>2.7</b>	<b>LFT x LED .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Lâmpada Fluorescente Tubular (LFT) .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Reator Eletromagnético (REM) e Reator Eletrônico (RE).....</b>	<b>38</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Lâmpada de LED Tubular (LLT).....</b>	<b>39</b>
<b>2.7.4</b>	<b>Luminária .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.5</b>	<b>Comparação LFT x LLT.....</b>	<b>42</b>
<b>2.8</b>	<b>Elementos da Fatura de Energia Elétrica .....</b>	<b>44</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Consumo de Energia Elétrica (CEE) .....</b>	<b>44</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Faturamento do CEE<sub>mês</sub> .....</b>	<b>45</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Demanda Contratada .....</b>	<b>46</b>
<b>2.8.4</b>	<b>Horário de Ponta (Pta) e Fora de Ponta (F Pta) .....</b>	<b>46</b>
<b>2.8.5</b>	<b>Períodos Anuais .....</b>	<b>46</b>
<b>2.8.6</b>	<b>Classificação dos Consumidores.....</b>	<b>46</b>
<b>2.8.7</b>	<b>Tarifa Monômnia e Binômnia de Fornecimento .....</b>	<b>47</b>
<b>2.8.8</b>	<b>Estrutura Tarifária.....</b>	<b>47</b>
<b>2.8.9</b>	<b>Bandeiras Tarifárias (BTE) .....</b>	<b>48</b>
<b>2.9</b>	<b>Análise de Investimentos em Projetos de Engenharia.....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.1</b>	<b>Juros (i).....</b>	<b>50</b>

2.9.2	Taxa Mínima de Atratividade (TMA) .....	50
2.9.3	Fluxo de Caixa (FC).....	51
2.9.4	Série Uniforme e não uniforme (A) .....	52
2.9.5	Valor Presente (VP) e Valor Futuro (VF) .....	52
2.9.6	Método do Valor Presente Líquido (VPL) .....	53
2.9.7	Método do <i>Payback</i> .....	54
2.9.8	Método do Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE).....	55
2.9.9	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR).....	56
2.10	Considerações Finais .....	57
3	<b>METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>58</b>
3.1	Considerações Gerais .....	58
3.2	Metodologia do trabalho científico.....	58
3.3	Metodologia da análise econômica .....	60
3.3.1	Fase I.....	61
3.3.2	Fase II .....	61
3.3.3	Fase III.....	62
3.3.4	Fase IV .....	63
3.3.5	Fase V.....	66
3.4	Considerações Finais .....	66
4	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>67</b>
4.1	Considerações Gerais .....	67
4.2	Fase III – 1º Passo: Características da Escola.....	67
4.3	Fase III – 2º Passo: Vida Útil e Manutenção das Lâmpadas .....	69
4.4	Fase III – 3º Passo: Faturamento de Energia Elétrica da Escola.....	71
4.5	Considerações Finais .....	73
5	<b>ANÁLISE DOS CASOS DE INVESTIMENTO.....</b>	<b>74</b>
5.1	Considerações Gerais .....	74
5.2	Caso I – SINAPI.....	74
5.2.1	Fase IV – 1ª Etapa: Custos monetários do Caso I .....	74
5.2.2	Fase IV – 2ª Etapa: Taxa de juros do Caso I.....	77
5.2.3	Fase IV – 3ª Etapa: Fluxos de caixa do Caso I.....	77
5.2.4	Fase IV – 4ª Etapa – 1º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I.....	81
5.2.5	Fase IV – 4ª Etapa – 2º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I.....	82
5.2.6	Fase IV – 4ª Etapa – 3º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I.....	83

5.2.7	Fase IV – 4ª Etapa – 4º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I.....	83
5.2.8	Fase IV – 4ª Etapa – 5º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I.....	84
5.2.9	Fase V: Viabilidade Econômica do Caso I .....	85
5.3	Caso II – Sistema de Gestão de Obras (SGO).....	86
5.3.1	Fase IV – 1ª Etapa: Custos monetários do Caso II.....	86
5.3.2	Fase IV – 2ª Etapa: Taxa de juros do Caso II.....	88
5.3.3	Fase IV – 3ª Etapa: Fluxo de caixa do Caso II.....	88
5.3.4	Fase IV – 4ª Etapa – 1º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II.....	90
5.3.5	Fase IV – 4ª Etapa – 2º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II.....	90
5.3.6	Fase IV – 4ª Etapa – 3º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II.....	91
5.3.7	Fase IV – 4ª Etapa – 4º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II.....	91
5.3.8	Fase IV – 4ª Etapa – 5º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II.....	92
5.3.9	Fase V: Viabilidade Econômica do Caso II.....	92
5.4	Comparação dos Casos.....	93
5.5	Considerações Finais .....	94
6	CONCLUSÃO .....	95
	REFERÊNCIAS.....	97



## 1 INTRODUÇÃO

Nos anos 2000, as questões na área da economia de energia elétrica ganharam notoriedade na geopolítica de muitos países e ocupam cada vez mais espaço. Está conectado com o aumento da influência do volume de geração de energia sobre o meio ambiente. A utilização da energia sustentável surge em um momento de escassez de recursos e consumo crescente, problemas agravantes na comunidade global, cuja solução está se tornando um objetivo estratégico para muitos países.

A prolongada recessão econômica mundial, 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 de energia.

Os gastos com energia crescem proporcionalmente à demanda dos consumidores em todo o mundo, e a demanda mundial, por energia elétrica, deverá dobrar até 2025 (WAIDE; TANISHIMA, 2006; EPE, 2017). Segundo Tolmasquim (2007) e EPE (2017), o Ministério de Minas e Energia (MME) brasileiro, estima um consumo de 1.032,7 TWh em 2030 no país. Tais gastos maximizam a problemática da eficiência dos sistemas de iluminação. A adoção de tecnologias avançadas, para a utilização eficiente dos recursos, poderá oferecer uma maneira de evitar escassez de energia elétrica (PROVOOST; GOETZELER, 2010).

O dispêndio eficiente da energia pode contribuir, inclusive, com a redução geral do consumo de combustíveis fósseis. Em termos ambientais, significa a redução no consumo de recursos energéticos não renováveis e das emissões de dióxido de carbono, conservação de energia elétrica e economia de petróleo. O consumo de energia, associado à iluminação, é responsável por, cerca de, 7% das emissões de gases de efeito estufa (WAIDE; TANISHIMA, 2006; ANEEL, 2008a; PROVOOST; GOETZELER, 2010).

Segundo Waide e Tanishima (2006), a iluminação artificial correspondia a 19% da geração global de eletricidade em 2006, apresentando grande impacto no consumo de energia elétrica. Também identificou em sua análise, das tendências globais de economia e eficiência energética, que a demanda por iluminação artificial crescerá 60% nos próximos 20 anos. 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.

De acordo com ANEEL (2008a) e EPE (2017), no ano de 2010, o MME do Brasil, publicou a portaria interministerial nº 1.007/31 de dezembro de 2010, que dispõe sobre as regras da eficiência energética em lâmpadas incandescentes, a fim de reduzir gradativamente o seu uso. Conseqüentemente, novos estudos estão sendo realizados, para redução das Lâmpadas Fluorescentes Tubulares (LFTs), até a extinção delas do mercado brasileiro.

Em 2012, a União Europeia proibiu a venda de lâmpadas incandescentes e, em 2014, os Estados Unidos promulgou um regulamento que previa a eliminação total de fontes de luz ineficientes, gerando uma economia acima dos 20 bilhões de dólares. Felizmente, esses países não estão sozinhos na busca da conservação energética e popularização da iluminação artificial com baixo consumo de eletricidade (PROVOOST; GOETZELER, 2010).

Programas de conscientização, sobre o uso de energia elétrica e eliminação gradual das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, também estão sendo desenvolvidos na Austrália, Argentina, Cazaquistão, China, Coréia do Sul, Japão, Nova Zelândia, Rússia, totalizando mais de 30 países (PROVOOST; GOETZELER, 2010).

O Japão foi um dos pioneiros nessa área, iniciando em 1998 programas nacionais de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), posteriormente, em 2004, a China iniciou sua ambiciosa meta de economizar 100 TWh até 2015, com a substituição de 40% das suas LFTs por lâmpadas de estado sólido (MARTINEZ, 2014). A Rússia consome cerca de 110 TWh anualmente à iluminação e avalia que, com essas políticas de redução, o consumo de energia elétrica possa ser atenuado em 39%, aproximadamente (ENERGY, 2015).

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 Tubular (LLT) são reconhecidas pelos seus atraentes indicadores de desempenho, como alta eficiência luminosa e confiabilidade, 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).

Ainda, de acordo com Cheng e Cheng (2006), os modernos sistemas de iluminação com tecnologia LED oferecem um consumo de energia reduzido, em comparação com os sistemas de iluminação baseados em LFTs, a tecnologia de iluminação com semicondutores possui uma série de vantagens operacionais.

A aquisição de tubos de LED cresceu no mundo, de 170 mil unidades, em 2013, para 10 milhões, em 2018, e, em termos monetários, de 2,2 milhões para 42 milhões de dólares, respectivamente. A China é responsável por 95% da produção mundial. O crescimento do mercado de lâmpadas deve-se a redução dos seus custos de produção, favorecendo o surgimento de novos nichos consumidores, como os ambientes administrativos, compostos por escritórios, hotelaria, entre outros (PROVOOST; GOETZELER, 2010; BLUM, 2018).

No Brasil, após a regulamentação pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), houve um aumento de, aproximadamente, 95% na aquisição de luminárias para ambientes internos, importando-se 120 milhões de unidades em 2018 (BOMILCAR; BLUM, 2018).

Segundo Martinez (2014), a iluminação LED, em 2014, era responsável por 19% do mercado mundial de iluminação e, só na América Latina, representava 24%, prevendo-se, ainda, que até 2020 seja responsável por 70% desse mercado. No Brasil, de acordo com Abilumi (2017), o percentual de utilização de lâmpadas de LED era de 20% em 2016, estimando-se, ainda, o domínio total do mercado brasileiro e mundial em 2018.

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).

As decisões de troca de equipamentos possuem grande importância e envolvem cuidados criteriosos, geralmente são irreversíveis, não possuem liquidez e necessitam de substancial quantia de capital investido. 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. E, mesmo em atualizações obrigatórias, como as solicitadas pelo INMETRO, cabem à avaliação da viabilidade econômica da adequação (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

No processo de análise e decisão, do pré-investimento, encontram-se as grandes oportunidades de otimização do desenvolvimento da solução e, conseqüentemente, redução

dos seus custos. Cerca de 80% dos custos desembolsados durante o ciclo de vida, em um projeto de investimento, são definidos na sua etapa inicial (CÔRTEZ, 2012).

Neste contexto, trabalhos de efficientização energética com a análise técnico-econômica da viabilização do investimento, são de suma importância na contribuição do uso eficiente e redução dos gastos monetários com energia elétrica. Assim sendo, o presente trabalho expõe a viabilidade técnico-econômica da substituição de LFTs por LLTs na escola doutor (Dr.) Romário Araújo de Oliveira, localizada na cidade de Alegrete/RS. Esta instituição é beneficiária do Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas. Realizando-se, assim, o estudo e análise econômica comparativa com o orçamento gerado pela Secretaria de Obras e Planejamento (SOP) gaúcha.

Portanto, a pesquisa apresentada, consiste na análise econômica sobre a tomada de decisão em projetos de engenharia, utilizando-se de métodos como valor presente líquido, taxa interna de retorno, valor anual uniforme equivalente e *payback*.

## **1.1 Objetivos do Trabalho**

O objetivo geral do trabalho é analisar a viabilidade econômica da substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas de LED tubulares, na escola Dr. Romário.

Os objetivos específicos são:

1 - Promover a conscientização e conhecimentos sobre a efficientização energética ideal à iluminação interna, a partir da troca por sistemas mais eficientes nos circuitos de iluminação. Propiciando, assim, a redução no consumo de eletricidade e melhoria nos índices de iluminamento desses ambientes;

2 - Realizar uma revisão bibliográfica que dê argumentos sólidos sobre a viabilidade técnica da troca das lâmpadas e utilização de tubos de LED; e

3 - Gerar uma análise comparativa entre as alternativas dos casos de investimento, verificando-se a tomada de decisão sobre qual alternativa executar. Delimitando-se na arguição, acerca, dos componentes que envolvem a função fim da iluminação, ou seja, lâmpadas, reatores, luminárias e mão de obra.

## 1.2 Justificativa

A iluminação consome um percentual significativo de energia elétrica no Brasil e no mundo. Ademais, a maioria das instalações elétricas atuais, dos circuitos de iluminação, possuem tecnologias defasadas e ineficientes no âmbito energético.

Denota-se que, novos estudos na área podem contribuir para o uso eficiente de energia, com ganhos econômicos, além de promover a sustentabilidade, visto que contribuirá à área ambiental.

Destaca-se, ainda, que as lâmpadas de LED fabricadas atualmente apresentam desempenho superior, quando comparadas com as produzidas no início da regulamentação do INMETRO, em 2016. A evolução desta tecnologia é constante, em 2016 os valores de iluminância eram de 60 lm/W e, em 2018, ultrapassam os 90 lm/W (BLUM, 2018).

Portanto, o investimento em sistemas de iluminação eficientes auxilia na atenuação do consumo de energia elétrica, reduz custos e, principalmente, contribui à preservação ambiental. Assim, devido aos altos investimentos na aquisição de lâmpadas com tecnologia LED, torna-se necessário um estudo econômico para justificar e viabilizar tal *retrofit*.

## 1.3 Estado da Arte

Diversos trabalhos foram realizados, no Brasil e no mundo, sobre a análise econômica e técnica entre LFT e LLT, atestando, mediante experimentos em laboratório e instalação em edificações, os resultados, geralmente, satisfatórios a respeito da utilização de tecnologia semicondutora.

Realizou-se, em Bley (2012), o estudo técnico-econômico comparativo entre lâmpadas LED e convencionais, como halógenas, incandescentes e fluorescentes. Considerou itens como potência, tempo e custo de uso, eficiência energética, preços e durabilidade dessas lâmpadas. Percebe-se no supracitado estudo que, as lâmpadas de LED obtiveram larga vantagem sobre as halógenas e incandescentes, porém, com as fluorescentes as margens de retorno do investimento foram menores ou nulas, obtendo-se grande eficiência energética, atenuando o consumo de eletricidade.

Ademais, o autor concluiu que a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas de LED tubulares é inviável, do ponto de vista econômico do investimento inicial. Todavia, na análise à longo prazo e, no campo da eficiência energética, recomenda-se a troca

para redução no consumo de energia, conseqüentemente, diminui-se o custo da conta de luz, apresentando retorno financeiro sobre o investimento (BLEY, 2012).

No México, Jeremias et al. (2018) realizaram a substituição de 76 lâmpadas tubulares fluorescentes de 76 W por lâmpadas tubulares LED de 27 W, no Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio (ITSAO). Após, monitoraram o comportamento do consumo de energia elétrica mensal da instituição, comparando com as faturas de mesmo período do ano anterior. Com a mudança, obteve-se uma redução significativa no consumo de energia elétrica, cada lâmpada deixou de consumir 35,5%, refletindo uma atenuação na demanda consumida de 3.724 kWh, justificando o investimento e implantação naquela faculdade.

A pesquisa de Nair et al. (2016) analisou o desempenho e interferência na qualidade de energia da rede provocada pelas lâmpadas fluorescentes convencionais e de LED. Após testes em laboratório, identificaram com a implantação da LLT, aumento de 53% na intensidade luminosa e, mesmo assim, redução de 43% no consumo de energia. Obteve-se, ainda, alto fator de potência, baixo consumo de potência reativa, atenuação de 19% e 99% na injeção de harmônicas nos níveis de tensão e corrente da rede, respectivamente.

Ainda, Grigoryeva et al. (2017) desenvolveram um sistema automatizado de controle e análise do consumo de lâmpadas de LED. Esta automação fornece dados sobre a eficiência energética da operação da LLT. Então, com o controle dessas lâmpadas é possível economizar, em comparação com a LFT, até 12 vezes mais energia elétrica e, sem o sistema, até 3 vezes mais. Ademais, as lâmpadas fluorescentes também demandaram manutenção constante, aumentando anualmente os custos em 15%, adicionando-se ainda 5% do custo com descarte. Verificando-se, assim, que a implementação de lâmpadas de LED em ambientes administrativos e educacionais é promissora.

No trabalho de Oliveira et al. (2016), os autores analisaram, do ponto de vista da qualidade de energia e eficiência energética e, se as lâmpadas de LED presentes no mercado brasileiro atingem as especificações mínimas exigidas pela Portaria nº 144 do INMETRO. A conformidade com essa portaria significa que o produto é de boa qualidade e não influencia na qualidade da energia da rede de distribuição de energia elétrica. Realizaram testes em lâmpadas de LED tubulares de 18 W, entre outras, utilizadas na substituição das LFTs, considerando parâmetros como potência ativa, fator de potência, distorção harmônica e eficiência luminosa.

As potências ativas, fatores de potência e eficiência luminosa, das LEDs de 18 W, permaneceram dentro dos limites exigidos pela Portaria nº 389 do INMETRO, somente um fabricante não atingiu o fator de potência de 0,92. Todavia, todas as lâmpadas analisadas

apresentaram distorção harmônica acima da norma, de ordem ímpar, destacando-se a terceira, que provoca inúmeros problemas na rede elétrica, denotando, assim, desempenho moderado para essas lâmpadas (OLIVEIRA et al., 2016). Problemas com distorção harmônica também foram identificados em Keyer et al. (2013), inclusive interferência em ondas curtas de rádio.

Contudo, pesquisas como de Cheng e Cheng (2006), Matvoz e Maksic (2012) e Monteiro et al. (2014), sugerem que a aplicação de LLTs seja acompanhada de circuitos de proteção elétrica e controle de luminosidade, objetivando-se um aumento da sua confiabilidade de operação com redução de harmônicas, equilíbrio térmico e ajuste das suas características luminotécnicas. Os supracitados compararam as características de iluminação da lâmpada de LED com modelos tradicionais, como as fluorescentes, a fim de, viabilizar a sua implantação. Expondo que, tecnicamente, essa troca é viável.

Portanto, conclui-se que a viabilidade técnica da substituição por LED é atestada positivamente por implementações em diversos locais ao redor do mundo, além de pesquisas técnicas e testes em laboratório, inclusive no Brasil. Complementa-se, também, que atualmente as lâmpadas de LED vêm acopladas com circuitos eletrônicos auxiliares, como retificadores, filtros e outros, aumentando a sua confiabilidade.

Logo, o custo monetário de aquisição da LLT é o seu maior dispêndio. Dessa maneira, a revisão dos trabalhos anteriores, sobre a viabilidade técnica, permite ater-se ao estudo e análise da engenharia econômica do investimento em *retrofit* nos circuitos de iluminação.

#### **1.4 Estrutura da Monografia**

O estudo proposto é composto por seis capítulos como forma de melhor direcionar o objeto de estudo:

- O presente Capítulo contempla a contextualização do tema, do problema de pesquisa, dos objetivos da pesquisa, da justificativa e do embasamento técnico de trabalhos anteriores;
- Aborda-se, no Capítulo 2, a fundamentação teórica dos conceitos que se relacionam à eficiência energética, lâmpada fluorescente tubular e lâmpada de LED tubular, faturamento de energia elétrica e ferramentas da engenharia econômica;
- O Capítulo 3 descreve a metodologia do estudo desenvolvida e executada;
- No Capítulo 4, demonstra-se a quantização e tratamento dos dados coletados no estudo de caso;
- Projeta-se, no Capítulo 5, a viabilidade econômica do estudo com os resultados; e
- Por fim, realiza-se a conclusão da pesquisa no Capítulo 6.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Considerações Gerais**

O Capítulo 2 fornece uma visão detalhada sobre eficiência energética, informações pertinentes sobre a Secretaria de Obras e Habitação e, Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

Aborda-se, também, a compreensão dos componentes da conta de energia elétrica e as especificações técnicas dos modelos de lâmpadas em estudo.

Apresenta-se, ainda, a descrição dos elementos de engenharia econômica utilizados à realização da análise da viabilidade econômica do projeto.

### **2.2 Secretaria de Obras e Habitação do Estado do Rio Grande do Sul (SOP)**

Foi criada em 21 de março de 1890, incorporando a extinta Secretaria de Agricultura e Obras, do Interior e da Fazenda. Ganhou notoriedade a partir de 1935, com a reforma administrativa e expansão da infraestrutura do estado, tornou-se referência na construção e reforma de prédios públicos, denominando-se, então, Secretaria Estadual de Obras. Em 2015, após alterações promovidas pelo governo do estado, as áreas de Saneamento e Habitação passaram a integra-la. Entretanto, no início de 2019, o governador sancionou novas modificações e, após essa reforma administrativa, a Secretaria de Obras, Saneamento e Habitação, passou a ser denominada Secretaria Estadual de Obras e Habitação (SOP, 2017).

Compete a SOP elaborar, administrar e executar obras, serviços, manutenção técnica do patrimônio público, como edificações e estradas, prestar assistência aos municípios no que tange obras públicas e remoção de pessoas de áreas de risco, ainda, executar a política de regularização urbana e fundiária (SOP, 2017).

