

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia

Alessandra Cherubino Guedes

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO
ANÁLISE DO PLANO DECENAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
ESTUDO DE CASO**

Itajubá

2022

Alessandra Cherubino Guedes

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO
ANÁLISE DO PLANO DECENAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
ESTUDO DE CASO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Área de concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Itajubá

2022

Alessandra Cherubino Guedes

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO
ANÁLISE DO PLANO DECENAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
ESTUDO DE CASO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Prof. Dr. Jamil Haddad – UNIFEI (Orientador)

Prof. Dr. Roberto Akira Yamchita – UNIFEI (Banca Examinadora)

Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis – UNESP (Banca Examinadora)

Prof. Dr. *Marcos Vinicius Xavier Dias* – UNIFEI (Banca Examinadora)

Itajubá, 12 de dezembro de 2022

*“Tudo posso Naquele que me fortalece.”
Filipenses 4.13*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à DEUS, pois o que temos de mais importante é a família, pois tudo que desejamos, com dedicação e esforço é alcançado. Quando temos objetivos, nada impossível, pois com planejamento e determinação, fazendo as escolhas certas chegamos ao final vitoriosos e certos que nada é em vão.

À minha família, em especial a meus pais, pois me faltam palavras para expressar minha gratidão. Acreditaram em mim, incentivaram e sempre fizeram tudo, para que eu pudesse chegar até aqui. Se sou o que sou é porque tenho uma base familiar forte, pois me deram um bem maior, valor e estudo. Ao meu marido Marcelo, pela compreensão e à minha filha Eliza, por colorir a minha vida e entender minha ausência em alguns momentos, mas tudo é pensando nela. Sem vocês esta conquista não seria possível.

Aos meus orientadores, Professores Dr. Roberto Akira Yamachita e Dr. Jamil Haddad, pela paciência, dedicação, ensinamentos e por estarem sempre dispostos a ajudar e me orientar para que eu pudesse concluir esta tão sonhada realização.

Aos amigos e colegas de trabalho que contribuíram comigo para a realização do projeto de Eficiência Energética, que tornou possível a implementação do estudo de caso para a concretização do meu trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da UNIFEI, por todos os aprendizados recebidos e compartilhados.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa conquista.

RESUMO

Desde a Pré-História, o homem tem usado a inteligência para criar mecanismos que reduzam o esforço e aumentam o seu conforto. Ao dominar a técnica do fogo, melhorou sua alimentação, iluminação e segurança. Descobriu a força das águas, dos ventos e domesticou animais, usando a força de cavalos e bois para trabalho. Milhares de anos se passaram até que um fato marcou a história da energia: a invenção da máquina de vapor, um símbolo energético da Revolução industrial. Foi apenas há pouco mais de 100 anos que surgiu a energia elétrica, símbolo da Era da Informação. Através dela, outras formas de energia puderam se transformar com eficiência, como: calor, iluminação e energia mecânica. A Energia Elétrica é algo especial para o desenvolvimento das atividades, mas tendo em vista a escassez dos recursos energéticos naturais e o aumento dos consumidores resultando em aumentos de preços, cada vez mais é incentivado o uso consciente da energia, buscando alternativas para melhorar a qualidade e eficiência da energia a ser fornecida. Com o aumento da tecnologia, e aumento de consumidores cresce a preocupação com a eficiência energética do sistema de distribuição de energia, com vistas à qualidade do fornecimento e economia no setor para o ano de 2029, espera-se uma economia de energia de 23,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, do qual 16% corresponde a economias de energia elétrica e 84% a economias de combustível, cerca de 10% superiores aos previstos no PDE 2029, de forma a lidar adequadamente com os riscos de implantação. Para as economias de eletricidade no ano de 2029, o setor industrial representa cerca de 35% do total, seguido pelos setores residencial e edificações comerciais e públicas, que representam 20% e 16% do total, respectivamente. O setor de serviços, incluindo os setores de iluminação pública e saneamento, mas sem a participação das edificações comerciais e públicas, representam, aproximadamente, 21% do total. Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar as considerações do PEDF juntamente com o PDE 2029 considerando as diretrizes, estudos e incertezas, aplicação prática em um ambiente industrial, mostrando o ganho energético, onde será realizado um Retrofit de iluminação com redução do consumo, gerando ganho econômico em decorrência da eficiência energética que consiste na troca de uma iluminação menos eficiente para uma mais eficiente, considerando a substituição dependendo das áreas troca de luminárias herméticas fechadas IP67 e troca de lâmpadas para LED gerando redução total de aproximadamente 25% da potência do sistema com redução de custo de manutenção e redução de riscos.

Palavras-chave: Energia. Qualidade. Eficiência. PDEf.