Subdivide-se em quatro departamentos: de obras públicas; habitação; desenvolvimento urbano; e regularização fundiária e reassentamento. O Departamento de Obras Públicas é responsável pela elaboração de projetos de engenharia à construção, ampliação, conservação, reforma e recuperação de prédios públicos estaduais. Na SOP, 90% dos seus trabalhos realizados concentram-se na área da educação e, os outros 10 %, dividem-se entre segurança pública, saúde, agricultura, cultura e outras (SOP, 2017).

Há, também, as Coordenadorias Regionais de Obras Públicas (CROPs), que visam descentralizar as demandas da SOP no estado, estratificadas em 28 coordenadorias, onde cada escritório é responsável por agilizar os processos técnicos da sua região de atuação. A 10ª

CROP da 4ª região, sediada em Uruguaiana, atende os municípios de Alegrete, Barra do Quaraí, Itaqui, Maçambará, Manoel Viana e Uruguaiana (SOP, 2017).

No canal de acesso à informação, possibilita-se que interessados solicitem acesso às informações e/ou documentos públicos, como licitações, contratos e orçamentos, por meio do serviço de informação ao cidadão (SOP, 2017).

### **2.3 Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas**

O projeto de reformulação das instalações elétricas de escolas públicas no estado do Rio Grande do Sul foi criado no início de 2018 pela SOP, em parceria com 12 instituições de ensino superior. O programa realiza a modernização dos circuitos elétricos dessas edificações, almejando a máxima eficiência energética e, conseqüentemente, a redução nos custos e consumo de energia elétrica do poder público (SOP, 2019).

As universidades disponibilizam estudantes e professores, orientadores, além da sua infraestrutura. Os orientados trabalham no regime de estágio remunerado e os mestres recebem uma bolsa auxílio, concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio de um acordo de cooperação técnica firmado. Por último, o estado fornece engenheiros eletricitistas para coordenação dessas equipes (SOP, 2019).

O programa apresenta boa aceitação e, inclusive, já colhe resultados positivos, algumas obras já foram entregues, outras estão em andamento e muitas estão na fase de licitação e orçamento. As escolas que já foram beneficiadas identificaram um aumento no índice de aprendizado dos seus alunos, além da melhoria dos seus espaços de convivência. O projeto também possibilita a absorção de experiência aos estagiários, fomentando o trabalho em conjunto com professores e engenheiros do estado (SOP, 2019).

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

Sistema utilizado à obtenção dos preços de referência de insumos e serviços, 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).

Os seus relatórios de insumos e composições são publicados todos os meses, diferenciando os preços em cada estado do país. No SINAPI são encontrados, praticamente, todos os serviços utilizados na construção civil, como insumos de materiais, mão de obra e equipamentos, também suas composições (CAIXA, 2019).

Os preços dos insumos de mão de obra dividem-se em custos com encargos sociais desonerados e não desonerados, contudo, não considera nenhum percentual de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) ou custos com logística. Os encargos sociais são os custos incidentes sobre a folha salarial do funcionário horista ou mensalista, contribuição com Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Entretanto, os cálculos dos seus percentuais são adaptados de acordo com a capital do estado analisado, considerando informações locais, como rotatividade e feriados regionais (CAIXA, 2019).

## **2.5 Eficiência Energética**

O aumento no consumo de eletricidade reflete o aquecimento econômico e a melhoria na qualidade de vida, porém, transparece a problemática da escassez de recursos energéticos na geração de energia elétrica e o impacto causado ao meio ambiente (ANEEL, 2008a).

O órgão responsável pela avaliação da efficientização energética brasileira é o PROCEL, no qual fomenta pesquisas e programas em prol da redução do consumo energético, seja de aparelhos à edificações (PROCEL, 2018).

A eficiência do consumo de eletricidade se refere a ações que levam à criação de um sistema com redução, economicamente viável, da quantidade de energia necessária para atender as necessidades energéticas dos bens e serviços da sociedade, garantindo um nível igual ou superior de qualidade, em comparação com o sistema atual (PROCEL, 2018).

O domínio sustentável sobre a eletricidade é a otimização da utilização de energia em todos os processos e atividades à sua exploração, produção, transformação, distribuição e consumo, incluindo, a própria eficiência energética (PROCEL, 2018).

## 2.6 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).

Consta em ABNT (2008), que a utilização de novas tecnologias na remodelação/atualização de um sistema objetiva o aumento da sua vida útil e da eficiência energética, assim como outras funcionalidades operacionais e valorização.

Conforme Tôrres (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. Distingue-se, ainda, em equipamento de eficiência decrescente com vida útil previsível, corroborado pela vida econômica (demanda substituição) e, equipamento de eficiência linear com vida útil imprevisível, seus defeitos são imprevisíveis, muitas vezes causam prejuízo (demanda manutenção preventiva).

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. Trata-se da vida econômica de um equipamento, período na qual será rentável seu trabalho, após esse intervalo de tempo, efetua-se a troca por uma máquina igual, com vida econômica equivalente, e assim sucessivamente; 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. Os componentes são aperfeiçoados continuamente, dessa forma, esse tipo de substituição considera o custo da obsolescência do equipamento atual comparado aos equipamentos que serão lançados no mercado (TÔRRES, 2006; CASAROTTO; KOPITTKE, 2010).

Ehrlich e Moraes (2005) complementam que, os custos considerados nessa análise são: os de manutenção e de funcionamento, que possuem aumento gradativo com o tempo; o custo de oportunidade perante um mais moderno; e o custo de produção limitada, quando o equipamento atual atinge a margem máxima da capacidade de produção.

## 2.7 LFT x LED

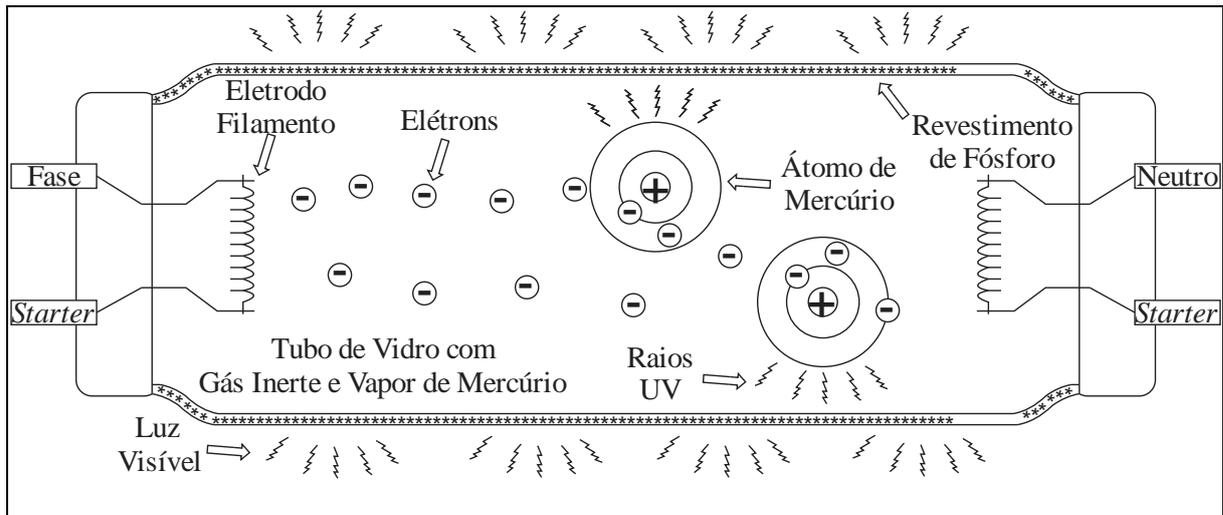
A luminotécnica possui termos próprios, padronizados, para a caracterização dos conceitos sobre lâmpadas e luminárias, apresentando o seguinte glossário:

- **Luz e Radiação (nm):** é a radiação eletromagnética, espectro, visível a olho nu;
- **Índice de Reprodução de Cor (IRC):** mensura a fidelidade da cor de um objeto ou área, sob incidência de uma luz artificial, aos olhos humanos, varia de 0 a 100, a luz solar apresenta índice máximo;
- **Temperatura da Cor (K):** indica o quão quente é a cor da fonte de luz, quanto mais baixa é a temperatura de cor, maior é a temperatura da fonte de luz;
- **Fluxo Luminoso (lm):** é a quantidade de luz emitida por segundo, por uma fonte de luz;
- **Iluminância (lx):** é a razão entre o fluxo luminoso pela área iluminada, distribuição uniforme de 1 lm sobre uma área de 1 m<sup>2</sup>;
- **Intensidade Luminosa (cd):** é o fluxo luminoso irradiado em uma determinada direção;
- **Luminância (cd/m<sup>2</sup>):** é a intensidade luminosa gerada/refletida por uma área aparente;
- **Eficiência da Luminária:** resultado da divisão entre o fluxo luminoso emitido pela luminária e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas que compõem a luminária; e
- **Eficiência Luminosa ou Energética (lm/W):** é o quociente do fluxo luminoso e a potência da lâmpada, quanto maior a produção de lúmens por W consumido, maior é a eficiência da lâmpada (CHENG; CHENG, 2006; OSRAM, 2015).

### 2.7.1 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, sendo que na Figura 1 é mostrada sua estrutura (CHENG; CHENG, 2006; LIANG et al., 2013).

Figura 1 - Lâmpada fluorescente tubular



Fonte: Adaptado de Liang (2013, p. 585)

No momento em que ocorre a passagem de corrente elétrica, inicia a ionização dos gases, ou seja, os elétrons oriundos dos eletrodos se chocam com os átomos de mercúrio, transferindo energia para os elétrons de mercúrio; estes, por sua vez, passam para uma órbita atômica com maior nível de energia. Quando os elétrons de mercúrio retornam à órbita original, liberam energia na forma de UV, e essa radiação é convertida em luz visível pela camada fluorescente de revestimento (CHENG; CHENG, 2006; LIANG et al., 2013).

Ganharam destaque após o apagão no início dos anos 2000, entrando com força no mercado brasileiro. Apresentam baixo consumo, alta eficiência e durabilidade, quando comparadas com as lâmpadas incandescentes, comuns na época.

A Tabela 1 contém as características da LFT modelo T8 36 W da “marca A”.

Tabela 1 - Características da LFT T8 de 36 W

Modelo	lm	K	IRC	D x l (mm)	Base	Vida Mediana (h)		V
						RE	REM	
L36 W/765	2.500	6.500	70-79	26 x 1.200	G13	20.000	15.000	Bivolt
L36 W/830	3.350	3.000	80-89	26 x 1.200	G13	20.000	15.000	Bivolt
L36 W/840	3.350	4.000	80-89	26 x 1.200	G13	20.000	15.000	Bivolt

Fonte: Adaptado de Osram (2013, p. 5.09)

Possui vida mediana de 20.000 h quando acoplada em reator eletrônico (RE) com partida pré-aquecida e de 15.000 com reator eletromagnético (REM) com partida rápida ou convencional utilizando starter. O fluxo luminoso nominal mínimo é de 92%, a 25 °C, e a média de 95%.

A sua partida requer alta tensão, incompatível com o nível de tensão da rede de baixa tensão. Portanto, a sua operação é realizada através do acoplamento com um RE ou REM.

### **2.7.2 Reator Eletromagnético (REM) e Reator Eletrônico (RE)**

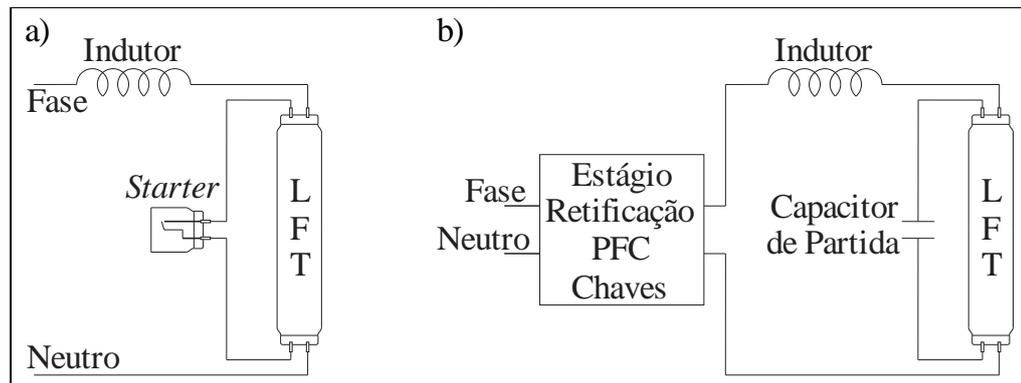
O reator é responsável pela partida (acendimento) da LFT, de forma estabilizada, controlando o nível da sua corrente, após entrada em operação, proporcionando economia de eletricidade e maior durabilidade à lâmpada. Se o reator não fosse utilizado, a lâmpada consumiria altas corrente de ionização até provocar a sua queima (LIANG et al., 2013).

O reator eletromagnético é composto por um indutor, núcleo de ferro, que ao ser excitado pelo fluxo elétrico da rede de distribuição, armazena energia magnética e descarrega na LFT uma alta tensão, possibilitando a ionização da lâmpada e geração de luz visível. Divide-se em reator de partida rápida e o convencional. O primeiro fornece níveis adequados de tensão, mediante pequenas bobinas de baixa tensão, que mantem os filamentos aquecidos, e o segundo, convencional, utiliza-se de um *starter*, Figura 2-a (CHUNG et al., 2007).

O *starter* é um dispositivo que realiza o pré-aquecimento dos filamentos e possibilita a injeção de alta tensão na partida, após o acendimento da LFT, o *starter* abre e o reator limita a corrente de operação (LUCACHE, NEMESCU; IOACHIM, 2003).

O reator eletrônico possui funcionamento similar ao do eletromagnético, porém, sua fabricação é composta por componentes eletrônicos. Realizam o chaveamento necessário para obtenção de alta tensão e no seu encapsulamento já está contido o *starter*, Figura 2-b. Trabalham com frequências consideráveis, na faixa dos 40 kHz, tornando-se um gerador de harmônicas. Destaca-se que as harmônicas provocam distorção no sinal senoidal da rede de alimentação. Podem, inclusive, interferir na correta atuação dos medidores de energia e dispositivos de proteção, além de causar perdas no sistema e impacto considerável na operação das máquinas de indução (SHRIVASTAVA; SINGH, 2010; LIANG et al., 2013).

Figura 2 - Circuitos Reator Eletromagnético (a) e Reator Eletrônico (b)



Fonte: Adaptado de Liang (2013, p. 585 - 586)

A característica de operação do reator eletrônico, chaveamento em frequência, produz, aproximadamente, um fator de potência de 0,6, o que contribui acentuadamente à atenuação da qualidade de energia. Dessa forma, os reatores eletrônicos utilizam capacitores de correção do fator de potência (do inglês *Power Factor Correction* - PFC) para atenuar os problemas com harmônicas e, principalmente, fator de potência (SHRIVASTAVA; SINGH, 2010).

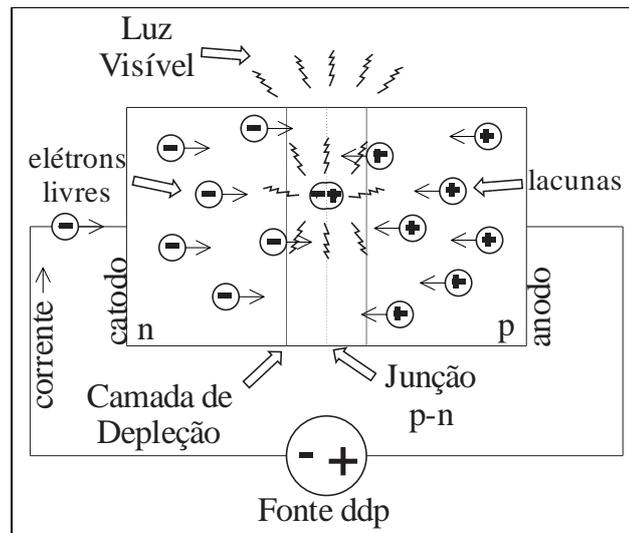
Complementa-se que os reatores apresentam vida mediana próxima a 50.000 h e que eles consomem, aproximadamente, 2,8 W da rede de energia elétrica (OSRAM, 2013).

### 2.7.3 Lâmpada de LED Tubular (LLT)

A criação do LED data de meados de 1962, inicialmente utilizado para sinalização em painéis, devido ao seu baixo fluxo luminoso, pequena gama de cores e potência. Nos anos 90, com o avanço das pesquisas, inventou-se o LED azul com alta emissão de luz e, posteriormente, misturando-se com uma camada de fósforo surgia a luz branca, possibilitando-se a utilização em iluminação. A partir deste advento, os investimentos exploratórios nessa tecnologia possibilitaram melhorias na sua eficiência energética, reprodução de cor, dissipação de calor e intensidade luminosa (STEIGERWALD et al., 2002).

A lâmpada é popularmente conhecida como tudo de LED. São construídas com materiais semicondutores que transformam energia elétrica em radiação visível, luz, através da eletroluminescência por efeito quântico (Figura 3). Esta transformação ocorre na matéria, dessa forma, é chamada, também, de estado sólido (SINNADURAI; KHAN; AZRI, 2012).

Figura 3 - Pastilha semicondutora: LED



Fonte: Elaborado com base em Alexander e Sadiku (2013)

Quando uma diferença de potencial (ddp) é produzida entre o anodo e o catodo da pastilha semicondutora, uma corrente percorre esse material. Então, os elétrons livres (n) são empurrados em direção à junção p-n, no objetivo de preencher as lacunas (p), reduzindo gradativamente a camada de depleção, até sua extinção. Durante a travessia desta junção, ocorre uma recombinação dos átomos dos materiais do tipo p e tipo n, este processo libera energia na forma de luz (maior quantidade) e calor (menor quantidade), acendendo o LED (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

São controlados por corrente, quanto maior a intensidade desta, maior é o seu fluxo luminoso, tornando-se necessário, em aplicações de alto brilho, a utilização de dissipadores de calor para manter sua longevidade (STEIGERWALD et al., 2002; CHENG; CHENG, 2006).

As cores emitidas por LEDs ocorrem de forma natural, variam conforme composição material, ou seja, não provoca perdas no seu fluxo luminoso e não necessitam de filtros auxiliares, como em outros tipos de lâmpadas. São capazes de reproduzir quase todos os comprimentos de ondas de luz visíveis individualmente, inclusive, a luz branca nas suas diversas temperaturas de cor (STEIGERWALD et al., 2002; MATVOZ; MAKSIĆ, 2012).

Consome pouca energia, sendo que essa característica de baixa potência possibilita a utilização de cabos com bitolas menores, favorecendo a redução dos custos da instalação elétrica (CHENG; CHENG, 2006; MATVOZ; MAKSIĆ, 2012).

As grandes desvantagens do tubo de LED são quanto ao seu valor de mercado, no qual possui elevado custo de compra, e normas ainda recentes sobre os requisitos mínimos da qualidade de operação. Entretanto, com o aperfeiçoamento das tecnologias, métodos eficientes de fabricação e amadurecimento das Portarias nº 389/2014 e 144/2015, do

INMETRO, a tendência é que seu valor reduza gradativamente e as regras, de construção e operação, sejam respeitadas (MATVOZ; MAKSIC, 2012; OLIVEIRA et al., 2016).

Na Tabela 2 constam as características da LLT modelo T8 18 W da “marca A”.

Tabela 2 - Características da lâmpada LED T8 de 18 W

Modelo	lm	K	IRC	D x l (mm)	Base	Vida Mediana (h)	V
ST8-HB4-830	1.700	3.000	>80	26 x 1.200	G13	40.000	Bivolt
ST8-HB4-840	1.900	4.000	>80	26 x 1.200	G13	40.000	Bivolt
ST8-HB4-865	1.900	6.500	>80	26 x 1.200	G13	40.000	Bivolt

Fonte: Adaptado de Osram (2015, p. 21)

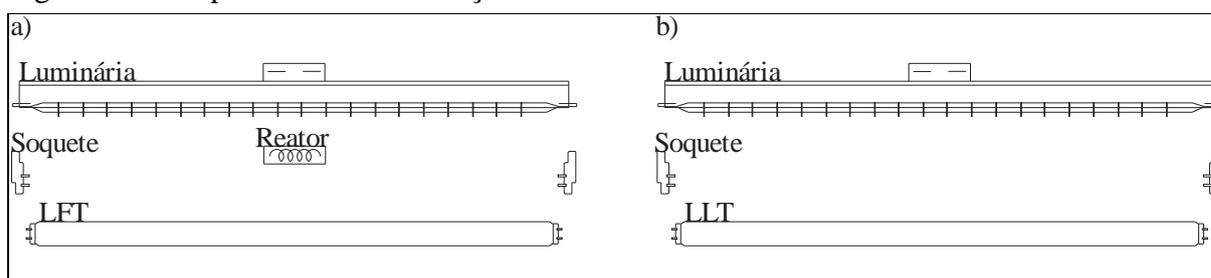
A instalação da lâmpada de LED no lugar de uma fluorescente é possível devido a sua característica *retrofit*, conferindo-lhe, geralmente, uma substituição do tipo *plug and play*, sem a necessidade de adequação na luminária e instalação elétrica.

#### 2.7.4 Luminária

É o suporte utilizado para comportar as lâmpadas tubulares e possibilitar a sua conexão com a rede elétrica, sendo universal para LFT e LLT. Instalada sobreposta na superfície superior do ambiente, pode ficar suspensa ou fixada diretamente no teto (PHILIPS, 2009).

A Figura 4 ilustra os itens que compõem a montagem de uma luminária.

Figura 4 – Componentes de iluminação



Fonte: Elaborado com base em Philips (2009); Osram (2015)

Na Figura 4-a consta o kit luminária LFT e, na Figura 4-b, contém o kit luminária LLT, na qual esta última não utiliza o reator.

### 2.7.5 Comparação LFT x LLT

O acionamento da lâmpada de LED é, praticamente, instantâneo, não susceptível aos altos ciclos de acendimento e altamente eficazes em ambientes frios. Em detrimento, as LFTs, apresentam complexidade no controle da sua intensidade luminosa e atingem, lentamente, o seu fluxo luminoso pleno, sensíveis, ainda, à quantidade de acendimentos e a baixas temperaturas, o que provoca a redução da sua vida útil (CHENG; CHENG, 2006).

As LLT, na teoria, não possuem custos operacionais e são fabricadas com materiais recicláveis, inclusive, podem ser descartadas no lixo comum. São mais robustas, ostentando maior durabilidade e, como não possuem filamento, podem resistir a impactos e vibrações moderados, o seu invólucro é revestido por material antiestilhaço (INMETRO, 2017).

Em contrapartida, as LFTs necessitam de manutenção constante e descarte especial, principalmente, por causa do mercúrio, aumentando seus custos em até 5 %, além de serem altamente tóxicas em caso de quebra (AZEVEDO; MORGAN; MORGAN, 2009).

As lâmpadas incandescentes e fluorescentes, por exemplo, emanam raios IR e UV no seu fecho luminoso, enquanto as LLTs não emitem estes raios. A única perda verificada na lâmpada de LED é por efeito *Joule*, dessa forma, não interfere na temperatura do ambiente e melhora a qualidade da iluminação incidente sob os objetos (CHENG; CHENG, 2006).

Na Tabela 3 é demonstrada a comparação entre os tipos de lâmpadas da marca A.

Tabela 3 - Comparação LFT 36 W x LLT 18 W

Modelo	W	lm	K	IRC	Vida Mediana (h)	Dim	Rad	°C
LFT	36	2.500-3.350	6.500-4.000	70 a 89	20.000	Cxa	30-32	44
LLT	18	1.700-1.900	3.000-6.500	>80	40.000	Smp	0-0,2	80-88

Fonte: Elaborado com base em Osram (2015)

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 dimerização (Dim) da LFT é complexa (Cxa), em contrapartida, o controle da intensidade luminosa da lâmpada LED é simples (Smp).

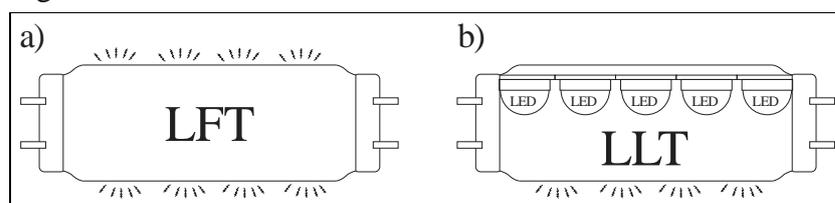
A LFT de 36 W apresenta fluxo luminoso na faixa de 2.500 a 3.350 lm, temperatura de cor de 6.500 a 4.000 K, índice de reprodução de cor de 70 a 89, vida mediana de 20.000 h com reator eletrônico e, em torno de 32% de perdas por radiação e 44% por calor.

O tubo de LED de 18 W possui fluxo luminoso entre 1.700 e 1.900 lm, temperatura de cor de 3.000 a 6.500, um índice de reprodução de cor acima de 80 e 40.000 h de vida

mediana, ainda, conta com 0,2% de perdas por radiação, porém, possui, aproximadamente, 88% de perdas por calor.

Outro ponto comparativo é o controle óptico das lâmpadas, as LFT necessitam de refletores para direcionar o fecho luminoso (Figura 5-a), enquanto a LLT, concentra em uma direção (Figura 5-b), favorecendo a redução das perdas de luminosidade (SINNADURAI; KHAN; AZRI, 2012).

Figura 5 - Facho luminoso LFT x LLT



Fonte: Adaptado de Sinnadurai, Khan e Azri (2012, p. 242)

Por fim, 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).

Geralmente, os fabricantes apresentam a vida mediana nos seus catálogos técnicos como a expectativa de vida da lâmpada e, também, porque essa variável possui valor maior. Entretanto, deve-se levar em consideração a vida útil da lâmpada, que é obtida pela relação entre o tempo de uso da lâmpada e sua vida mediana, pois a atenuação do seu fluxo luminoso ocorre muito antes da sua queima. Portanto, recomenda-se a aquisição e projeção da lâmpada conforme sua vida útil (INMETRO, 2014; INMETRO, 2015; OSRAM, 2015).

Na Figura 6 apresenta-se o modelo do carimbo de informações marcado nas lâmpadas.

Figura 6 - Carimbo de informações da lâmpada



Fonte: Adaptado de Osram (2013, p. 5.14)

Onde L é o código da lâmpada, “36W” é a sua potência (W), o dígito “8” representa seu IRC e os dígitos “30” a sua temperatura de cor (K), nomenclatura internacional.

As lâmpadas devem ser posicionadas com o carimbo de informações no lado visível da luminária, possibilitando a leitura das suas características (OSRAM, 2013).

## 2.8 Elementos da Fatura de Energia Elétrica

No início dos anos 70, até meados dos anos 90, utilizava-se uma tarifa única na cobrança de energia elétrica no Brasil. Os consumidores de grande parte do território nacional pagavam a mesma tarifa incidente sobre a energia consumida. Entretanto, era um sistema que não garantia a qualidade da energia elétrica, com baixa eficiência, devido ao seu modelo de remuneração. As empresas que não apresentavam lucro eram subsidiadas pelo estado e pelas companhias que geravam lucro, desestimulando investimentos e qualidade na prestação de serviços (ANEEL, 2008b).

Em 1993, com a Lei 8.631/1993, o modelo tarifário passou a ser definido por concessionária de energia, respeitando as características particulares de cada área de concessão (BRASIL, 1993). Assim, as peculiaridades regionais são refletidas na composição da tarifa, como número de consumidores, tributos estaduais, infraestrutura e outros (ANEEL, 2008b).

### 2.8.1 Consumo de Energia Elétrica (CEE)

É a potência consumida, por um equipamento elétrico, em um determinado período de tempo, no caso da conta de luz, trata-se do seu consumo mensal, detalhado na Equação 1 (GUEDES, 2011).

$$CEE_{mês} (kWh) = \frac{P (W) * Oper_{dia} (h) * Oper_{mês} (dias)}{1000} \quad \dots(1)$$

Onde:

- $CEE_{mês}$  = Consumo de energia elétrica mensal em kWh;
- $P$  = Potência do equipamento elétrico em W;
- $Oper_{dia}$  = Tempo de operação do equipamento elétrico no dia em h; e
- $Oper_{mês}$  = Tempo de operação do equipamento elétrico no mês em dias.

Utiliza-se 1000 no denominador, pois o CEE é mensurado em kWh.

### 2.8.2 Faturamento do $CEE_{mês}$

A estrutura da conta de energia elétrica é composta por custos com geração de energia, transmissão, distribuição e, encargos e tributos, sendo que os últimos correspondem a, aproximadamente, 30% do custo total (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

Os encargos são subsídios para programas de desenvolvimento, indenização e manutenção de empresas do ramo, como P&D, Reserva Global de Reversão (RGR), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), respectivamente (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

Já os tributos são impostos que asseguram recursos de provimento para os governos federal, estadual e municipal, como Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) e Contribuição de Iluminação Pública (CIP). Dessa forma, a fatura final da conta de energia elétrica, a ser cobrada do consumidor, é representada pela Equação 2 (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

$$Conta (R\$) = \frac{TE\ ANEEL\ (R\$/kWh)}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} * CEE_{mês} + CIP \quad \dots(2)$$

Onde:

- Conta = Valor final da conta mensal em R\$;
- TE ANEEL = Tarifa de energia em R\$/kWh para o faturamento do consumo no mês;
- PIS+COFINS+ICMS+CIP = impostos federais, estaduais e municipais; e
- $CEE_{mês}$  = Consumo de energia elétrica no mês em kWh.

A ANEEL autoriza as prestadoras de serviço a realizarem um reajuste tarifário anual, com datas determinadas, conforme previsto no contrato de concessão. Objetiva-se, com a correção anual, estabilizar e viabilizar o poder de compra da distribuidora, cobrindo os custos operacionais e investimentos. O equacionamento do reajuste, apresentado na Equação 3, envolve uma parcela A, definida como os custos relacionados com a compra, transmissão e encargos de energia, e uma parcela B, que são os custos de operação na distribuição e investimentos da concessionária (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

$$Receita\ reajustada = Parcela\ A + Parcela\ B * (\acute{I}ndice\ de\ Infla\c{c}\~{a}o - Fator\ X) \quad \dots(3)$$

Verifica-se ainda, a ocorrência da correção monetária pelo índice de inflação, Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) ou Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). O fator X denota os ganhos na operacionalização da distribuição e agrega na modicidade do reajuste tarifário (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

### **2.8.3 Demanda Contratada**

Demanda é o valor suprido, da rede de distribuição, pelas potências elétricas oriundas das cargas instaladas na unidade consumidora, quando em operação, durante um intervalo de tempo. Conseqüentemente, a contratada é uma quantia determinada que a concessionária deverá fornecer mensalmente para um consumidor em específico, mediante acerto contratual. Faturando-se o valor total disponibilizado, indiferente do consumo, sujeitando-se o cliente a multas, caso o consumo exceda os 10% acima do limite contratado, ou então, pague por energia não utilizada (GUEDES, 2011).

### **2.8.4 Horário de Ponta (Pta) e Fora de Ponta (F Pta)**

A definição dos horários de consumo dá-se pela estratificação do dia em horas, onde o período de ponta inicia às 18 h e termina às 20:59 h, no horário normal, e das 19 h às 21:59 h, no horário de verão. Desta forma, o horário fora de ponta complementa as demais 21 h do dia, verifica-se ainda que, nos finais de semana e feriados, não há tarifa de ponta, conforme concessionária local. Durante a lacuna das 3 h em ponta, a demanda e consumo apresentam preços mais elevados de faturamento (GUEDES, 2011; ANEEL, 2018).

### **2.8.5 Períodos Anuais**

São os períodos anuais de maior ou menor incidência de chuvas no país, classificados como período seco, de maio a novembro, englobando sete ciclos de faturamento consecutivos, e úmido, compreendendo o período de dezembro, de um ano, a abril, do outro ano, referente a 5 ciclos (GUEDES, 2011; ANEEL, 2012).

### **2.8.6 Classificação dos Consumidores**

No sistema tarifário brasileiro os usuários são classificados por grupos e subgrupos de consumo (Tabela 4), onde cada classificação consumidora possui sua estrutura tarifária,

conforme suas características de aplicação e demanda de energia elétrica (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

O grupo A é composto pelos consumidores com nível de tensão de atendimento acima dos 2,3 kV, assim, os clientes do grupo B são os situados abaixo dessa faixa, sendo subdividido conforme a atividade do consumidor.

Tabela 4 - Classificação dos grupos de consumidores de energia elétrica

Alta Tensão (kV)		Baixa Tensão (atividade)	
A1	230 ou mais	B1	Residencial e residencial baixa renda
A2	88 a 138	B2	Rural e cooperativa de eletrificação rural
A3	69	B3	Demais classes
A3a	30 a 44	B4	Iluminação pública
A4	2,3 a 25		
AS	Subterrâneo		

Fonte: Adaptado de ANEEL (2008b, p. 22)

O subgrupo AS representa os sistemas subterrâneos de distribuição, mesmo para tensões inferiores a 2,3 kV, localizando-se de forma especial neste grupo (ANEEL, 2008b; GUEDES, 2011).

### 2.8.7 Tarifa Monômnia e Binômnia de Fornecimento

Segundo Guedes (2011), a tarifa binômnia é adotada nos consumidores do grupo A, constituída por preços aplicáveis ao consumo de energia ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Consequentemente, utiliza-se a monômnia no grupo B, na qual os valores monetários são aplicáveis unicamente no consumo de energia ativa (ANEEL, 2012).

### 2.8.8 Estrutura Tarifária

De acordo com ANEEL (2012), define-se como o conjunto de tarifas aplicáveis ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, refletindo a diferenciação dos custos regulatórios da concessionária entre os subgrupos, conforme modalidades de atendimento e horários tarifários. O grupo A constitui-se de três estruturas tarifárias, a convencional binômnia, a horo-sazonal verde e a azul, e o grupo B, em convencional monômnia e tarifa branca (GUEDES, 2011; ANEEL, 2018).

Na estrutura tarifária convencional binômica, utiliza-se demanda de potência e consumo de energia com custos único, independente do horário de operação e período anual, mediante criação de contrato específico com a distribuidora. A modalidade tarifária horo-sazonal verde apresenta variação tarifária conforme horário de ponta, ou fora de ponta; período úmido, ou seco do consumo; e, tarifa única à demanda de potência. E, conseqüentemente, a horo-sazonal azul caracteriza-se pela absorção dos horários e períodos, na determinação das tarifas de consumo e da demanda (GUEDES, 2011; ANEEL, 2012).

### **2.8.9 Bandeiras Tarifárias (BTE)**

São bandeiras de sinalização utilizadas para alertar o consumidor sobre os custos da geração de energia elétrica, em um determinado período, que incidirão sobre a tarifa de faturamento da conta de luz. Dividem-se em verde (Vd), amarela (Am) e vermelha, a bandeira verde sinaliza que as condições de geração são favoráveis, não incidindo acréscimos na tarifa. A bandeira amarela ocorre quando as condições são menos favoráveis e a vermelha subdivide-se, ainda, em patamar 1 (Vm1), condições custosas, e patamar 2 (Vm2), condições mais custosas. As bandeiras, amarela e vermelha, provocam acréscimo na tarifa, aumentando o faturamento do kWh consumido, através de valor definido pela ANEEL (ANEEL, 2012).

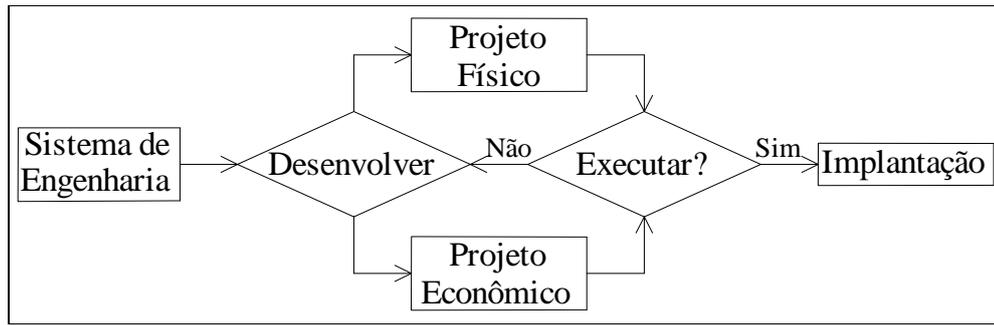
## **2.9 Análise de Investimentos em Projetos de Engenharia**

Casarotto e Kopittke (2010) definem a engenharia econômica como a análise objetiva da viabilidade econômica de um investimento, realizada por uma empresa ou um indivíduo.

Segundo Côrtes (2012), o projetista técnico precisa incorporar seus conhecimentos específicos aos conceitos e teorias da engenharia econômica. 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.

Um sistema de engenharia é dividido em duas partes de execução, classificadas como projeto físico e projeto econômico, diagramado na Figura 7 (CÔRTEZ, 2012).

Figura 7 - Etapas de um sistema de engenharia

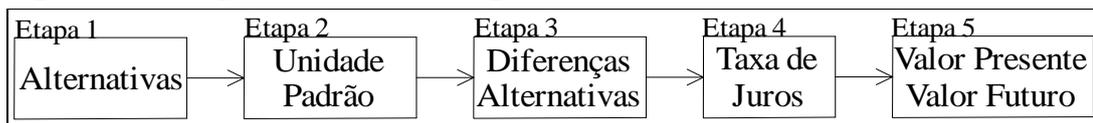


Fonte: Adaptado de Côrtes (2012, p. 3)

De acordo com Côrtes (2012), o projeto físico é a etapa da criação do projeto técnico, onde o projetista desenvolve o produto utilizando-se das leis da natureza, como física, matemática e química. E, o projeto econômico, trata da disponibilidade dos recursos produtivos e os seus custos, onde objetiva-se a otimização econômica das alternativas de projeto, fornecendo-se, assim, a alternativa tecnicamente viável com o melhor retorno monetário. A interconexão entre as etapas ocorre na alternativa de execução, caso haja necessidade de modificações, os projetos técnico e/ou econômico podem ser redefinidos. Quando a melhor alternativa técnico-econômica é definida, realiza-se a implantação.

Na elaboração de um estudo econômico consideram-se os processos da Figura 8.

Figura 8 - Princípios do estudo em engenharia econômica



Fonte: Elaborado com base em Ehrlich; Moraes (2005); Casarotto; Kopittke (2010)

Na Etapa 1 são definidas as alternativas de projetos de investimento, princípio fundamental para que a análise econômica seja factível de execução. A Etapa 2 converte essas alternativas em valor monetário, única unidade de mensuração possível para a ponderação da escolha. Na Etapa 3 são demonstradas as diferenças entre as alternativas, somente esses dados são relevantes no estudo, uma vez que as paridades de informações geram resultados iguais (CASAROTTO; KOPITTKÉ, 2010).

Por fim, na Etapa 4, determina-se a taxa de juros de manipulação do capital empregado, objetivando-se a melhor rentabilidade para o investimento. E, na Etapa 5, evidencia-se de forma concisa o interesse, somente, no valor de mercado atual e futuro do investimento, uma vez que o passado já ocorreu e não há o que esperar, apenas auditar (EHRlich; MORAES, 2005; CASAROTTO; KOPITTKÉ, 2010).

Portanto, a análise dos elementos econômicos é preponderante na influência da tomada de decisão em um projeto de engenharia, situação em que o custo e o lucro são importantes.

### 2.9.1 Juros (i)

Indica a variação do dinheiro no tempo, em R\$, expressando-se como a diferença do valor de um montante entre o início e o fim de um determinado período (CÔRTEZ, 2012).

A sua taxa denota a variação percentual obtida do quociente entre os juros e o seu valor montante. Divide-se em juros simples e compostos, o primeiro não sofre acúmulo, sobre o seu valor, no tempo e, o segundo, reflete a acumulação dos juros, conforme a variação dos períodos (CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009).

Os juros compostos são mais utilizados em negócios e investimentos, uma vez que, traduzem melhor a realidade do valor monetário no tempo (CÔRTEZ, 2012).

### 2.9.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Define-se como o retorno mínimo esperado em um investimento, a taxa de rendimento mínimo, utilizando-se como referencial teórico uma taxa de juros equivalente à rentabilidade mínima de aplicações correntes e com pouco risco (BLANK; TARQUIN, 2009).

Para Tôrres (2006), a TMA é uma taxa de atualização do valor do dinheiro no tempo, aplicada como um parâmetro de decisão na engenharia econômica. A escolha do seu valor é realizada pelo projetista, considerando-se suas necessidades e expectativas do futuro, como preferir o recebimento de um valor urgente no presente para receber no futuro, essa escolha certamente resultará na aplicação de uma alta taxa de retorno, o que explicaria tal opção.

Ainda, conforme Casarotto e Kopittke (2010), 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.

Contudo, quando para empresas, a sua determinação considera o prazo e importância do investimento:

- **Curto prazo** – considera-se a taxa de remuneração de títulos bancários de curto prazo como o Certificado de Depósito Bancário (CDB);

- **Médio prazo** – aplica-se a média ponderada dos rendimentos das contas de capital de giro, como aplicações de caixa; e

• **Longo prazo** – a TMA transforma-se em uma meta estratégica da empresa, como o crescimento de patrimônio, cria-se uma taxa que possibilite reinvestimento e, ainda, distribuição de dividendos (CASAROTTO, KOPITTKKE, 2010).

Considera-se a TMA constante durante o fluxo de caixa da vida útil de um projeto, nem sempre realizável no mercado real, mas expressa a avaliação do valor temporal do dinheiro, incluindo, ainda, margem para incertezas (TÔRRES, 2006).

### 2.9.3 Fluxo de Caixa (FC)

De acordo com Côrtes (2012), o fluxo de caixa projetado apresenta o resultado líquido futuro das entradas e saídas de dinheiro, para cada período de tempo, dentro de um espaço temporal definido. Toda análise econômica de um problema se inicia no desenvolvimento do seu fluxo de caixa, que transmite as consequências monetárias de cada escolha de projeto.