ABSTRACT

Since prehistoric period, man has used intelligence to create mechanisms that reduce effort and increase comfort. By mastering the fire technique, he improved his food, lighting and security. He discovered the power of the waters, the winds and tamed animals, using the strength of horses and oxen for work. Thousands of years passed until a fact marked the history of energy: the invention of the steam engine, an energetic symbol of the Industrial Revolution. It was just over 100 years ago that electrical energy emerged, symbol of the Information Age. Through it, other forms of energy could be transformed efficiently, such as: heat, lighting and mechanical energy. Electricity is something special for the development of activities, but in view of the scarcity of natural energy resources and the increase in consumers resulting in price increases, the conscious use of energy is increasingly encouraged, seeking alternatives to improve quality and efficiency of the energy to be supplied. With the increase in technology, and increase in consumers, the concern about the energy efficiency of the energy distribution system grows, with a view to the quality of supply and economy in the sector for the year 2029, an energy saving of 23, is expected. 1 million tons of oil equivalent, of which 16% corresponds to electricity savings and 84% to fuel savings, around 10% higher than those foreseen in the PDE 2029, in order to adequately deal with the implementation risks. For electricity savings in the year 2029, the industrial sector represents about 35% of the total, followed by the residential and commercial and public buildings sectors, which represent 20% and 16% of the total, respectively. The service sector, including the public lighting and sanitation sectors, but without the participation of commercial and public buildings, represents approximately 21% of the total. In this context, the general objective of this work is to analyze the considerations of the PEDF together with the PDE 2029 considering the guidelines, studies and uncertainties, practical application in an industrial environment, showing the energy gain, where a lighting Retrofit with reduction of the consumption, generating economic gain as a result of energy efficiency, which consists of changing from less efficient to more efficient lighting, considering the replacement depending on the areas, changing IP67 closed hermetic luminaires and changing lamps to LED, generating a total reduction of approximately 25% of the system power with reduced maintenance cost and risk reduction.

Keywords: Energy. Energy Quality. PDEf.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ambientes de implementação de projeto de eficiência energética com retrofit de iluminação	27
Figura 2 – Oferta interna de energia no Brasil em 2020	30
Figura 3 – Total de emissões de CO ₂ * (Mt CO ₂)	31
Figura 4 - Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil em A) 2020 e B) 2021	33
Figura 5 – Participação setorial no consumo de eletricidade	34
Figura 6 – Interação entre os grupos e/ou produtos	45
Figura 7 - Eficiência luminosa de lâmpadas.....	66
Figura 8- Comparativo entre lâmpadas, consumo, vida útil e custo-benefício	67
Figura 9 – Lâmpada Incandescente	69
Figura 10 – Lâmpadas halógenas	69
Figura 11 - Lâmpada com filamento de carbono.....	70
Figura 12 - Lâmpada fluorescente compacta.....	71
Figura 13 - Lâmpada fluorescente tubular.....	72
Figura 14 - Diagrama da lâmpada de vapor de mercúrio	73
Figura 15 - Lâmpada de vapor de metálico	74
Figura 16 – Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão	75
Figura 17 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.....	76
Figura 18 - Características das lâmpadas LED em relação a outras lâmpadas.....	78
Figura 19 - Medição, controle e monitoramento da iluminação publicam.....	83
Figura 20 – Porto Alfa	90
Figura 21 - Layout da área do projeto	90
Figura 22 – Diagrama com o Resumo dos Tipos de Portos	93
Figura 23 - Projeto <i>turn-key</i> de <i>retrofit</i> do sistema de iluminação 100% LED.....	95
Figura 24 – Considerações Econômicas do Projeto <i>turn-key</i> de <i>retrofit</i> do sistema de iluminação 100% LED	95
Figura 25 - Descritivo das Áreas do um Porto Alfa	98
Figura 26 - Área classificada – Suspensão de Pó	98
Figura 27 - Área Alagada – Bombeamento de água para fora da galeria.....	99
Figura 28 - EPIs – Vestimentas Utilizadas nas Galerias	99
Figura 29 - Representação da troca de lâmpadas por LED	103
Figura 30 - Representação da troca de lâmpadas por LED no galpão de descarregamento de Pó	