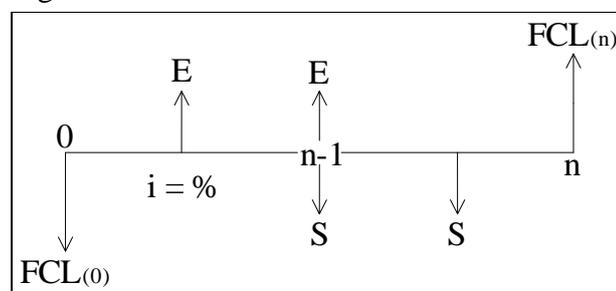
A unidade do período de tempo (mês, trimestre, semestre, ano, etc) deve equivaler-se a unidade da taxa de juros utilizada para a correção do fluxo de caixa (CASAROTTO, KOPITTKKE, 2010).

Assim sendo, exprime graficamente as entradas e saídas de caixa sobre uma escala de tempo, horizonte de projeção, onde, as entradas são as receitas e rendimentos, e as saídas, os custos e despesas (BLANK; TARQUIN, 2009).

Trata-se de uma ferramenta fundamental na análise da situação financeira de uma empresa ou investimento, expressa na Figura 9.

Obtém-se o fluxo de caixa líquido (FCL), de um período qualquer, através do resultado da subtração dos recebimentos pelos desembolsos desse período, conforme Equação 4.

Figura 9 - Fluxo de caixa



Fonte: Elaborado com base em Camargo (1998)

$$FCL_{(n-1)} = E_{(n-1)} - S_{(n-1)} \quad \dots(4)$$

Onde:

- FCL = Fluxo de Caixa Líquido;
- E = Entrada de caixa;
- S = Saída de caixa;
- n = Horizonte final de análise;
- n-1 = Período qualquer do horizonte de análise; e
- i = Taxa de juros.

As setas apontadas para cima denotam as entradas (E) e as setas apontadas para baixo as saídas (S), ainda, o tempo zero, geralmente, representa o investimento inicial ( $FCL_{(0)}$ ) e o tempo final, o retorno obtido ( $FCL_{(n)}$ ), positivos ou negativos (CAMARGO, 1998).

#### 2.9.4 Série Uniforme e não uniforme (A)

Segundo Côrtes (2012), série uniforme são entradas ou saídas de caixa com valor igual, que se repetem periodicamente dentro de um espaço de tempo. Já a série não uniforme varia no decorrer do tempo e divide-se, conforme a sua natureza, em linear/aritmética e geométrica.

#### 2.9.5 Valor Presente (VP) e Valor Futuro (VF)

O valor presente refere-se a uma estimativa futura, corrigida por uma taxa de juros, levada para o período inicial, ano zero ou atual, de um fluxo de caixa. Em contrapartida, a despesa ou recebimento que está no período atual, e é levada para períodos futuros ou para o tempo final, com a devida correção monetária pela taxa de juros, chama-se valor futuro (CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009).

O método do valor presente se baseia na proporção do valor atual, quanto maior o seu valor, melhor é a viabilidade do investimento. As alternativas de projetos devem possuir o mesmo ciclo de vida ou serem ajustados para que fiquem iguais (CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009).

As Equações 5, 6 e 7 apresentam, na ordem, o valor presente em pagamento único e em série, e o valor futuro em pagamento único.

$$VP = VF * \frac{1}{(1 + i)^n}; \text{ e no Excel} = VP(\text{taxa}; \text{per}; ; [VF];) \quad \dots(5)$$

$$VP_A = A * \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}; \text{ e no Excel} = VP(\text{taxa}; \text{per}; ; [VF];) \quad \dots(6)$$

$$VF = VP * (1 + i)^n; \text{ e no Excel} = VF(\text{taxa}; \text{per}; ; [VP];) \quad \dots(7)$$

Onde:

- VP = [VP] = Valor Presente;
- VF = [VF] = Valor Futuro;
- i = taxa = Taxa de juros;
- n = per = Período do tempo em análise;
- VP<sub>A</sub> = Valor Presente de um pagamento em série uniforme ou mista; e
- A = Série Uniforme.

O cálculo do valor presente em pagamento único (VP) envolve a multiplicação do valor futuro (VF) pelo fator de descapitalização de pagamento único (P/F). E, no equacionamento do valor presente em pagamentos de séries uniformes ou mistas (VP<sub>A</sub>), utiliza-se o fator do valor presente (FVP) de séries uniformes ou mistas (A).

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

Côrtes (2012) define o valor presente líquido como a diferença entre o investimento inicial de um projeto e o acúmulo gerado dos valores presentes, dos fluxos de caixa líquidos futuros. Dessa forma, mede 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).

Para se chegar ao VPL, calcula-se o VP dos termos do fluxo de caixa e soma-se ao investimento inicial da alternativa, escolhe-se aquela com o maior VPL (CASAROTTO, KOPITTKKE, 2010). Portanto, representa o somatório das entradas e saídas do fluxo de caixa (FCL<sub>(1):FCL<sub>(n)</sub>), referidos ao tempo zero, mas não inclui o investimento inicial (FCL<sub>(0)</sub>). Utiliza-se de uma taxa de juros para correção desses valores futuros, subtraídos pelo investimento inicial, conforme Equação 8.</sub>

$$VPL = -FCL_{(0)} + \sum_i^n \frac{VF_{(n)}}{(1 + i)^n}; \text{ e no Excel} = FCL_{(0)} + VPL(\text{taxa}; FCL_{(1)}; FCL_{(n)}) \quad \dots(8)$$

Onde:

- VPL = Valor Presente Líquido;
- $FCL_{(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido;
- $\sum$  = Somatório em um período máximo n e a uma taxa i;
- $VF_{(n)}$  = Valor Futuro;
- i = taxa = Taxa de juros; e
- n = Horizonte do tempo em análise.

O método verifica se o valor presente líquido é positivo, ou seja, quando VPL é maior que zero, o projeto é economicamente atrativo, proporcionando retorno financeiro superior ao investimento realizado. Com VPL igual a zero, apresenta-se como um investimento indiferente, não gera lucro, apenas se paga o valor investido, e para VPL menor que zero, o projeto inviável, pois dará prejuízo (CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009).

### **2.9.7 Método do *Payback***

É o tempo de retorno de um investimento. Côrtes (2012) afirma que o *payback* é um método de liquidez do projeto de investimento, não um mensurador do acúmulo de lucro. Possui grande aceitação no mundo dos negócios e pouca adesão no ambiente acadêmico, dividindo-se em simples e descontado.

Ehrlich e Moraes (2005) explicam que o método é bastante utilizado, porém, errado, por se tratar de um método empírico intuitivo, causa equívocos na análise da decisão. A ferramenta apresenta a alternativa com o menor tempo de recuperação como a melhor.

O *payback* descontado é o critério do mundo real, período de recuperação do valor investido, onde o fluxo de caixa é descontado por uma taxa de juros e, o *payback* simples, é o oposto, desconsidera a correção monetária. Calculam o tempo para que esse fluxo de caixa acumulado anule o investimento inicial. Utilizado como um complemento para os métodos do VPL e taxa interna de retorno, uma vez que o *payback* despreza o fluxo de caixa após o investimento ser anulado (FREZATTI, 2008; CÔRTEZ, 2012).

Como o método se referencia no tempo de retorno do capital, quanto menor o seu valor, melhor é a viabilidade do investimento. Entretanto, é uma análise com baixa confiabilidade e falhas, como a desconsideração da distribuição e os períodos após recuperação do investimento do fluxo de caixa. Apresenta equacionamento simples, porém, indicado para montantes pequenos, pois, em grandes valores pode causar equívocos na decisão

(CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009). A Equação 9 fornece seu equacionamento geral.

$$Payback (tempo) = (n - 1) - \frac{FCL_{acum(n-1)}}{VP_{(n)}} \quad \dots(9)$$

Onde:

- $n$  = Período do horizonte de tempo;
- $n-1$  = Período anterior a  $n$ ;
- $FCL_{acum(n-1)}$  = Fluxo de Caixa Líquido Acumulado do período anterior; e
- $VP_{(n)}$  = Valor Presente do período atual.

O  $n-1$  é o período anterior em que o  $FCL_{acum}$  se torna maior que zero, assim, encontra-se o *payback* através do tempo  $n-1$  menos o quociente do  $FCL_{acum(n-1)}$  pelo  $VP_{(n)}$ .

### 2.9.8 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. Pode-se transformar em um VAUE de benefícios ou de custos, conforme o custo de oportunidade do capital aplicado.

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

O método transforma os proventos e custos do fluxo de caixa do investimento, corrigidos pela taxa de juros, em uma série uniforme, equacionado na Equação 10. Aplica-se esse método, principalmente, quando a projeção dos investimentos, em dois ou mais projetos, possuem vidas úteis diferentes. Considera investimento viável aquele que apresenta VAUE maior que zero, quando a análise é para um projeto. Contudo, quando compara dois ou mais projetos, apresenta-se economicamente viável o projeto que possuir maior VAUE (CAMARGO, 1998; BLANK; TARQUIN, 2009).

$$VAUE = VPL * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}; e \text{ no Excel} = PGTO(taxa; nper; vp; ; ) \quad \dots(10)$$

Onde:

- VAUE = PGTO = Valor Anual Uniforme Equivalente;
- VPL =  $vp$  = Valor Presente Líquido;

- $i$  = taxa = Taxa de juros; e
- $n = nper$  = Horizonte do tempo em análise.

Inicialmente calcula-se o VPL do fluxo de caixa, então, transforma-se em uma série uniforme multiplicando-se, esse VPL, pelo fator de recuperação de capital (FRC).

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

É uma taxa de juros com rentabilidade própria gerada pelo fluxo de caixa do projeto, onde o valor presente líquido de um investimento é igual a zero. 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).

De acordo com Tôres (2006), como a TIR anula o VPL, conseqüentemente, também, zera os valores do VF e VAUE, assim sendo, ambos podem determinar o valor da TIR. Confere ainda, à TIR, a capacidade de equiparar o valor presente do investimento ( $FCL_{(0)}$ ) com o restante dos valores presentes do fluxo de caixa. Gráficamente é o instante em que a função exponencial da taxa de juros corta o eixo das abcissas e, economicamente, é a taxa de recuperação do valor investido, calculando-se diretamente do fluxo de caixa, independente da TMA, podendo-se comparar com outras taxas de referência (EHRlich; MORAES, 2005).

Um dos seus métodos da análise de rentabilidade realiza a confrontação com a TMA de um investidor, esse método se baseia na comparação com essa TMA ou, ainda, com outras TIR. Quando a TIR é maior que a TMA, o projeto é economicamente atrativo e, com a TIR igual à TMA, o investimento é de risco, indiferente. Por fim, quando a TIR é menor que a TMA, o investimento não é atrativo, o seu retorno é menor que o da TMA, que é a mínima taxa de juros com atratividade para um investimento (BLANK; TARQUIN, 2009; CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

A Equação 11 contém o seu equacionamento de determinação.

$$0 = -FCL_{(0)} + \sum_i^n \frac{VF_{(n)}}{(1+i)^n}; e \text{ no Excel} = TIR(FCL_{(0)}; FCL_{(n)}) \quad \dots(11)$$

Onde:

- $FCL_{(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido;
- $\sum$  = Somatório em um período máximo  $n$  e a uma taxa  $i$ ;
- $VF_{(n)}$  = Valor Futuro;

- $i$  = Taxa de juros;
- $n$  = Período do tempo em análise; e
- TIR = Taxa Interna de Retorno.

## **2.10 Considerações Finais**

A definição dos conceitos, introduzidos neste Capítulo, objetivaram a demonstração do esforço para mensurar a significância da eficiência energética.

Abordaram-se noções básicas relacionadas à conta de energia elétrica e tipos de lâmpadas em foco. Principalmente, o embasamento teórico das ferramentas de análise da engenharia econômica dos projetos de modernização dos circuitos elétricos de iluminação, objeto do estudo.

No Capítulo 3, apresentam-se a metodologia do estudo e da engenharia econômica.

### **3 METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO**

#### **3.1 Considerações Gerais**

No Capítulo 3 descreve-se a metodologia de execução utilizada na realização da pesquisa científica e da análise econômica deste trabalho. Apresentam-se os processos metodológicos servindo-se de figuras ilustrativas, visando esclarecer as etapas de desenvolvimento e buscando-se responder os objetivos propostos.

Com uma descrição detalhada dos conceitos e definições dos critérios de decisão, tem-se a intenção de explicar de forma clara os processos de desenvolvimento e evidenciar possíveis problemas da engenharia econômica.

#### **3.2 Metodologia do trabalho científico**

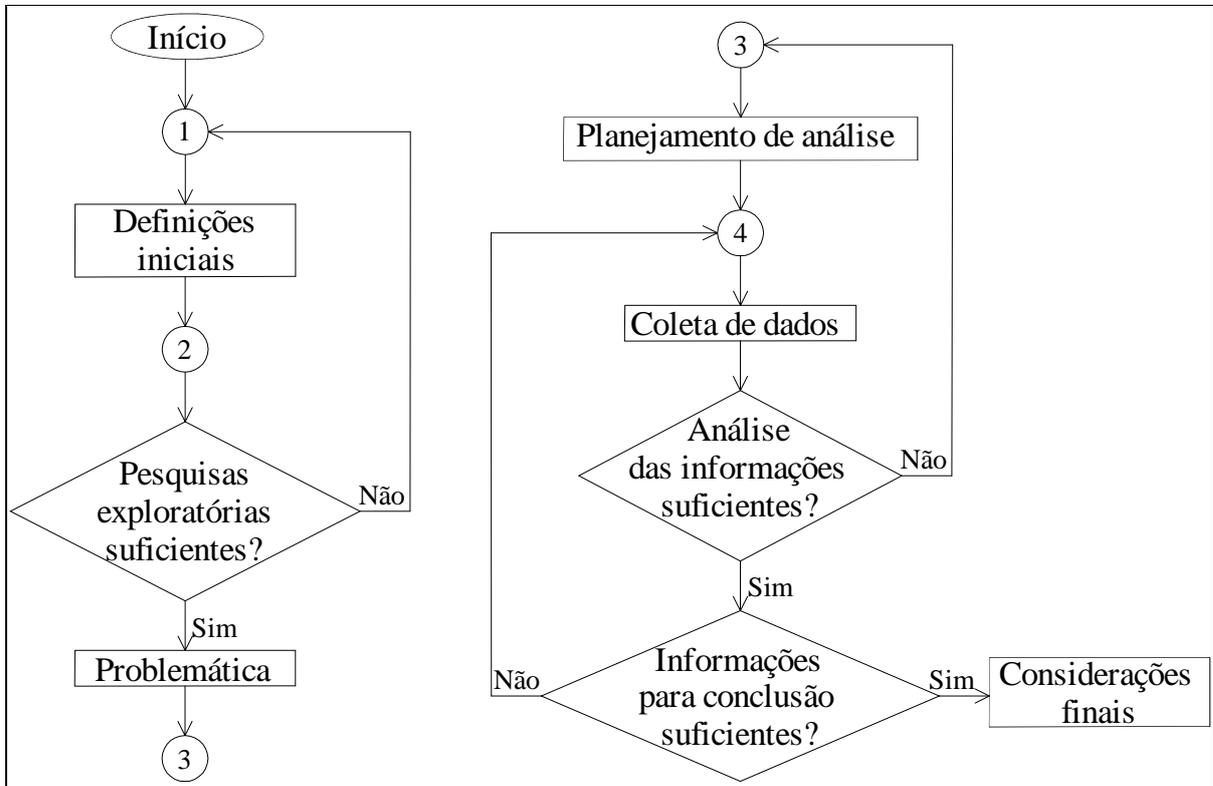
O trabalho expõe a pesquisa técnica e a análise da viabilidade econômica da substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por tecnologia LED, logo, a condição do estudo em foco caracteriza-se como teórico-empírica. Por conseguinte, do ponto de vista da abordagem do problema e objetivos, apresenta-se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

A metodologia científica compreende um conjunto de informações coletadas em um sistema com operações ordenadas que permite a arguição e conclusão, através da ciência, com dados objetivos, racionais, sistemáticos, verificáveis e falíveis. O termo metodologia se refere à estruturação de procedimentos para a realização de uma pesquisa e realiza o estudo do método, este por sua vez, é um meio ferramental para se atingir um objetivo final (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; PEREIRA, 2018).

Conceitua-se pesquisa como a delimitação de uma determinada área de inquirição, levantando-se informações relevantes ao mapeamento do objeto em estudo, ou seja, buscam-se as respostas para uma dada pergunta. Na realização de uma pesquisa científica é fundamental o estudo e conhecimento dos componentes que circundam o assunto pesquisado, além do planejamento dos processos de desenvolvimento, como escolha do tema, formulação do problema e objetivos, hipóteses pertinentes e, por último, a operacionalização dos métodos (Figura 10). Apresenta um estudo planejado, onde o método de abordagem é que a caracteriza

como uma investigação científica (SEVERINO, 2007; GERHARDT; SILVEIRA, 2009; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Figura 10 - Processos do trabalho científico



Fonte: Adaptado de Quivy e Campenhoudt (2005, p. 26)

A pesquisa teórica é apresentada de forma independente da aplicação prática e, fundamenta-se na pesquisa da documentação escrita, estudo das teorias, acerca de determinado assunto. O estudo ideal objetiva propiciar ao pesquisador subsídios para conceituar o seu trabalho e sustentar o estudo real. E, a empírica, dedica-se na tradução da metrologia da realidade social, a pesquisa de campo, pressupõe-se a comprovação prática da pesquisa teórica, mediante metodologia científica utilizada (GIL, 2009; PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa quantitativa caracteriza-se pela quantização dos dados e informações obtidos, ou seja, converte esses em algorismos para análise e estratificação. Utiliza-se de ferramentas matemáticas como estatística, porcentagem, métodos analíticos, equações e, outras. Enfatiza a objetividade na identificação e condições de controle das informações coletadas, utilizando-se de procedimentos estruturados e formais (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; PEREIRA, 2018).

Na pesquisa aplicada, busca-se embasamento teórico à aplicação prática, objetivando-se a solução de determinado problema. E a pesquisa exploratória, almeja a constatação de uma informação sobre determinado assunto de forma explícita, formulando-se hipóteses, familiarizando-se com o problema (GIL, 2009; GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Por fim, define-se, o estudo de caso, como a pesquisa de um caso específico, isto é, concentra-se na estruturação do conhecimento sobre um local em particular. Para enquadrar-se nesse tipo de pesquisa, precisa-se identificar a importância do estudo, que inclui a definição do problema, originando o objetivo do trabalho. E, a pesquisa bibliográfica, como o levantamento do referencial teórico do assunto já publicado, permitindo ao pesquisador conhecer estudos anteriores, que possibilitem explicar informações atestadoras das hipóteses do seu problema estudado (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; PEREIRA, 2018).

Os dados pertinentes para a realização deste trabalho foram coletados por análise *in loco* na instituição de ensino e junto à SOP, que executa, no local, o programa de melhorias na rede elétrica de escolas do estado. Obteve-se os dados como as faturas de energia elétrica, plantas elétricas e orçamento do projeto na 10ª CROP da 4ª região. Informações sobre o período letivo e horários de aula foram fornecidos pela escola e, retirou-se dos catálogos de fabricantes de lâmpadas e do SINAPI, as bases para a estimação da realização de serviços de instalação, manutenção e comparação econômica da proposta realizada pela SOP.

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, utilizando-se os conhecimentos obtidos no ambiente acadêmico da especialização em engenharia econômica, aplicando-se as equações de análise e viabilidade econômica, mediante o uso do *software Microsoft Office Excel*. A análise da viabilidade técnica é atestada pela pesquisa bibliográfica realizada, seção 1.3, sobre os ensaios em laboratório e comparações entre as lâmpadas, além dos *cases* de sucesso já implementados.

### **3.3 Metodologia da análise 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).

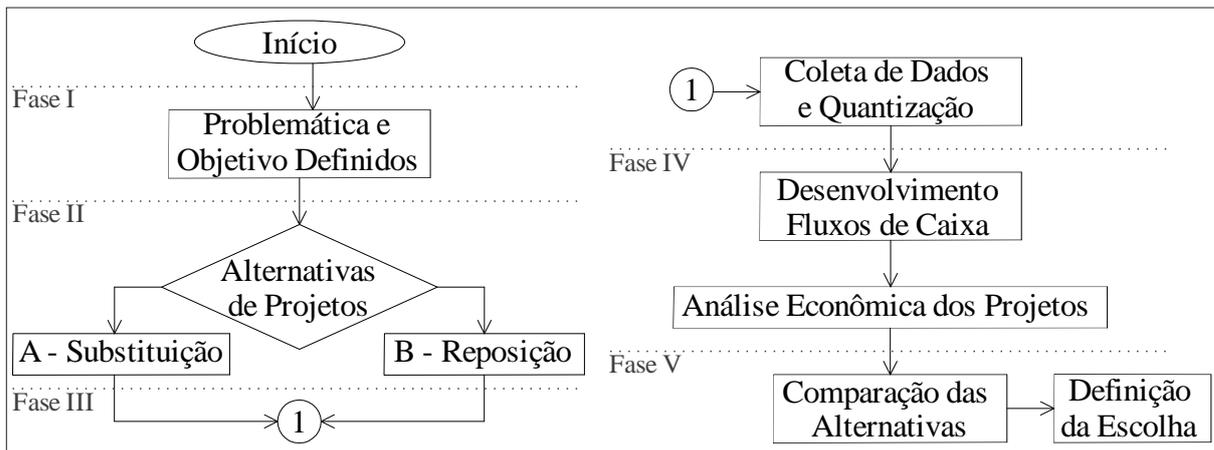
Ainda, conforme Tôrres (2006), a realização da análise da viabilidade econômica de um investimento é dividida em critérios científicos e empíricos, que direcionam à mesma decisão:

- **Críticos científicos** – consideram a variação do dinheiro no tempo e todos os fluxos de caixa do projeto de investimento, denominando-se também como critério exato. Dentre as suas ferramentas estão o VPL, VAUE e TIR; e

- **Críticos empíricos** – oposto ao critério científico, desconsideram a correção temporal monetária e/ou parte do fluxo de caixa, sendo conhecidos como critério aproximado. O *payback* é a sua ferramenta principal.

Na Figura 11 ilustra-se o diagrama da tomada de decisão na análise econômica de projetos de engenharia, com os processos divididos em fases.

Figura 11 – Processos da tomada de decisão em engenharia econômica



Fonte: Adaptado de Blank e Tarquin (2009, p. 10)

### 3.3.1 Fase I

Considerada a mais importante na estrutura de um processo de gestão econômica, define-se nessa etapa a problemática e os objetivos. Precisa-se possuir uma definição clara do problema de engenharia, ou seja, o discernimento entre o estado atual e a expectativa científica futura do sistema, antes da aplicação das ferramentas da matemática financeira (CÔRTEZ, 2012). Dessa forma, a contextualização do problema, os objetivos do trabalho e justificativa são detalhados na Seção 1, Seção 1.1 e Seção 1.2, respectivamente.

### 3.3.2 Fase II

Distingue-se como a fase da criação das alternativas de projetos, pode existir inúmeros estudos da solução de um problema ou somente uma análise. Realiza o filtro entre as

alternativas passíveis de execução, com valores financeiros factíveis, dos projetos irrelevantes, economicamente foras da realidade. Quando há apenas uma alternativa de projeto, a decisão se resume em verificar a sua viabilidade econômica (CÔRTEZ, 2012).

O estudo econômico realizado contém dois casos de análise. O 1º Caso apresenta duas alternativas de investimento e o 2º Caso, evidencia uma alternativa. Detalhados na primeira etapa da Fase IV (Seção 3.3.4.1).

### 3.3.3 Fase III

A coleta de dados e quantização desta fase se baseia na metodologia científica apresentada na Seção 3.2. Realizando-se os passos da pesquisa da seguinte forma:

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

2º. Calcula-se a vida útil das lâmpadas, verificada na Equação 12, determinando-se assim, o horizonte de análise dos investimentos.

$$VU_{lamp} (anos) = \frac{VM_{lamp} (h)}{UD_{lamp} (h) * UM_{lamp} (d) * 12 meses} \quad \dots(12)$$

Onde:

- $VU_{lamp}$  = Vida Útil da Lâmpada em anos;
- $VM_{lamp}$  = Vida Mediana da Lâmpada em horas;
- $UD_{lamp}$  = Uso Diário da lâmpada em horas; e
- $UM_{lamp}$  = Uso Mensal da lâmpada em dias.

Em projetos com vidas úteis diferentes, deve-se supor que os investimentos sejam repetidos até a convergência dos seus horizontes de operação. Procedimento necessário para análise dos métodos do VPL e da TIR (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

3º. Analisa-se as faturas de energia elétrica da escola e calcula-se o custo médio da TE, mediante Equação 13.

$$TE \text{ média} \left( \frac{R\$}{kWh} \right) = \frac{\text{Valor Total das Faturas (R\$)}}{CEE_{mês Tot F Pta} + CEE_{mês Tot Pta} (kWh)} \quad \dots(13)$$

Onde:

- $TE_{média}$  = Tarifa de Energia média;
- $CEE_{mês Tot FPta}$  = Consumo de Energia Elétrica mensal Total Fora de Ponta; e

- $CEE_{\text{mêsTotPta}} = \text{Consumo de Energia Elétrica mensal Total em Ponta.}$

E, realiza-se a correção inflacionária anual da TE, detalhada na Equação 14.

$$TE_{(n)} = TE_{(n-1)} * (1 + IGPM_{\text{médio}}) \quad \dots(14)$$

Onde:

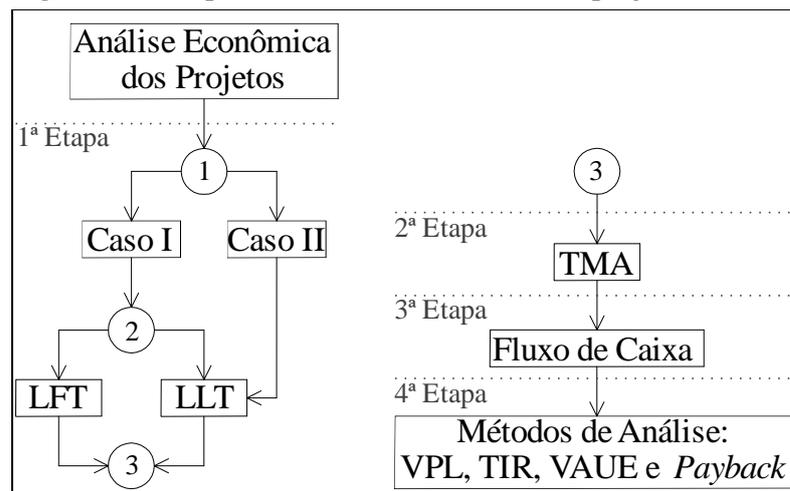
- TE = Tarifa de Energia;
- n = Período do horizonte de tempo;
- n-1 = Período anterior ao atual; e
- $IGPM_{\text{médio}} = \text{Índice Geral de Preços do Mercado médio.}$

Segundo FGV (2019), o reajuste anual da tarifa de energia é indexado pelo IGP-M.

### 3.3.4 Fase IV

Realiza-se a análise da engenharia econômica do projeto, após estabelecidas às alternativas de investimento e realizada a coleta dos dados. Desse modo, parte-se da criação de um fluxo de caixa inicial até a definição do projeto escolhido, dividindo-se esse processo em etapas, detalhado na Figura 12.

Figura 12 - Etapas da análise econômica dos projetos



Fonte: Elaborado com base em Côrtes (2012)

### 3.3.4.1 1ª Etapa

Desenvolve-se a estratificação do estudo de caso, sendo que a análise econômica é dividida em dois casos, o Caso I e o Caso II. No Caso I, são apresentadas as alternativas de reposição das lâmpadas atuais por novas LFT ou a substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas de LED, obtendo-se os custos da tabela do SINAPI desonerado de dez/2018. E, no Caso II, verifica-se alternativa única (LLT), analisando-se a viabilidade econômica da substituição das lâmpadas atuais LFT por lâmpadas de LED, delimitando-se a decisão de executar ou não. Os dados do segundo caso são retirados do orçamento produzido pela SOP, através do sistema SGO de 2018.

O conector 2, após o processo do Caso I, da Figura 12 (Seção 3.3.4), representa o período de decisão (alternativas de projetos) da Fase II, da Figura 11 (Seção 3.3). Assim como, os processos LFT e LLT, representam as alternativas sob análise. O Caso II limita-se na verificação da viabilidade econômica na implantação da alternativa de substituição com inovação tecnológica.

Assim, nesta etapa, obtém-se os valores envolvidos nos projetos, como valor dos componentes de iluminação e mão de obra, contidos nas tabelas SINAPI e SGO de 2018.

### 3.3.4.2 2ª Etapa

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

### 3.3.4.3 3ª Etapa

Projetam-se os fluxos de caixa para o horizonte de vida útil dos equipamentos. As entradas e saídas desses fluxos devem ser expressas em unidades monetárias, formando-se uma sequência de números periódicos, que exprimem o fluxo de caixa líquido (CÔRTEZ, 2012). Dessa forma, obtém-se o  $FCL_{(n)}$  da Equação 15 e, após, ilustra-se o fluxo de caixa com o investimento total no ano 0 (zero) e, a partir do ano 1, a série com os  $FCL_{(n)}$  corrigidos pelo reajuste anual tarifário, para o seu horizonte de vida útil (n).

$$FCL_{(n)} = TE_{(n)} * \Delta CEE_{anual} \quad \dots(15)$$

Onde:

- $FCL_{(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido;
- $TE_{(n)}$  = Tarifa de Energia do Período; e
- $\Delta CEE_{\text{anual}}$  = Economia no Consumo de Energia Elétrica Anual.

Calcula-se, também, o  $VP_{(n)}$  do  $FCL_{(n)}$ , conforme Equação 6 (Seção 2.9.5), onde  $FCL_{(n)}$  equivale-se a variável A da equação.

Exemplificam-se os cálculos com os dados de um ano escolhido aleatoriamente.

### 3.3.4.4 4ª ETAPA

Implementam-se os métodos da engenharia econômica, como o VPL, TIR e *payback*, executados nos seguintes passos:

1º. Encontram-se o  $FCL_{\text{pbs}(n)}$  e o  $FCL_{\text{acum}(n)}$ , conforme Equação 16 e Equação 17.

$$FCL_{\text{pbs}(n)} = FCL_{(n)} + FCL_{\text{pbs}(n-1)} \quad \dots(16)$$

$$FCL_{\text{acum}(n)} = VP_{(n)} + FCL_{\text{acum}(n-1)} \quad \dots(17)$$

Onde:

- $FCL_{\text{pbs}(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido do *Payback* Simples;
- $FCL_{\text{acum}(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido Acumulado;
- $VP_{(n)}$  = Valor Presente; e
- $n$  = Período do tempo em análise.

Observa-se que, investimento inicial é uma saída de caixa, dessa forma, o seu valor é negativo, utilizando-se assim, uma soma direta.

2º. Define-se o VPL da alternativa mediante a Equação 8 (Seção 2.9.6), onde  $VF_{(n)}$  é igual a  $FCL_{(n)}$ , após, realiza-se a seguinte avaliação:

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

3º. Calcula-se a TIR do FC, de acordo com a Equação 11 (Seção 2.9.9), onde  $VF_{(n)}$  é igual a  $FCL_{(n)}$ , após, verifica-se o critério a seguir:

- Se  $TIR < TMA$ , então, execução do investimento é inviável;

- Se  $TIR = TMA$ , então, execução do investimento é indiferente; e
- Se  $TIR > TMA$ , então, execução do investimento é viável.

4°. Transforma-se o FC em uma série uniforme, conforme Equação 10 (Seção 2.9.8), a análise do VAUE é dada da seguinte forma:

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

5°. Encontram-se o *payback* simples e descontado, utilizando-se a Equação 9 (Seção 2.9.7). No simples, modifica-se esta equação com o  $FCL_{(n)}$  e  $FCL_{pbs(n)}$ , demonstrado na Equação 18.

$$Payback_{simples} (tempo) = (n - 1) - \frac{FCL_{pbs(n-1)}}{FCL_{(n)}} \quad \dots(18)$$

Onde:

- $n$  = Período do horizonte de tempo;
- $n-1$  = Período anterior a  $n$ ;
- $FCL_{pbs(n-1)}$  = Fluxo de Caixa Líquido do *Payback* Simples do período anterior; e
- $FCL_{(n)}$  = Fluxo de Caixa Líquido ajustado.

### 3.3.5 Fase V

Por fim, 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).

## 3.4 Considerações Finais

O presente Capítulo apresentou a metodologia científica adotada e o planejamento estratégico no desenvolvimento do trabalho, visando explicitar os métodos matemáticos utilizados na coleta, classificação e tratamento dos dados.

No Capítulo a seguir, apresenta-se o estudo de caso do trabalho, evidenciando-se os dados característicos da escola e das especificações técnicas das lâmpadas.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Considerações Gerais

No Capítulo 4 está apresentado o estudo de caso do trabalho, detalhando-se os dados obtidos na escola e 10ª CROP da 4ª região. Com as características de funcionamento da Instituição, além da coleta e análise das suas faturas de energia elétrica.

Demonstram-se, também, as especificações técnicas das lâmpadas, LFT e LLT, para determinação das suas vidas úteis e períodos de manutenção.

### 4.2 Fase III – 1º Passo: Características da Escola

O trabalho foi realizado na Escola Estadual de Ensino Médio doutor Romário Araújo de Oliveira (EEM Dr. Romário), popularmente conhecida como Centro Integrado de Educação Pública (CIEP), situada no município de Alegrete/RS. A escola é beneficiária do Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas, executado pela SOP do RS. As obras de melhorias na instalação elétrica englobam toda a estrutura do prédio.

A EEM Dr. Romário possui dois andares, pavimentos térreo e superior e, na Tabela 5, é detalhada a estratificação do circuito de iluminação, com a quantidade (Qtde) de luminárias por ambiente.

Tabela 5 - Relação de luminárias por ambiente da escola

	Qtde	Local	Luminárias	Total
Térreo	12	Salas e Biblioteca	12	144
	2	Sala	18	36
	1	Sala	4	4
	4	Banheiro	2	8
	3	Banheiros e Direção	3	9
	-	Corredores	58	58
	1	Refeitório	19	19
	1	Cozinha	17	17
	1	Secretaria	9	9
	1	Área de circulação entrada	6	6
Superior	14	Sala	12	168
	8	Salas e Banheiro	3	24
	1	Sala	9	9
	1	Sala	4	4
	3	Sala e Banheiro	1	3
	2	Banheiro	2	4
	-	Corredores	56	56
<b>EEEM DR ROMÁRIO</b>			<b>578</b>	

Fonte: Elaborado com base nos dados da escola (2018)

No pavimento térreo há 14 salas, 6 banheiros, corredores, refeitório, cozinha, direção, secretaria, biblioteca e área de circulação da entrada, com área total de 1.746 m<sup>2</sup> e 310 luminárias. O pavimento superior conta com 23 salas, 6 banheiros e corredores, totalizando uma área de 928,8 m<sup>2</sup> e 268 luminárias. Dessa forma, a dimensão total do local analisado é de 2.674,8 m<sup>2</sup> com 578 luminárias; desconsiderou-se a área dos corredores, somente as luminárias instaladas. As lâmpadas LFT utilizadas são do tipo tubular T8 36 W G13.

Na Tabela 6 consta o período letivo da escola no ano de 2018.

Tabela 6 - Período letivo da EEEM Dr. Romário em 2018

2018	Dias	Normal		EJA	
		Letivos	Não Letivos	Letivo	Não Letivos
Jan	31	0	31	0	31
Fev	28	3	25	3	25
Mar	31	22	9	23	8
Abr	30	21	9	22	8
Mai	31	23	8	24	7
Jun	30	20	10	21	9
Jul	31	13	18	9	22
Ago	31	25	6	26	5
Set	30	20	10	20	10
Out	31	23	8	22	9
Nov	30	19	11	19	11
Dez	31	11	20	11	20
Média de 17 aulas por mês					

Fonte: Elaborado com base nos dados da escola (2018)

Nos meses de julho e dezembro os dias letivos são reduzidos, praticamente, pela metade, devido ao período de férias escolares. Verifica-se, também, que a Instituição funciona durante todo o dia, com período normal pela manhã e tarde e, Educação de Jovens e Adultos (EJA) no turno da noite. Realizando-se a média de dias letivos por mês durante todo o ano, inclusive considerando o período de férias, encontra-se o valor, aproximado, de 17 aulas ao mês.

O horário de abertura da EEEM Dr. Romário é às 7 h da manhã e as aulas iniciam às 7:40 h; o intervalo diurno é das 12 h às 13:30 h, encerrando-se o período normal às 17:30 h. A EJA inicia às 19 h e termina às 23 h, após este horário, funcionários da limpeza permanecem, geralmente, até as 24 h. Dessa forma, considera-se que as lâmpadas permaneçam acesas, em média, 13 h por dia.

Em 2018, durante o período letivo da escola, utilizaram-se 7 salas de aula no turno da manhã, 8 salas de aula no turno da tarde e 6 salas de aula no período noturno. Nos turnos ainda são utilizados o refeitório, cozinha, 4 conjuntos de banheiros, sala de informática, audiovisual, biblioteca, 5 salas administrativas e dos professores, além das áreas comuns, como recepção e corredores, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Luminárias em operação por turno de funcionamento da escola

Local	Turno			
	Manhã	Tarde	Noite	
Salas de aula	84	96	72	
Refeitório	19	19	19	
Cozinha	17	17	17	
Banheiros	20	20	20	
Sala de Informática	18	18	18	
Sala de Audiovisual	18	18	18	
Biblioteca	12	12	12	
Salas Administrativas	44	44	44	
Recepção	6	6	6	
Corredores	58	58	114	
	<b>TOTAL</b>	295	307	340
	<b>MÉDIA</b>		314	

Fonte: Elaborado com base nos dados da escola (2018)

Considera-se, durante o período diurno, o funcionamento de metade das lâmpadas instaladas nos corredores, representadas por 58 luminárias. Lembra-se, ainda, que cada luminária comporta duas lâmpadas. Dessa forma, para fim de estudo, define-se a utilização de 314 luminárias diariamente (628 lâmpadas), quantidade obtida do valor total médio. Justifica-se o procedimento porque as lâmpadas acesas em um turno, e desligadas ao fim deste, podem ser religadas em outros turnos, repetindo-se indefinidamente.

#### 4.3 Fase III – 2º Passo: Vida Útil e Manutenção das Lâmpadas

Entende-se como vida útil o tempo em que a lâmpada fornece seu brilho máximo, apresentando uma atenuação da sua qualidade energética após esse período, e manutenção periódica, a necessidade de realizar limpeza, averiguação da instalação elétrica e se há componentes danificados nas luminárias (OSRAM, 2015).

Segundo Osram (2013), a vida mediana da lâmpada fluorescente tubular T8 36 W é de 20 mil h, utilizando-se reator eletrônico, e de 15 mil h, com reator eletromagnético. Já a lâmpada de LED tubular T8 18 W, de acordo com Osram (2015), possui vida mediana de 40 mil h, podendo-se alcançar até 100 mil h, geralmente resultado obtido em testes de laboratório.

O tempo de operação da LLT pode ser prolongado através de um cuidado redobrado sobre a sua temperatura de junção, ou seja, é primordial que haja, praticamente, total dissipação do calor produzido pelo LED. Procurando-se manter a sua temperatura de junção estabilizada, em torno de 25 °C.

Ainda, conforme a Seção 4.2, como a iluminação da escola funciona, em média, 13 h por dia e 17 dias por mês, calcula-se pela Equação 12 (Seção 3.3.3), a estimativa do tempo da vida útil, em anos, das lâmpadas, LFT e LLT, especificadas para o projeto.

$$Vida\ Útil_{lâmpada} = \frac{20.000\ e\ 40.000\ (h)}{13 * 17 * 12\ (h/ano)} \cong 7,54\ e\ 15,08\ anos$$

Multiplicando-se o tempo de uso diário e o mensal por 12, obtém-se o valor anual de horas utilizadas de 2.652 h/ano. Portanto, a lâmpada fluorescente apresenta uma vida útil, no projeto em estudo, de 7,5 anos e a lâmpada de LED, de 15 anos, valores anualizados.

O cálculo da vida útil do reator é desconsiderado no presente estudo, visto que, apresenta vida mediana de 50.000 h, mais que o dobro da vida mediana da LFT, conseqüentemente, também com vida útil maior, próximo dos 16 anos. Vale destacar ainda, que ao fim da vida útil da LFT, após os 7,5 anos, expecta-se que esta alternativa seja reinvestida na sua totalidade, comprando-se lâmpadas e reatores novos.

Conforme Proteste (2013), as lâmpadas fluorescentes compactas da “marca A” queimam, frequentemente, após 3,8 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. Muitas dessas permanecem, inclusive, operando normalmente após o término da sua vida útil, demonstrando somente uma atenuação gradativa do seu fluxo luminoso no decorrer do tempo.

Então, as LFTs, em sua maioria, terão de ser trocadas no meio da sua vida útil e as LEDs tubulares, ao atingirem 60% da sua vida útil ou conforme percepção da redução agravante do seu fluxo luminoso. Dessa maneira, estima-se que 30% das LFTs queimarão após 4 anos (347 un.) e 5% dos tubos de LED apresentarão defeito ao final de 9 anos (58 un.),

ambos arredondados. Portanto, reserva-se um custo de manutenção das lâmpadas, acrescido ao fluxo de caixa dos tempos citados.

O cálculo da vida útil é de suma importância para identificação dos custos iniciais e com manutenção de trocas, além da recuperação de capital investido à longo prazo, obtendo-se, dessa forma, os resultados da viabilidade econômica.

#### 4.4 Fase III – 3º Passo: Faturamento de Energia Elétrica da Escola

Na Tabela 8 estão demonstradas as faturas de energia elétrica obtidas, do período entre abril e dezembro de 2018 (9 meses). Não foram coletadas as contas dos meses de janeiro a março, devendo-se ao fato da alteração da concessionária de distribuição na região, o sistema de gestão dos dados da empresa estava em transição, impossibilitando acesso.