de Rocha	104
Figura 31 - Representação da troca de lâmpadas por LED área de tuneis	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da oferta interna de energia (%)	31
Tabela 2 - Economias previstas de energia elétrica, dos combustíveis e total, por setores da economia, em 2029.....	51
Tabela 3 - Economia prevista de energia elétrica no PDef para o setor de serviços de 2019 a 2029	51
Tabela 4 - Classificação das políticas/mecanismos adicionais de eficiência energética propostos para os setores de Saneamento e Iluminação Pública	52
Tabela 5 - Quantidade de Lâmpadas de IP instaladas no Brasil por tipo em 2008	80
Tabela 6 - Quantidade de lâmpadas de IP instaladas no Brasil por tipo em 2018 sem considerar o estado do Ceará*.....	80
Tabela 7 - Consumo total de eletricidade do Brasil e Iluminação Pública.....	82
Tabela 8 - Consumo parcial de eletricidade do Brasil e Iluminação Pública.....	82
Tabela 9 – Potência e Consumo de Lâmpadas antigas.....	100
Tabela 10 – Potência e Consumo de Lâmpadas mais eficientes	100
Tabela 11 – Economia de energia pela troca das lâmpadas	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Setores consumidores de energia.....	60
Quadro 2 – Tipos de lâmpadas	79
Quadro 3 - Potencial de economia anual de energia por estado com utilização de luminárias LED	85
Quadro 4 - Potencial de economia anual de energia das 20 cidades de maior potencial com utilização de luminárias LED	86
Quadro 5 – Iniciativa de Revitalização de iluminação para LED	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEU	Balço de Energia Útil
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> (Despesas de Capital)
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIP	Custo de Iluminação Pública
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
COP	<i>Conference of Parties</i> (Conferência das Partes)
COVID	<i>Corona Virus Disease</i> (Doença do Coronavírus)
EE	Eficiência Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	<i>Energy Services Company</i> (Empresa de Engenharia)
FSN	Fauna Siantrópica Nociva
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LED	<i>Light Emitter Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribuição Nacionalmente Determinada)
NR	Norma Regulamentadora
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OPEX	<i>Operation Expenditure</i> (Despesas Operacionais)
PAR	Plano de Aplicação de Recursos
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Energia
PDEf	Plano Decenal de Eficiência Energética

PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
PROPEE	Programa de Eficiência Energética
Petrobrás	Petróleo Brasileiro S. A.
REH	Resolução Homologatória
REN	Resolução Normativa
SE	Subestação
UC	Unidade Consumidora
UNFCCC	<i>United Nations Climate Change Convention</i> (Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas)
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Objetivo Geral.....	25
1.2 Objetivos Específicos	25
1.3 Apresentação do Trabalho.....	26
2 PLANEJAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
2.1 A Matriz Energética Brasileira	29
2.2 Oferta e Consumo de Energia Elétrica	32
2.3 O Potencial de Conservação de Energia e Sua Inserção no Planejamento	34
2.4 A Eficiência Energética no PNE 2050	36
2.5 A Eficiência Energética no PDE 2031	38
3 ANÁLISE E ESTUDOS DO PLANO DECENAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	41
3.1 Definição	41
3.2 Objetivos do PDEf	42
3.2.1 Principais propostas do PDEf	43
3.3 Produtos do PDEf	45
3.3.1 Produto 1 – Plano de Trabalho	45
3.3.2 Produto 2 - Diagnóstico de ações existentes no país e propostas de aperfeiçoamento	46
3.3.3 Produto 3 - Propostas de novas ações transversais	47
3.3.4 Produto 4 - Propostas de novas ações no setor público.....	48
3.3.5 Produto 5 - Propostas de novas ações no setor de edificações.....	53
3.3.6 Produto 6 - Propostas de novas ações no setor de transportes.....	56
3.3.7 Produto 7 - Propostas de novas ações no setor industrial.....	57
3.3.8 Produto 8 - Atualização do Balanço de Energia Útil – BEU.....	58
3.3.9 Produto 9 - Workshops e reuniões estratégicas	60
3.3.10 Produto 10 - Ferramentas utilizadas em base aberta	61
3.3.11 Produto 11 - Proposta do Plano Decenal de Eficiência Energética-PDEf	61
4 TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE.....	63
4.1 Introdução	63
4.2 Iluminação	64
4.2.1 Conceitos Fundamentais	64
4.2.2 Eficiência Luminosa.....	66
4.3 Tipos de lâmpadas	68
4.3.1 Lâmpadas Incandescentes	68
4.3.2 Lâmpadas Halógenas	69
4.3.3 Lâmpadas com Filamento de Carbono	70
4.3.4 Lâmpadas Fluorescentes	71
4.3.5 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	72
4.3.6 Lâmpadas de Vapor Metálico.....	73
4.3.7 Lâmpadas a Vapor de Sódio	74
4.3.8 Lâmpada LED.....	76
4.4 Eficiência Energética em Iluminação.....	78
4.5 Iluminação Pública	80
4.6 Iluminação no ambiente industrial	86
5 ESTUDO DE CASO	89

5.1	Introdução	89
5.1.1	<i>Projeto, Premissas e Restrições</i>	<i>91</i>
5.2	Tipos de Portos.....	92
5.3	Definição do Empreendimento	93
5.3.1	<i>Análises de Consumo de Energia.....</i>	<i>93</i>
5.3.2	<i>Análises De Consumo De Energia Reativa</i>	<i>94</i>
5.3.3	<i>Diagnóstico Energético no Sistema de Iluminação.....</i>	<i>94</i>
5.4	Barreiras Operacionais	96
5.5	Estudo de Caso.....	100
6	CONCLUSÕES.....	105
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