Tabela 8 - Faturas de energia elétrica da escola em 2018

Conta	Fora de Ponta		Ponta		BTE	Adicional (R\$)	Outros (R\$)	Fatura (R\$)
	CEE <sub>mês</sub> (kWh)	TE (R\$)	CEE <sub>mês</sub> (kWh)	TE (R\$)				
Abr	1.226	0,341854	289	1,034418	Am	30,30	707,92	3.282,53
	4.077	0,257686	643	0,986106	Vm1	141,60		
Mai	5.136	0,267965	913	1,041545	Vm1	181,47	951,25	3.459,92
Jun	4.514	0,27705	790	1,05063	Vd	-	873,64	3.570,98
	1.266	0,27705	211	1,05063	Vm1	44,31		
Jul	913	0,27705	221	1,05063	Vd	-	894,41	3.405,17
	4.307	0,27705	697	1,05063	Am	100,08		
Ago	679	0,27705	113	1,05063	Am	15,84	919,06	3.545,50
	4.617	0,27705	820	1,05063	Vm1	163,11		
Set	3.966	0,27705	654	1,05063	Am	92,40	895,67	3.299,06
	1.052	0,27705	187	1,05063	Vm1	37,17		
Out	821	0,27705	150	1,05063	Am	19,42	864,92	3.473,37
	4.224	0,27705	816	1,05063	Vm2	176,40		
Nov	4.621	0,274463	840	1,048043	Vm2	273,05	916,41	3.338,11
Dez	5.077	0,2808	847	1,05438	Vm1	177,72	843,93	3.340,33
Média	5.166,23		910,12					
TOTAL	46.496		8.191					30.714,97

Fonte: Elaborado com base nos dados da escola (2018)

A fatura da conta de luz denota pouca oscilação no seu valor final, acredita-se que de janeiro a fevereiro haja uma redução significativa, oriunda do período de férias. Essa

característica de faturamento, relativamente, constante, expõe o uso contínuo da iluminação artificial nas dependências da escola. Verifica-se, também, que a escola consome seu grande montante de energia no horário fora de ponta, com uma média de 5.166,23 kWh e, de 910,12 kWh, em ponta, apresentando um custo total de R\$ 30.714,97. Cabe ressaltar que os valores do consumo e faturamento são referentes ao período analisado, de abril a dezembro de 2018.

O CIEP faz parte do subgrupo A4, pertencente ao poder público, e possui demanda contratada de 35 kW, os períodos seco e úmido são desconsiderados no cálculo do seu faturamento. Durante o intervalo analisado, a bandeira verde esteve vigente em junho e julho, e somente por alguns dias daqueles meses, nos demais, oscilaram entre amarela e vermelha. A tarifa da bandeira amarela foi de R\$ 0,02, da bandeira vermelha, patamar 1, de R\$ 0,03 e patamar 2, de R\$ 0,035, sofrendo reajuste no mês de novembro, saltando para R\$ 0,05. O preço médio (R\$) do kWh na análise foi de R\$ 0,56, já acrescido de ICMS, PIS/COFINS e bandeiras vigentes no período de estudo, obteve-se do resultado da Equação 13 (Seção 3.3.3).

$$\text{Tarifa de Energia média (R\$/kWh)} = \frac{30.714,97}{46.496 + 8.191} = \text{R\$ } 0,56 \text{ kWh}$$

O método de obtenção, por valores médios, justifica-se pela demanda contratada, o que tornaria complexo, e até inviabilizaria, a análise do custo por kWh.

Na Tabela 9 constam as informações sobre o IGP-M, de 2004 a 2018, e o reajuste da TE.

Tabela 9 - IGP-M e reajuste tarifário

Ano	IGP-M (%)	n (ano)	Reajuste TE
2004	12,42	1	R\$ 0,56
2005	1,20	2	R\$ 0,59
2006	3,84	3	R\$ 0,63
2007	7,74	4	R\$ 0,67
2008	9,81	5	R\$ 0,71
2009	-1,71	6	R\$ 0,75
2010	11,32	7	R\$ 0,80
2011	5,10	8	R\$ 0,85
2012	7,81	9	R\$ 0,90
2013	5,52	10	R\$ 0,95
2014	3,67	11	R\$ 1,01
2015	10,54	12	R\$ 1,07
2016	7,19	13	R\$ 1,14
2017	-0,53	14	R\$ 1,21
2018	7,55	15	R\$ 1,28
Média	6,10		

Fonte: Elaborado com base em FGV (2019)

Reitera-se ainda que, como o estudo econômico do investimento é de longo prazo, precisa-se realizar a correção monetária anual da TE.

Dessa forma, com base na Equação 14 (Seção 3.3.3), corrige-se a TE utilizando-se a média acumulada anual do IGP-M dos últimos 15 anos (mesmo horizonte de análise do projeto), equivalente ao cálculo de juros composto, exemplificado no ano 5.

$$TE_{(5)} = 0,67_{(4)} * (1 + 0,061) = R\$ 0,71$$

#### **4.5 Considerações Finais**

O presente Capítulo apresentou os dados e informações pertinentes obtidos no estudo de caso. As ferramentas principais para obtenção das informações do estudo de caso foram os relatórios da 10ª CROP e da base de dados SINAPI, além dos manuais técnicos sobre lâmpadas de LED e LFT.

O tratamento dos dados foi realizado e aferido em planilhas eletrônicas, organizando-se os equacionamentos e resultados em tabelas. A quantização dessas informações servirá como base para o horizonte de análise do investimento econômico.

No Capítulo a seguir, apresenta-se a análise da viabilidade econômica dos projetos utilizando LFT e tubular de LED.

## 5 ANÁLISE DOS CASOS DE INVESTIMENTO

### 5.1 Considerações Gerais

O Capítulo 5 executa a metodologia descrita à análise econômica deste trabalho, apresenta os dados obtidos, buscando-se responder os objetivos propostos.

Com uma descrição detalhada dos conceitos e definições de funcionamento, tem-se a intenção de explicar de forma clara os processos de desenvolvimento da tomada de decisão.

Evidencia-se, também, possíveis dificuldades e problemas na aplicação das ferramentas da engenharia econômica.

### 5.2 Caso I – SINAPI

#### 5.2.1 Fase IV – 1ª Etapa: Custos monetários do Caso I

No Caso I são apresentados os valores obtidos do SINAPI desonerado período dez/2018, e os resultados da sua análise econômica, assim como a viabilidade do projeto. A Tabela 10 contém os custos de aquisição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 36 W e tubo de LED T8 18 W, considera-se, também, o valor da luminária e reator para LFT.

As luminárias de sobrepor podem ser instaladas com lâmpadas fluorescentes ou de LED, são universais, possuem dimensões iguais e estrutura de engate G13, assim, o seu custo de aquisição é atribuído em ambas, reitera-se, também, que cada luminária comporta duas lâmpadas.

Tabela 10 - Custos de aquisição das alternativas – Caso I

SINAPI	Item/Descrição	Qtde	Custo un.	Custo Total
38779	Lâmpada Tubular T8 Fluorescente 36/40 W	1156	R\$ 6,27	R\$ 7.248,12
01079	Reator 2x Lâmpada Fluorescente 36/40 W	578	R\$ 17,04	R\$ 9.849,12
39387	Lâmpada Tubular T8 LED 18/20 W	1156	R\$ 51,51	R\$ 59.545,56
12239	Luminária de Sobrepor 2x Lâmpadas	578	R\$ 17,91	R\$ 10.351,98
12295	Soquete Base G13	2312	R\$ 2,53	R\$ 5.849,36
	Aquisição kit lâmpada Fluorescente		R\$ 57,61	R\$ 33.298,58
	Aquisição kit lâmpada LED		R\$ 131,05	R\$ 75.746,90

Fonte: Elaborado com base na tabela SINAPI (2018)

Dessa maneira, 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. Nota-se, que a compra de um kit lâmpada de LED é R\$ 73,44 mais cara. Portanto, a diferença do custo total de aquisição entre os kits das lâmpadas é de R\$ 42.448,32, onde o custo total do kit lâmpada LED é de R\$ 75.746,90 e da LFT de R\$ 33.298,58.

Entretanto, devem-se considerar, também, os custos de instalação e manutenção, demonstrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Custos de remoção, instalação e manutenção – Caso I

SINAPI	Item/Descrição	Grandeza	Instalação	Manutenção
88264	Eletricista	R\$/h	9,78	5,14
88247	Auxiliar Eletricista	R\$/h	3,17	1,67
97665	Remoção de Luminárias	R\$/h		0,94
	Custo Total de Remoção	R\$		543,32
	Custo Total de Instalação	R\$	7.485,10	
	Total de Mão de Obra	R\$		8.028,42
	Custo Total da Alternativa com LFT	R\$		41.327,00
	Custo Total da Alternativa com LLT	R\$		83.775,32

Fonte: Elaborado com base na tabela SINAPI (2018)

O custo da mão de obra do eletricista 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 desonerado de dez/2018 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. O custo total de remoção é encontrado multiplicando-se o preço da remoção por luminária pela sua quantidade instalada, 578 unidades. Consequentemente, o custo total de instalação é o produto dessas unidades instaladas pela soma dos custos com eletricista e auxiliar.

Por fim, somando-se o custo total da mão de obra com o custo total de aquisição do kit de LFT, encontra-se o seu custo total de R\$ 41.327,00. O custo total da alternativa com LLT resulta da soma entre o custo total com mão de obra e o custo total do kit com LLT, chegando-se a cifra de R\$ 83.775,32.

A Tabela 12 estratifica os processos e custos que envolvem a manutenção periódica das lâmpadas LFT e LLT. Reitera-se que, manutenção programada é a realização da troca futura

de lâmpadas danificas. Contudo, como a margem especificada é maior que o fator apresentado pelos institutos de pesquisa e regulamentação, permite-se incluir nesses custos, também, a troca de luminárias, soquetes e reatores, quando forem necessários.

Tabela 12 - Informações sobre a manutenção das lâmpadas – Caso I

Item/Descrição	Grandeza	LFT	LLT
Tempo para Manutenção	anos	4	9
Taxa de Manutenção	%	30	5
Manutenção	un	347	58
Custo de Manutenção	R\$	2.174,44	2.977,28
Mão de Obra Manutenção	R\$	2361,708	393,618
Custo Total Manutenção	R\$	4.536,14	3.370,90

Fonte: Autor (2019)

Os tempos para manutenção foram ajustados para números inteiros, a fim de simplificar a análise dos custos anualizados. A variável manutenção é o produto da taxa de manutenção com a quantidade de lâmpadas instaladas e, o custo de manutenção é o preço da multiplicação entre o custo unitário de cada lâmpada e suas unidades substituídas.

Verifica-se ainda, que o valor da mão de obra é encontrado através do produto entre o número de unidades trocadas e a soma dos salários do eletricista e auxiliar, para o serviço de manutenção. Por fim, o custo total de manutenção é a soma dos custos envolvidos nesse retrabalho de substituição.

Na Tabela 13 é estimado o custo do consumo de energia elétrica de cada lâmpada, considerando os demais dados obtidos na pesquisa, como quantidade, custo de aquisição, custo kWh e, outros.

Tabela 13 - Consumo de energia das alternativas - Caso I

Descrição	Grandeza	LFT	LLT
Operação no Mês	h	221	221
Tarifa de Energia (ano zero)	R\$/kWh	0,56	0,56
Consumo de Energia Mensal	kWh	5.190,67	2.498,18
Fatura do Consumo Mensal	R\$	2.906,77	1.398,98
Custo Anual	R\$	34.881,31	25.181,69
Economia Anual de Energia	kWh	32.309,85	
Economia Anual	R\$	18.093,51	

Fonte: Autor (2019)

A operação no mês é encontrada através da média de dias letivos, 17 dias, multiplicada pelo período em que as lâmpadas permanecem acesas diariamente, 13 h, encontrando-se o valor de 221 h. Lembra-se que somente 628 lâmpadas permaneceram acesas diariamente.

Obtém-se o consumo de energia mensal da LFT, a partir, do produto da potência da lâmpada, potência do reator (2,8 W), quantidade de lâmpadas acesas, quantidade de reatores sendo utilizados (314 un.) e operação mensal, divididos por 1000, uma vez que, a unidade de mensuração é kW, conforme Equação 1 (Seção 2.8.1).

$$CEE_{mês} = \frac{(36 * 628) * (2,8 * 314) * 221}{1000} = 5.190,67 \text{ kWh} \quad \dots(19)$$

Contudo, o consumo mensal da lâmpada de LED, não considera a utilização de reatores.

$$CEE_{mês} = \frac{(18 * 628) * 221}{1000} = 2.498,18 \text{ kWh} \quad \dots(20)$$

Realizando-se a diferença do  $CEE_{mês}$  das lâmpadas e multiplicando-se por 12 meses, encontra-se a redução do consumo anual de 32.309,85 kWh.

Por último, calcula-se o valor da fatura mensal, conforme Equação 2 (Seção 2.8.2), lembra-se que os custos com CIP, PIS, COFINS e ICMS já estão embutidos na TE de R\$ 0,56. Então, através do produto entre o consumo de energia no mês e o custo do kWh, encontra-se o custo mensal das alternativas, após, multiplicando-se por 12 meses, obtém-se o custo anual de cada uma. Portanto, observa-se que a economia anual total, no custo mensal da conta de energia elétrica, com a implantação de lâmpadas de LED, é de R\$ 18.093,51.

### 5.2.2 Fase IV – 2ª Etapa: Taxa de juros do Caso I

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.

### 5.2.3 Fase IV – 3ª Etapa: Fluxos de caixa do Caso I

Com as informações sobre o desembolso total com materiais e trabalhadores, consumo de energia elétrica, manutenção programada e economia em R\$ gerada anualmente, possibilita-se trabalhar na criação dos fluxos de caixa de investimento do Caso I.

### 5.2.3.1 Alternativa com LFT

Na Tabela 14 estão apresentados os valores do horizonte de análise (n), da  $TE_{(n)}$  de correção, do  $FCL_{(n)}$  e do  $VP_{(n)}$ , referentes ao projeto de investimento econômico com LFT do Caso I.

Tabela 14 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LFT

n (ano)	$TE_{(n)}$	$FCL_{(n)}$	$VP_{(n)}$
0	-	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00
1	R\$ 0,56	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2	R\$ 0,59	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3	R\$ 0,63	R\$ 0,00	R\$ 0,00
4	R\$ 0,67	-R\$ 5.255,81	-R\$ 3.863,17
5	R\$ 0,71	R\$ 0,00	R\$ 0,00
6	R\$ 0,75	R\$ 0,00	R\$ 0,00
7	R\$ 0,80	R\$ 0,00	R\$ 0,00
8	R\$ 0,85	-R\$ 55.480,29	-R\$ 29.974,27
9	R\$ 0,90	R\$ 0,00	R\$ 0,00
10	R\$ 0,95	R\$ 0,00	R\$ 0,00
11	R\$ 1,01	R\$ 0,00	R\$ 0,00
12	R\$ 1,07	-R\$ 7.055,76	-R\$ 2.801,94
13	R\$ 1,14	R\$ 0,00	R\$ 0,00
14	R\$ 1,21	R\$ 0,00	R\$ 0,00
15	R\$ 1,28	R\$ 0,00	R\$ 0,00

Fonte: Autor (2019)

A comparação da viabilidade econômica entre projetos de vida útil diferentes é errônea, exceto no método do VAUE. Dessa forma, como 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. O novo investimento é corrigido pela taxa de 3,75%, inflação acumulada em 2018 (EBC, 2019), aplicando-se a Equação 7 (Seção 2.9.5).

$$VF_{(8)} = 41.327,00 * (1 + 0,0375)^8 = R\$ 55.480,29$$

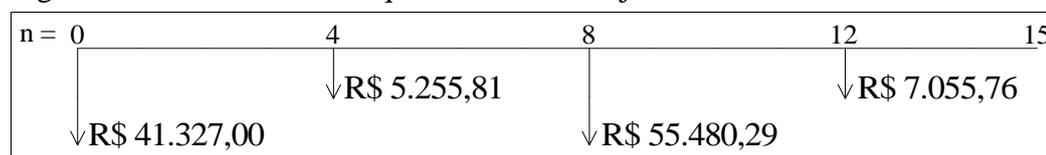
Assim sendo, corrige-se também, os valores das manutenções a serem realizadas.

$$VF_{(4)} = 4.536,14 * (1 + 0,0375)^4 = R\$ 5.255,81$$

$$VF_{(12)} = 4.536,14 * (1 + 0,0375)^{12} = R\$ 7.055,76$$

Na Figura 13, ilustra-se o fluxo de caixa do projeto de investimento com LFT do Caso I.

Figura 13 - Fluxo de caixa líquido - Caso I: Projeto com LFT



Fonte: Autor (2019)

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

### 5.2.3.2 Alternativa com LLT

Na Tabela 15, apresentam-se os valores do  $FCL_{ideal}$ , da  $TE_{(n)}$  de correção, do  $FCL_{(n)}$  e do  $VP_{(n)}$ , referentes ao projeto com lâmpada de LED do Caso I.

Tabela 15 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LLT

n (ano)	$FCL_{ideal}$	$TE_{(n)}$	$FCL_{(n)}$	$VP_{(n)}$
0	<b>-R\$ 83.775,32</b>	-	<b>-R\$ 83.775,32</b>	<b>-R\$ 83.775,32</b>
1	R\$ 18.093,51	R\$ 0,56	R\$ 18.093,51	R\$ 16.753,25
2	R\$ 18.093,51	R\$ 0,59	R\$ 19.196,97	R\$ 16.458,31
3	R\$ 18.093,51	R\$ 0,63	R\$ 20.367,73	R\$ 16.168,56
4	R\$ 18.093,51	R\$ 0,67	R\$ 21.609,89	R\$ 15.883,91
5	R\$ 18.093,51	R\$ 0,71	R\$ 22.927,80	R\$ 15.604,28
6	R\$ 18.093,51	R\$ 0,75	R\$ 24.326,09	R\$ 15.329,56
7	R\$ 18.093,51	R\$ 0,80	R\$ 25.809,65	R\$ 15.059,68
8	R\$ 18.093,51	R\$ 0,85	R\$ 27.383,69	R\$ 14.794,56
9	R\$ 18.093,51 <b>- R\$ 4.695,03</b>	R\$ 0,90	R\$ 24.358,40	R\$ 12.185,41
10	R\$ 18.093,51	R\$ 0,95	R\$ 30.825,62	R\$ 14.278,22
11	R\$ 18.093,51	R\$ 1,01	R\$ 32.705,56	R\$ 14.026,86
12	R\$ 18.093,51	R\$ 1,07	R\$ 34.700,16	R\$ 13.779,91
13	R\$ 18.093,51	R\$ 1,14	R\$ 36.816,41	R\$ 13.537,32
14	R\$ 18.093,51	R\$ 1,21	R\$ 39.061,71	R\$ 13.298,99
15	R\$ 18.093,51	R\$ 1,28	R\$ 41.443,95	R\$ 13.064,86

Fonte: Autor (2019)

O fluxo de caixa ideal ( $FCL_{ideal}$ ), é o FC contínuo do primeiro ano do projeto, onde a economia gerada, de R\$ 18.093,51, não sofre reajuste tarifário ao longo dos 15 períodos.

Obtém-se o  $FCL_{(n)}$  do produto entre a  $TE_{(n)}$  anualizada e a diferença do CEE anual das lâmpadas, de 32.309,85 kWh, conforme Equação 15 (Seção 3.3.4.3) exemplificada no ano 5.

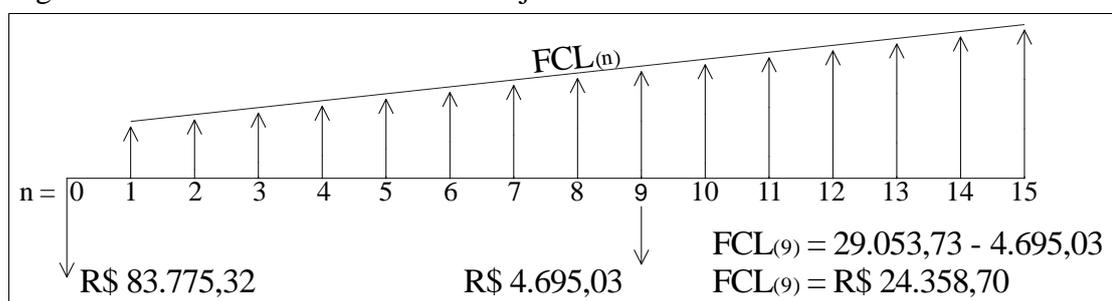
$$FCL_{(5)} = 0,71_{(5)} * 32.309,85 = R\$ 22.927,80$$

Por fim, ajusta-se o  $FCL_{(n)}$  para o  $VP_{(n)}$ , com uma TMA de 8%, conforme Equação 6 (Seção 2.9.5) no *Excel* exemplificada no ano 5, onde  $FCL_{(n)}$  equivale-se a variável A da equação.

$$VP_{(5)} = VP(8\%; 5_{(5)}; ; -22.927,80_{(5)}) = R\$ 15.604,28$$

Os demais valores do  $FCL_{(n)}$  e  $VP_{(n)}$  são calculados sucessivamente conforme a metodologia descrita. Então, ilustra-se na Figura 14, o fluxo de caixa do projeto com LED do Caso I.

Figura 14 - Fluxo de caixa - Caso I: Projeto com LLT



Fonte: Autor (2019)

Verifica-se um investimento inicial de R\$ 83.775,32 e uma série de entradas  $FCL_{(n)}$ , gerada pela economia no consumo, até o término da vida útil do tubo de LED. No ano 9, há uma saída de caixa no valor de R\$ 4.695,03, corrigido pela inflação (EBC, 2019), conforme Equação 7 (Seção 2.9.5), para execução da manutenção programada.

$$VF_{(9)} = 3.370,90 * (1 + 0,0375)^9 = R\$ 4.695,03$$

## 5.2.4 Fase IV – 4ª Etapa – 1º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I

### 5.2.4.1 Alternativa com LFT

Com o fluxo de caixa determinado, calculam-se os  $FCL_{pbs(n)}$  e os  $FCL_{acum(n)}$ , demonstrando-se, na Tabela 16, uma projeção inicial do tempo de recuperação do investimento em LFT.

Tabela 16 - Prognóstico da recuperação do investimento - Caso I: Projeto com LFT

n (ano)	FCL <sub>(n)</sub>	VP <sub>(n)</sub>	FCL <sub>pbs(n)</sub>	FCL <sub>acum(n)</sub>
0	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00
1	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00
2	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00
3	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 41.327,00	-R\$ 41.327,00
4	-R\$ 5.255,81	-R\$ 3.863,17	-R\$ 46.582,81	-R\$ 45.190,17
5	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 46.582,81	-R\$ 45.190,17
6	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 46.582,81	-R\$ 45.190,17
7	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 46.582,81	-R\$ 45.190,17
8	-R\$ 55.480,29	-R\$ 29.974,27	-R\$ 102.063,10	-R\$ 75.164,45
9	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 102.063,10	-R\$ 75.164,45
10	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 102.063,10	-R\$ 75.164,45
11	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 102.063,10	-R\$ 75.164,45
12	-R\$ 7.055,76	-R\$ 2.801,94	-R\$ 109.118,86	-R\$ 77.966,39
13	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 109.118,86	-R\$ 77.966,39
14	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 109.118,86	-R\$ 77.966,39
15	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 109.118,86	-R\$ 77.966,39

Fonte: Autor (2019)

A subtração do  $FCL_{(n)}$  pelo  $FCL_{pbs(n-1)}$  resulta no  $FCL_{pbs(n)}$  e, a subtração do  $VP_{(n)}$  pelo  $FCL_{acum(n-1)}$ , resulta no  $FCL_{acum(n)}$ . São calculados de acordo com a Equação 16 e a Equação 17 (Seção 3.3.4.4), nesta ordem, utilizando-se como exemplo o ano 3. O tempo  $n$  representa a vida útil em anos da lâmpada.

$$FCL_{pbs(3)} = 0_{(3)} + (-41.327,00)_{pbs(2)} = -R\$ 41.327,00$$

$$FCL_{acum(3)} = 0_{(3)} + (-41.327,00)_{acum(2)} = -R\$ 41.327,00$$

### 5.2.4.2 Alternativa com LLT

A Tabela 17 contém o prognóstico de recuperação do investimento em lâmpada de LED.

Tabela 17 – Prognóstico da recuperação do investimento - Caso I: Projeto com LLT

n (ano)	FCL <sub>(n)</sub>	VP <sub>(n)</sub>	FCL <sub>pbs(n)</sub>	FCL <sub>acum(n)</sub>
0	-R\$ 83.775,32	-R\$ 83.775,32	-R\$ 83.775,32	-R\$ 83.775,32
1	R\$ 18.093,51	R\$ 16.753,25	-R\$ 65.681,81	-R\$ 67.022,07
2	R\$ 19.196,97	R\$ 16.458,31	-R\$ 46.484,83	-R\$ 50.563,75
3	R\$ 20.367,73	R\$ 16.168,56	-R\$ 26.117,10	-R\$ 34.395,19
4	R\$ 21.609,89	R\$ 15.883,91	-R\$ 4.507,21	-R\$ 18.511,28
5	R\$ 22.927,80	R\$ 15.604,28	R\$ 18.420,59	-R\$ 2.907,00
6	R\$ 24.326,09	R\$ 15.329,56	R\$ 42.746,68	R\$ 12.422,56
7	R\$ 25.809,65	R\$ 15.059,68	R\$ 68.556,33	R\$ 27.482,24
8	R\$ 27.383,69	R\$ 14.794,56	R\$ 95.940,02	R\$ 42.276,80
9	R\$ 24.358,70	R\$ 12.185,41	R\$ 120.298,72	R\$ 54.462,22
10	R\$ 30.825,62	R\$ 14.278,22	R\$ 151.124,34	R\$ 68.740,44
11	R\$ 32.705,56	R\$ 14.026,86	R\$ 183.829,90	R\$ 82.767,30
12	R\$ 34.700,16	R\$ 13.779,91	R\$ 218.530,07	R\$ 96.547,21
13	R\$ 36.816,41	R\$ 13.537,32	R\$ 255.346,47	R\$ 110.084,52
14	R\$ 39.061,71	R\$ 13.298,99	R\$ 294.408,18	R\$ 123.383,51
15	R\$ 41.443,95	R\$ 13.064,86	R\$ 335.852,13	R\$ 136.448,37

Fonte: Autor (2019)

O  $FCL_{pbs(n)}$  e o  $FCL_{acum(n)}$ , são calculados de acordo com a Equação 16 e a Equação 17 (Seção 3.3.4.4), respectivamente, utilizando-se como exemplo o ano 5.

$$FCL_{pbs(5)} = 22.927,80_{(5)} + (-4.507,21)_{pbs(4)} = R\$ 18.420,59$$

$$FCL_{acum(5)} = 15.604,28_{(5)} + (-18.511,28)_{acum(4)} = -R\$ 2.907,00$$

### 5.2.5 Fase IV – 4ª Etapa – 2º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se o valor presente líquido das alternativas, através da Equação 8 no *Excel* (Seção 2.9.6). Utilizam-se os valores do  $FCL_{(n)}$ , respectivos de cada tipo de lâmpada.

$$VPL_{LFT} = -41.327,00_{(0)} + VPL(8\%; 0,00_{(1)}; 0,00_{(15)}) = -R\$ 77.966,39$$

$$\begin{aligned} VPL_{LLT} &= -83.775,32_{(0)} + VPL(8\%; 18.093,51_{(1)}; 41.443,95_{(15)}) \\ &= R\$ 136.448,37 \end{aligned} \quad \dots(21)$$

Pode-se obter o VPL dos investimentos, também, pelo resultado dos  $FCL_{acum(15)}$ , uma vez que, os  $FCL_{(n)}$  são trazidos para o presente pelo  $VP_{(n)}$ , utilizado como atenuador do investimento inicial.

Segundo os critérios do VPL, o investimento na reposição das LFT é inviável, seu valor é negativo, 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.

#### 5.2.6 Fase IV – 4ª Etapa – 3º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se a taxa interna de retorno das alternativas, através da Equação 11 no *Excel* (Seção 2.9.9). Utilizam-se os valores do  $FCL_{(n)}$  de cada tipo de lâmpada.

$$TIR_{LLT} = TIR(-83.775,32_{(0)}; 41.443,95_{(15)}) = 25,89 \%$$

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.

#### 5.2.7 Fase IV – 4ª Etapa – 4º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se o valor anual uniforme equivalente das alternativas, através da Equação 10 no *Excel* (Seção 2.9.8). Utilizam-se os valores do  $VPL_{LLT}$  (Equação 21 – Seção 5.2.5) e o  $VPL_{LFT}$  é recalculado com a vida útil de 8 anos da lâmpada fluorescente.

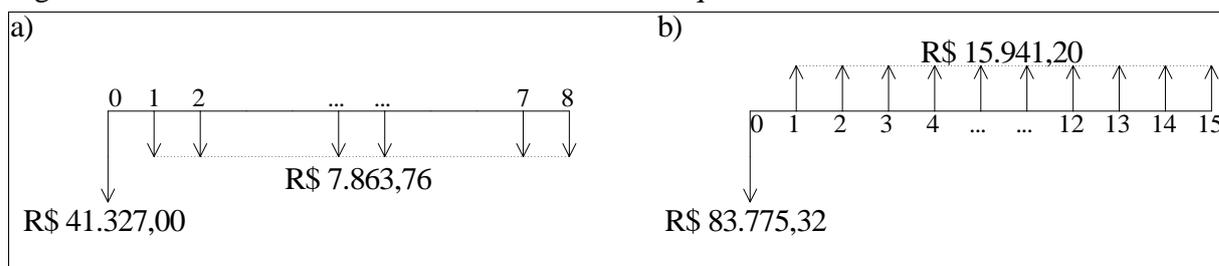
$$VPL_{LFT} = -41.327,00_{(0)} + VPL(8\%; 0,00_{(1)}; 0,00_{(8)}) = -R\$ 45.190,17$$

$$VAUE_{LFT} = PGTO(8\%; 8; -(-44.661,20)_{LFT}) = -R\$ 7.863,76$$

$$VAUE_{LLT} = PGTO(8\%; 15; -137.110,77_{LLT}) = R\$ 15.941,20$$

Como o VAUE permite a comparação de duas alternativas com horizontes de análise diferentes, recalcula-se o  $VPL_{LFT}$  com base na vida útil de um investimento único em lâmpadas fluorescentes. Dessa forma, realiza-se a transformação do fluxo de caixa da LFT (Figura 15-a) e LLT (Figura 15-b) em uma série uniforme.

Figura 15 - Fluxo de caixa do valor anual uniforme equivalente - Caso I



Fonte: Autor (2019)

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.

### 5.2.8 Fase IV – 4ª Etapa – 5º Passo: Viabilidade Econômica do Caso I

Neste passo da 4ª Etapa, efetua-se a análise visual do  $FCL_{pbs(n)}$  e do  $FCL_{acum(n)}$ , de ambas as lâmpadas, verificando-se o momento em que essas variáveis se tornam maiores que zero. Após, calcula-se o tempo de retorno exato das alternativas, o *payback* simples e o *payback* descontado, através da Equação 18 (Seção 3.3.4.4) e Equação 9 (Seção 2.9.7), respectivamente. O investimento na reposição das LFT não apresenta retorno monetário da sua aquisição, visto que há somente saídas de caixa do projeto econômico.

$$Payback_{simples} = 4_{(4)} - \frac{-4.507,21_{(4)}}{22.927,80_{(5)}} = 4,28 \text{ anos}$$

$$Payback_{descontado} = 5_{(5)} - \frac{-2.907,00_{(5)}}{15.329,56_{(6)}} = 5,16 \text{ anos}$$

Todavia, o investimento na substituição por tubos de LED apresenta retorno em 4,28 anos no *payback* simples e em 5,16 anos no *payback* descontado.

E, por meio de uma regra de três, refinam-se os tempos de retorno do investimento.

$$Payback_{simples} = \frac{0,28 * 12}{1} = 3 \text{ meses}$$

$$Payback_{descontado} = \frac{0,16 * 12}{1} = 2 \text{ meses}$$

Assim sendo, pelo *payback* simples, tem-se um retorno em 4 anos e 3 meses, e, pelo *payback* descontado, o investimento retorna em 5 anos e 2 meses.

### 5.2.9 Fase V: Viabilidade Econômica do Caso I

Por fim, na Tabela 18, mostram-se os resultados dos métodos de análise da viabilidade econômica do Caso I para ambos os tipos de lâmpadas.

Tabela 18 - Resultados dos métodos de análise econômica - Caso I

	VPL	TIR	VAUE	<i>Payback</i> <sub>simples</sub>	<i>Payback</i> <sub>descontado</sub>
LFT	-R\$ 77.966,39	-	-R\$ 7.863,76	-	-
LLT	R\$ 136.448,37	25,89%	R\$ 15.941,20	4 anos e 3 meses	5 anos e 2 meses

Fonte: Autor (2019)

Dessa forma, a alternativa da 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 4 anos e 3 meses, no *payback* simples, e em 5 anos e 2 meses, no *payback* descontado.

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, no Caso I, 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  $FCL_{acum(15)}$ .

### 5.3 Caso II – Sistema de Gestão de Obras (SGO)

#### 5.3.1 Fase IV – 1ª Etapa: Custos monetários do Caso II

No Caso II, são apresentados os valores obtidos do orçamento gerado no SGO pela 10ª CROP e os resultados da sua análise econômica, assim como a viabilidade do projeto. A Tabela 19 contém os custos de aquisição das lâmpadas de LED tubulares T8 18 W e a mão de obra envolvida, na remoção e instalação, do Caso II.

No SGO as lâmpadas de LED são cadastradas como um kit único, contendo luminária, soquetes, aletas e duas lâmpadas de 18 W. Assim, como a mão de obra, apresenta-se com custo único e proporcional a quantidade de unidades instaladas, sem distinção de funções e fator de proporção das horas de trabalho dos funcionários. A troca das luminárias com LFTs antigas é contabilizada como serviços de remoção de material elétrico.

Tabela 19 - Custos de aquisição da alternativa – Caso II

SGO	Item/Descrição	Qtde	Custo un
1003190	Luminária LED Tubular 2x 18/20 W Completa	578 un	R\$ 167,59
	Mão de Obra	578 un	R\$ 42,71
76341	Serviços de Remoção de Material Elétrico	30 h	R\$ 35,58
	Custo Total Aquisição kit Lâmpada de LED		R\$ 96.867,02
	Custo Total de Remoção		R\$ 1.067,4
	Custo Total de Instalação		R\$ 24.686,38
	Custo Total da Alternativa com LLT		R\$ 122.620,80

Fonte: Elaborado com base na tabela SGO (2018)

Verifica-se que o valor unitário da aquisição de um kit de luminária LED é de R\$ 167,59, vale destacar que, comparando-se com o Caso I, a compra de um kit de LED, do Caso II, é R\$ 46,66 mais cara. A mão de obra unitária no Caso II é de R\$ 42,71, equivalendo-se, novamente, com o Caso I, é R\$ 32,93 maior. Logo, no Caso II, o custo total de aquisição das lâmpadas de LED é de R\$ 96.867,02, o total da remoção é de R\$ 1.067,40 e o custo total de instalação é de R\$ 24.686,38, somando-se todos, apresenta um investimento total de R\$ 122.620,80.

No orçamento do Caso II, os custos com LFTs não são considerados, apenas o projeto com os novos componentes do circuito de iluminação artificial. Dessa forma, o Caso II

restringe-se à comparação da instalação das tubulares de LED com o consumo atual de energia elétrica da escola, verificando-se a sua viabilidade econômica de implantação.

Na Tabela 20, estima-se o consumo de energia elétrica da LLT, considerando os demais dados obtidos na pesquisa, como quantidade, custo de aquisição, custo do kWh e, outros.

Tabela 20 – Consumo de energia da alternativa – Caso II

Descrição	Grandeza	Atual	LLT	LFT
Operação no Mês	h	221	221	221
Tarifa de Energia (ano zero)	R\$/kWh	0,56	0,56	0,56
Consumo de Energia Mensal ( $CEE_{mês}$ )	kWh	6.076,34	2.498,18	5.190,67
Fatura do Consumo Mensal	R\$	3.402,75	1.398,98	2.906,77
Custo Anual	R\$	40.833,00	16.787,80	34.881,31
$CEE_{mês}$ de Outros Equipamentos	kWh		885,67	
$CEE_{mês}$ Final da LLT	kWh		3.383,85	
Economia Anual de Energia	kWh		32.309,83	
Economia Anual	R\$		18.093,51	

Fonte: Autor (2019)

A operação no mês é encontrada através da média de dias letivos, 17 dias, multiplicada pelo período em que as lâmpadas permanecem acesas diariamente, 13 h, encontrando-se o valor de 221 h. Lembra-se que somente 628 lâmpadas permaneceram acesas diariamente.

Obtém-se o consumo de energia mensal atual, a partir, da soma das médias dos  $CEE_{mês}$  em ponta e fora de ponta, inclusos na Tabela 8 (Seção 4.4). Todavia, o  $CEE_{mês}$  da LFT resulta da Equação 19 e o da LLT da Equação 20, ambos na Seção 5.2.1.

Como o consumo de energia elétrica da escola constitui-se de outros equipamentos elétricos, além do seu circuito de iluminação interno, deve-se subtrair o consumo das lâmpadas LFT existentes pelo consumo total atual. Gerando-se, assim, uma margem a ser adicionada no consumo final do novo circuito de iluminação com lâmpadas de LED.

$$CEE_{mês} \text{ de Outros Equipamentos} = 6.076,34 - 5.190,67 = 885,67 \text{ kWh}$$

$$CEE_{mês} \text{ Final da LLT} = 2.498,18 + 885,67 = 3.383,85 \text{ kWh}$$

Subtraindo-se o  $CEE_{mês}$  do sistema atual com o  $CEE_{mês}$  final da LLT e, após, multiplicando-se por 12 meses, encontra-se a redução do consumo anual de 32.309,83 kWh.

Por último, calcula-se o valor da fatura mensal, conforme Equação 2 (Seção 2.8.2), reitera-se que os custos com CIP, PIS, COFINS e ICMS já estão embutidos na TE de R\$ 0,56. Então, através do produto entre o  $CEE_{\text{mês}}$  e o custo do kWh, encontra-se o custo mensal do sistema atual, da lâmpada de LED e da LFT, após, multiplicando-se por 12 meses, obtém-se o custo anual de cada um. Portanto, observa-se que a economia anual total, no faturamento mensal, com a implantação da alternativa com LLT, é de R\$ 18.093,51.

Informações sobre manutenção e predição de possíveis defeitos futuros nas lâmpadas de LED, e demais itens, não são considerados no projeto em análise da SOP.

### 5.3.2 Fase IV – 2ª Etapa: Taxa de juros do Caso II

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% a.a., com base no PNE 2030.

### 5.3.3 Fase IV – 3ª Etapa: Fluxo de caixa do Caso II

Na Tabela 21 constam os valores do horizonte de análise (n), do  $FCL_{\text{ideal}}$ , da  $TE_{(n)}$  de correção, do  $FCL_{(n)}$  e do  $VP_{(n)}$ , referentes à alternativa de investimento econômico com LLT do Caso II.

Tabela 21 – Fluxo de caixa - Caso II: Projeto com LLT

n (ano)	$FCL_{\text{ideal}}$	$TE_{(n)}$	$FCL_{(n)}$	$VP_{(n)}$
0	<b>-R\$ 122.620,80</b>	-	<b>-R\$ 122.620,80</b>	<b>-R\$ 122.620,80</b>
1	R\$ 18.093,51	R\$ 0,56	R\$ 18.093,51	R\$ 16.753,25
2	R\$ 18.093,51	R\$ 0,59	R\$ 19.196,97	R\$ 16.458,30
3	R\$ 18.093,51	R\$ 0,63	R\$ 20.367,72	R\$ 16.168,55
4	R\$ 18.093,51	R\$ 0,67	R\$ 21.609,88	R\$ 15.883,91
5	R\$ 18.093,51	R\$ 0,71	R\$ 22.927,79	R\$ 15.604,27
6	R\$ 18.093,51	R\$ 0,75	R\$ 24.326,08	R\$ 15.329,56
7	R\$ 18.093,51	R\$ 0,80	R\$ 25.809,64	R\$ 15.059,68
8	R\$ 18.093,51	R\$ 0,85	R\$ 27.383,68	R\$ 14.794,55
9	R\$ 18.093,51	R\$ 0,90	R\$ 29.053,72	R\$ 14.534,09
10	R\$ 18.093,51	R\$ 0,95	R\$ 30.825,60	R\$ 14.278,22
11	R\$ 18.093,51	R\$ 1,01	R\$ 32.705,55	R\$ 14.026,85
12	R\$ 18.093,51	R\$ 1,07	R\$ 34.700,15	R\$ 13.779,91
13	R\$ 18.093,51	R\$ 1,14	R\$ 36.816,39	R\$ 13.537,31
14	R\$ 18.093,51	R\$ 1,21	R\$ 39.061,69	R\$ 13.298,98
15	R\$ 18.093,51	R\$ 1,28	R\$ 41.443,93	R\$ 13.064,86

Fonte: Autor (2019)

Com os dispêndios totais definidos, como materiais e trabalhadores, consumo de energia elétrica e a economia em R\$ gerada anualmente, possibilita-se trabalhar na criação dos fluxos de caixa de investimento do Caso II.

O fluxo de caixa ideal ( $FCL_{ideal}$ ), é o FC contínuo do primeiro ano do projeto, onde a economia gerada, de R\$ 18.093,51, não sofre reajuste tarifário ao longo dos 15 períodos.

Obtém-se o  $FCL_{(n)}$  do produto entre a  $TE_{(n)}$  anualizada e a diferença do CEE anual das lâmpadas, de 32.309,83 kWh, conforme Equação 15 (Seção 3.3.4.3), exemplificada no ano 10.

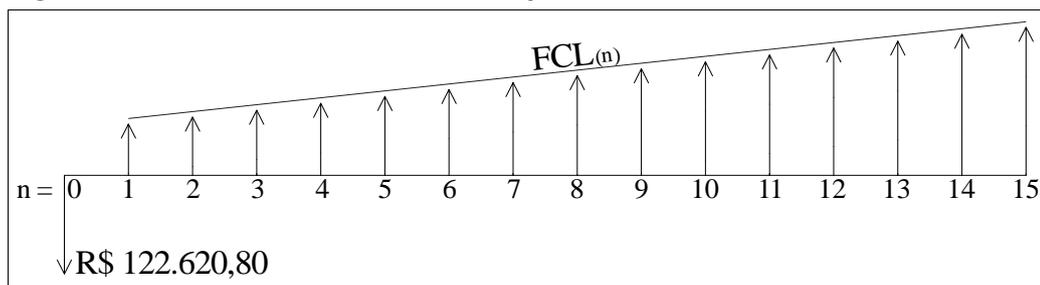
$$FCL_{(10)} = 0,95_{(10)} * 27.948,77 = R\$ 30.825,60$$

Por fim, ajusta-se o  $FCL_{(n)}$  para o  $VP_{(n)}$ , com uma TMA de 8%, conforme Equação 6 no Excel (Seção 2.9.5), exemplificada no ano 13, onde  $FCL_{(n)}$  equivale-se a variável A da equação.

$$VP_{(13)} = VP(8\%; 13_{(13)};; -31.847,05_{(13)}) = R\$ 11.710,09$$

Os demais valores do  $FCL_{(n)}$  e  $VP_{(n)}$  são calculados sucessivamente conforme a metodologia descrita. Então, ilustra-se na Figura 16, o fluxo de caixa do projeto com LED do Caso II.

Figura 16 - Fluxo de caixa - Caso II: Projeto com LLT



Fonte: Autor (2019)

Verifica-se um investimento inicial de R\$ 122.620,80, e uma série de entradas  $FCL_{(n)}$ , gerada pela economia no consumo, até o término da vida útil do tubo de LED.

### 5.3.4 Fase IV – 4ª Etapa – 1º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II

Com o fluxo de caixa determinado, calculam-se o  $FCL_{pbs(n)}$  e o  $FCL_{acum(n)}$ , demonstrando-se, na Tabela 22, uma projeção inicial do tempo de recuperação do investimento em LLT.

Tabela 22 – Prognóstico da recuperação do investimento - Caso II: Projeto com LLT

n (ano)	FCL <sub>(n)</sub>	VP <sub>(n)</sub>	FCL <sub>pbs(n)</sub>	FCL <sub>acum(n)</sub>
0	-R\$ 122.620,80	-R\$ 122.620,80	-R\$ 122.620,80	-R\$ 122.620,80
1	R\$ 18.093,51	R\$ 16.753,25	-R\$ 104.527,29	-R\$ 105.867,55
2	R\$ 19.196,97	R\$ 16.458,30	-R\$ 85.330,33	-R\$ 89.409,25
3	R\$ 20.367,72	R\$ 16.168,55	-R\$ 64.962,61	-R\$ 73.240,69
4	R\$ 21.609,88	R\$ 15.883,91	-R\$ 43.352,73	-R\$ 57.356,79
5	R\$ 22.927,79	R\$ 15.604,27	-R\$ 20.424,94	-R\$ 41.752,52
6	R\$ 24.326,08	R\$ 15.329,56	R\$ 3.901,14	-R\$ 26.422,96
7	R\$ 25.809,64	R\$ 15.059,68	R\$ 29.710,78	-R\$ 11.363,29
8	R\$ 27.383,68	R\$ 14.794,55	R\$ 57.094,46	R\$ 3.431,26
9	R\$ 29.053,72	R\$ 14.534,09	R\$ 86.148,18	R\$ 17.965,36
10	R\$ 30.825,60	R\$ 14.278,22	R\$ 116.973,78	R\$ 32.243,57
11	R\$ 32.705,55	R\$ 14.026,85	R\$ 149.679,33	R\$ 46.270,42
12	R\$ 34.700,15	R\$ 13.779,91	R\$ 184.379,48	R\$ 60.050,33
13	R\$ 36.816,39	R\$ 13.537,31	R\$ 221.195,87	R\$ 73.587,64
14	R\$ 39.061,69	R\$ 13.298,98	R\$ 260.257,56	R\$ 86.886,62
15	R\$ 41.443,93	R\$ 13.064,86	R\$ 301.701,49	R\$ 99.951,48

Fonte: Autor (2019)

O  $FCL_{pbs(n)}$  e o  $FCL_{acum(n)}$ , são calculados de acordo com a Equação 16 e a Equação 17 (Seção 3.3.4.4), respectivamente, utilizando-se como exemplo o ano 7.

$$FCL_{pbs(7)} = 25.809,64_{(7)} + 3.901,14_{pbs(6)} = R\$ 29.710,78$$

$$FCL_{acum(7)} = 15.059,68_{(7)} + (-26.422,96)_{acum(6)} = -R\$ 11.363,29$$

### 5.3.5 Fase IV – 4ª Etapa – 2º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se o valor presente líquido da alternativa, através da Equação 8 no *Excel* (Seção 2.9.6). Utilizam-se os valores do  $FCL_{(n)}$  obtidos no projeto com LLT.

$$VPL_{LLT} = -122.620,80_{(0)} + VPL(8\%; 18.093,51_{(1)}; 41.443,93_{(15)}) = R\$ 99.951,48$$

Pode-se obter o VPL do investimento, também, pelo resultado dos  $FCL_{acum(15)}$ , uma vez que, os  $FCL_{(n)}$  são trazidos para o presente pelo  $VP_{(n)}$ , utilizado como atenuador do investimento inicial.

Segundo os critérios do VPL, o investimento na substituição por lâmpadas de LED é viável, acumulando valor considerável no decorrer da sua vida útil.

### 5.3.6 Fase IV – 4ª Etapa – 3º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se a taxa interna de retorno da alternativa, através da Equação 11 no *Excel* (Seção 2.9.9). Utilizam-se os valores do  $FCL_{(n)}$  obtidos no projeto com LLT.

$$TIR_{LLT} = TIR(-122.620,80_{(0)}; 41.443,93_{(15)}) = 17,77 \%$$

O investimento na substituição por tubos de LED apresenta uma taxa de 17,77%, maior que a TMA aplicada, apresentando-se viável sua execução.

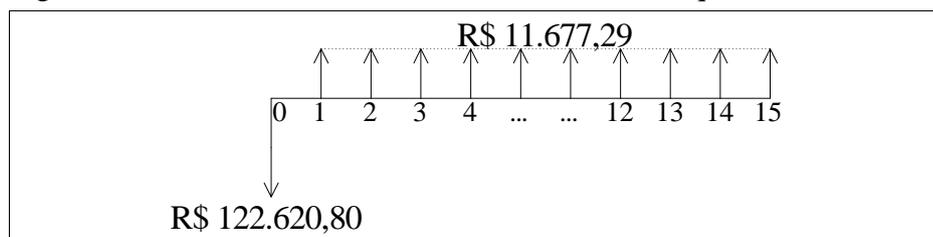
### 5.3.7 Fase IV – 4ª Etapa – 4º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II

Neste passo da 4ª Etapa, calcula-se o valor anual uniforme equivalente da alternativa, através da Equação 10 no *Excel* (Seção 2.9.8). Utiliza-se o valor do VPL do projeto com LLT.

$$VAUE_{LLT} = PGTO(8\%; 15; -99.951,48_{LLT}) = R\$ 11.677,29$$

Dessa forma, realiza-se a transformação do fluxo de caixa da LLT em uma série uniforme, demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxo de caixa do valor anual uniforme equivalente - Caso II



Fonte: Autor (2019)

Em consoante com os critérios do VAUE, o investimento na substituição por lâmpadas de LED é viável, série uniforme positiva.

### 5.3.8 Fase IV – 4ª Etapa – 5º Passo: Viabilidade Econômica do Caso II

Neste passo da 4ª Etapa, efetua-se a análise visual do  $FCL_{pbs(n)}$  e do  $FCL_{acum(n)}$ , da alternativa, verificando-se o momento em que essas variáveis se tornam maiores que zero. Após, calcula-se o tempo de retorno exato do projeto, o *payback* simples e o *payback* descontado, através da Equação 18 (Seção 3.3.4.4) e Equação 9 (Seção 2.9.7), respectivamente.

$$Payback_{simples} = 5_{(5)} - \frac{-20.424,94_5}{24.326,08_6} = 5,84 \text{ anos}$$

$$Payback_{descontado} = 7_{(7)} - \frac{-11.363,29_7}{14.794,55_8} = 7,77 \text{ anos}$$

O investimento na substituição por tubos de LED apresenta retorno em 5,84 anos no *payback* simples e em 7,77 anos no *payback* descontado.

E, por meio de uma regra de três, refinam-se os tempos de retorno do investimento.

$$Payback_{simples} = \frac{0,84 * 12}{1} = 10 \text{ meses}$$

$$Payback_{descontado} = \frac{0,77 * 12}{1} = 9 \text{ meses}$$

Assim sendo, pelo *payback* simples, tem-se um retorno em 5 anos e 10 meses, e, pelo *payback* descontado, o investimento retorna em 7 anos e 9 meses.

### 5.3.9 Fase V: Viabilidade Econômica do Caso II

Por fim, na Tabela 23, constam os resultados dos métodos de análise da viabilidade econômica do Caso II para o projeto com LLT.

Tabela 23 - Resultados dos métodos de análise econômica - Caso II

	VPL	TIR	VAUE	<i>Payback</i> <sub>simples</sub>	<i>Payback</i> <sub>descontado</sub>
LLT	R\$ 99.951,48	17,77%	R\$ 11.677,29	5 anos e 10 meses	7 anos e 9 meses

Fonte: Autor (2019)

Dessa forma, a alternativa da LLT possui boa capacidade de gerar valor, ostentando-se viável 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 é maior que zero, além disso, os critérios do retorno do capital investido também a favorecem, ocorre em 5 anos e 10 meses, no *payback* simples, e em 7 anos e 9 meses, no *payback* descontado.

O projeto com LLT possui alto investimento inicial, porém, como gera economia de energia, em longo prazo, o tubo de LED recupera o investimento.

Portanto, na decisão final de execução do Caso II, pretere-se a manutenção do sistema atual e, escolhe-se viabilizar a execução da 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, um reinvestimento de 82% das lâmpadas ao término do horizonte analisado, segundo o resultado do  $FCL_{acum(15)}$ .

Contudo, deve-se observar que, este orçamento não considera custos com manutenção e trocas de equipamentos danificados ao longo da vida útil do projeto. Assim, o tempo de retorno do investimento aumentaria e o poder monetário de reinvestimento diminuiria, caso esses custos fossem considerados.

#### 5.4 Comparação dos Casos

Na Tabela 24 consta a análise comparativa dos casos, com os seus respectivos investimentos iniciais e resultados dos métodos de análise da viabilidade econômica.

Tabela 24 – Análise comparativa dos casos

	Investimento Inicial	VPL	TIR	VAUE	<i>Payback</i> <sub>descontado</sub>
<i>Caso I</i>					
LFT	R\$ 41.327,00	-R\$ 77.966,39	-	-R\$ 7.863,76	-
LLT	R\$ 83.775,32	R\$ 136.448,37	25,89%	R\$ 15.941,12	5 anos e 2 meses
<i>Caso II</i>					
LLT	R\$ 122.620,80	R\$ 99.951,48	17,77%	R\$ 11.677,29	7 anos e 9 meses

Fonte: Autor (2019)

Verifica-se que a alternativa com LLT, para ambos os casos, possui boa capacidade de gerar valor, mesmo com o alto investimento inicial, ostentando-se viável nos quatro métodos aplicados. Entretanto, opta-se pelo projeto com LLT do Caso I, por apresentar maiores VPL, TIR, VAUE e tempo menor do *payback* descontado.

## **5.5 Considerações Finais**

O Capítulo 4 detalhou a análise da viabilidade econômica de dois casos, contendo no primeiro caso duas propostas de investimento e no segundo, a análise do orçamento da SOP.

O Caso I envolveu dados do sistema referente ao SINAPI e o Caso II foi obtido do sistema de informações de componentes da construção civil da SOP, o SGO.

Na primeira análise, efetuou-se a comparação das alternativas com LFT e LLT, equivalentes tecnicamente, em um sistema novo do circuito de iluminação. E, na segunda, a análise da viabilidade de implantação dos tubos de LED, comparado com o consumo do sistema atual.

Em ambos os casos, o *retrofit* por lâmpadas de LED ostentou-se com viabilidade econômica positiva, o Caso I apresenta retorno em, aproximadamente, 6 anos, e o Caso II, em pouco mais que 7 anos e meio, de acordo com o *payback* descontado.

No Capítulo 5, apresenta-se a arguição das conclusões e considerações finais do presente trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

Apresentou-se no presente trabalho uma avaliação econômica sobre a implantação de lâmpadas de LED 18 W no lugar de lâmpadas fluorescentes tubulares 36 W, em um estudo de caso. A revisão bibliográfica de trabalhos anteriores corroborou a viabilidade técnica desta pesquisa. Fornecendo embasamento teórico e prático de projetos já implantados, além de informações sobre testes em laboratório.

O local escolhido para análise foi a EEEM Dr. Romário, situada no município de Alegrete/RS. Essa escola é beneficiária do Programa Estadual de Modernização das Instalações Elétricas em Escolas Públicas, executado pela SOP do RS.

Dividiu-se a análise em dois casos, o Caso I abordou a viabilidade de duas alternativas, uma com reposição de lâmpadas fluorescentes e, a outra, com a substituição por lâmpadas de LED. Utilizou-se, neste caso, a base de dados do SINAPI, coletando-se os custos com os componentes da construção civil, envolvidos no estudo. No Caso II, verificou-se a viabilidade de investimento na substituição, com progresso tecnológico, do sistema atual de iluminação por lâmpadas de LED. Os custos da mão de obra e dos componentes que compõem uma luminária LED foram obtidos do SGO, utilizado pela 10ª CROP da 4ª região.

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. Destaca-se o cuidado no método de obtenção dos dados, a fim de, garantir-se a viabilidade e implantação técnica de um projeto de eficiência energética. Os resultados encontrados devem possuir o embasamento apresentado no referencial teórico e metodologia.

Portanto, o presente trabalho objetivou demonstrar as consequências, positivas e negativas, sobre a viabilidade econômica de um projeto de eficiência energética na iluminação de uma escola pública. Validando-se de uma metodologia de cálculos para levantamento dos custos envolvidos, como a estimativa dos custos de energia elétrica, da instalação e manutenção, e vida útil das lâmpadas.

Dessa forma, a rentabilidade do investimento na substituição de LFT por LLT foi favorável, em ambos os casos. O *retrofit* por lâmpadas de LED ostentou-se com viabilidade econômica positiva. O Caso I apresenta retorno em, aproximadamente, 5 anos e 2 meses, e o Caso II, em 7 anos e 9 meses, de acordo com o *payback* descontado. 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.

Conclui-se, ainda, que caso o orçamento e execução, da modernização do circuito de iluminação da escola, fossem realizados considerando a tabela SINAPI, a geração de valor do projeto de investimento seria maior. Reitera-se, também, a exclusão das premissas de lâmpadas danificadas e manutenções no Caso II, o que agregaria mais custos na análise econômica. Assim sendo, cientificamente o Caso I mostrou-se o mais indicado à implementação, aproximando-se de forma mais precisa a realidade do ambiente e adversidades no horizonte de análise.

Sugere-se para trabalhos futuros: analisar detalhadamente a carga instalada na escola; estudar o faturamento mensal da instituição, a fim de, possibilitar redefinição contratual da demanda contratada; e realizar o estudo luminotécnico, por ambiente do prédio, para melhor distribuição das lâmpadas.

## REFERÊNCIAS

- ABILUMI — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES E IMPORTADORES DE PRODUTOS DE ILUMINAÇÃO. **ABilumi Alerta para o Perigo de Adquirir Lâmpadas LED Não Certificadas**. 2017. Disponível em: <<http://www.abilumi.org.br/abilumi-alerta-para-o-perigo-de-adquirir-lampadas-led-nao-certificadas/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- 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.
- ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Norma de Desempenho Brasileira. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- ANEEL — AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008a.
- ANEEL — AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública**. 4. ed. Brasília: ANEEL, 2008b.
- ANEEL — AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 479**. Brasília: ANEEL, 2012.
- ANEEL — AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e de Tarifa de Energia (TE) da RGE SUL - RGE SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A - relativas à revisão tarifária periódica de 2018 – Versão Audiência Pública**. Brasília: ANEEL, 2018.
- AZEVEDO, I. L.; MORGAN, M. G.; MORGAN, F. The transition to solid-state lighting. **Proceedings of the IEEE**, v. 97, n. 3, p. 481-510, 2009.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.
- BLEY, F. B. LEDs versus Lâmpadas Convencionais Viabilizando a troca. **Revista Especialize**, Curitiba, n. 3, 2012.
- BLUM, G. **Não Há Limites para a Evolução do LED**. Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação – ABilumi. 2018. Disponível em: <<https://www.abilumi.org.br/artigo-nao-ha-limites-para-evolucao-led/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- BOMILCAR, A.; BLUM, G. **O LED e o Mercado em Expansão**. Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação – ABilumi. 2018. Disponível em: <<http://www.abilumi.org.br/o-led-e-o-mercado-em-expansao/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

BRASIL. Poder Executivo. Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília: Poder Executivo, 4 mar. 1993.

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.; KOPITTKKE, 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.

CHUNG, H. S. H. et al. Comparison of dimmable electromagnetic and electronic ballast systems—An assessment on energy efficiency and lifetime. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 54, n. 6, p. 3145-3154, 2007.

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.

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.

ENERGY, M. o. **Russian Ministry of Energy has a Meeting on the Issue of Promoting Investments into Energy Efficient Lighting**. 2015. Disponível em: <<https://minenergo.gov.ru/node/2673>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

EPE — EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017.

EPE — EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco 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.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GRIGORYEVA, S. et al. Analysis energy efficiency of automated control system of LED lighting. In: **2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

GUEDES, J. C. d. S. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica** / Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2011.

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.

INMETRO — INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Lâmpada LED**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2017.

JEREMIAS, B. T. et al. Photovoltaic Energy, LED Technology and Energy Efficiency in the ITSAO. In: **2018 XXXI International Summer Meeting on Power and Industrial Applications (RVP-AI)**. IEEE, 2018. p. 19-22.

KEYER, C. et al. Dc pollution of ac mains due to modern compact fluorescent light lamps and led lamps. In: **2013 International Symposium on Electromagnetic Compatibility**. IEEE, 2013. p. 632-636.

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 (IFEEEC)**. IEEE, 2013. p. 585-589.

LUCACHE, D. D.; NEMESCU, M. V.; IOACHIM, D. Starting modeling of the fluorescent lamp using magnetic starter. In: **2003 10th International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)**. IEEE, 2003. p. 435-438.

MARTINEZ, E. **Mercado de LED en México com Crescimento Pese a Retraso Tecnológico**/ Petroquimex La Revista de la Industria Energética - 2014. Disponível em: <<https://petroquimex.com/mercado-de-led-en-mexico-con-%E2%80%A8crescimiento-pese-a-retraso-tecnologico/>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

MATVOZ, D.; MAKSIC, M. Comparison of LED and CFL lamps and their impact on electric power network. In: **2012 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power**. IEEE, 2012. p. 320-327.

MONTEIRO, R. V. A. et al. LED tubular lamps and tubular fluorescent: Power quality. In: **2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)**. IEEE, 2014. p. 400-404.

NAIR, A. K. et al. Performance analysis of LED and florescent lamps a case study of street lightning system. In: **2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS)**. IEEE, 2016. p. 850-855.

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. Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Circulares. **Catálogo Geral OSRAM**. [S. l.: s. n.], 2013.

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

PEREIRA, A. S. et al. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 2018.

PHILIPS. **Guia Prático Philips Iluminação. Lâmpadas, Reatores. Luminárias e LEDs**. [S. l.: s. n.], 2009.

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

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. d. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

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-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.

QUIVY, R.; CAMPENHOUDT, L. V. **Manual de Investigação em Ciências Sociais**. 4. ed. Lisboa: Gradiva, 2005.

SEVERINO, A. J. A pesquisa na pós-graduação em educação. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 1, n. 1, p. 31-49, 2007.

SHRIVASTAVA, A.; SINGH, B. PFC Cuk converter based electronic ballast for an 18 W compact fluorescent lamp. In: **2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems**. IEEE, 2010. p. 393-397.

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.

SOP — SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO. **História**. 2017. Disponível em: <<https://obras.rs.gov.br/historia>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

SOP — SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO. **Governo do estado e universidades realizam projetos para a reforma elétrica de escolas**. 2019. Disponível em: <<https://obras.rs.gov.br/governo-do-estado-e-universidades-realizam-projetos-para-a-reforma-eletrica-de-escolas>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

STEIGERWALD, D. A. et al. Illumination with solid state lighting technology. **IEEE journal of selected topics in quantum electronics**, v. 8, n. 2, p. 310-320, 2002.

TOLMASQUIM, M. **Plano Nacional de energia 2030**. Conselho Nacional de Política Energetica - CNPE, Brasília: CNPE, 2007, v. 1, n. 10.

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.