1 INTRODUÇÃO

Pelo uso de sua inteligência, o homem tem conseguido, desde a Pré-História, criar mecanismo que diminuam o seu esforço e melhorem o seu conforto. Com o domínio do fogo, o homem pôde melhorar a sua alimentação, sua iluminação e sua segurança. Com o descobrimento das forças hidráulica e eólica, e domesticação dos animais, pôde utilizá-los a favor do trabalho. Milhares de anos depois, um marco importante maior ocorreu ao inventar a máquina a vapor, sendo um símbolo energético da Revolução Industrial. E, somente um pouco mais de 100 anos depois a energia elétrica veio a surgir como símbolo da Era da Informação, possibilitando a transformar com eficiência outras formas de energia como o calor, a iluminação e energia mecânica (CPFL, s.d.)

A energia elétrica é algo essencial para o desenvolvimento das atividades, mas tendo em vista a escassez dos recursos energéticos naturais e a aumento dos consumidores resultando em aumentos de preços, cada vez mais é incentivado o uso consciente da energia, buscando alternativas para melhorar a qualidade e eficiência da energia a ser fornecida.

Com o aprimoramento da tecnologia dos equipamentos e aumento da quantidade de consumidores, cresce a preocupação com a eficiência energética do sistema de distribuição de energia, com vistas à qualidade do fornecimento e economia no setor. Para o ano de 2029, segundo o PDEf, espera-se uma economia de energia de 23,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, do qual 16% correspondem a economias de energia elétrica e 84% a economias de combustível, cerca de 10% superiores aos previstos no PDE 2029, de forma a lidar adequadamente com os riscos de implantação. Estes ganhos atendem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e aos compromissos assumidos no acordo de Paris. Para as economias de eletricidade no ano de 2029, o setor industrial representa cerca de 35% do total, seguido pelos setores residencial e edificações comerciais e públicas, que representam 20% e 16% do total, respectivamente. O setor de serviços, incluindo os setores de iluminação pública e saneamento, mas sem a participação das edificações comerciais e públicas, representam, aproximadamente, 21% do total. (PDEf, 2021)

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar as considerações do PDEf juntamente com o PDE 2029 considerando suas diretrizes, estudos e incertezas além de uma aplicação prática em um ambiente industrial. Procura-se, também, mostrar o ganho energético com a realização de um *retrofit* de iluminação com redução do consumo e a geração de um ganho econômico em decorrência de uma ação de eficiência energética. Tal ação consiste na troca de uma iluminação menos eficiente para outra mais eficiente, por meio da substituição

de luminárias herméticas fechadas IP67 por lâmpadas LED, gerando uma redução total de aproximadamente 25% da potência do sistema, além da redução do custo de manutenção e redução de riscos.

O Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), com recursos estabelecidos no 2º Plano de Aplicação de Recursos (PAR), em acordo com a Lei nº 13.280/2016, é um elemento do arcabouço do planejamento energético brasileiro, que tem na Matriz Energética Nacional o seu instrumento prospectivo de longo termo, combinando potenciais e políticas nacionais, com as tendências mundiais, nos distintos setores que impactam a oferta e o consumo de energia. As diretrizes dela emanadas devem se alinhar com os valores e preferências da sociedade nacional e internacionais. A Matriz deve ter uma certa estabilidade, ajustando-se à medida que as tendências de muito longo prazo variam, sem, entretanto, induzir a mudanças de rumo abruptas. (PDEf, 2021)

O Plano Nacional de Energia (PNE) já se constitui em um instrumento efetivo de planejamento, com reflexos diretos nas decisões de investimento, constituindo-se, pois, de elemento sensível para o setor econômico. Diferentemente da Matriz, a revisão periódica do PNE já se faz necessária, pois as condições econômicas, no âmbito interno e externo, são frequentes e sensíveis. As mudanças tecnológicas, as restrições ambientais e as preferências sociais, muitas vezes incorporadas à legislação, levam a outras decisões, que não as originais. Esse processo é natural no planejamento, que é, antes de tudo, um processo dinâmico adaptativo. (PDEf, 2021)

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia são de fundamental importância.

Busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica. (PROPEE, 2021)

O que se espera de um plano de eficiência energética é que ele contribua para a construção de um desenvolvimento energético sustentável. A indústria da iluminação tem respondido com inovações cada vez mais frequentes, sendo o LED provavelmente a novidade mais celebrada dos últimos anos. Tais lâmpadas usam a tecnologia gerando uma economia de energia de até 85%, em comparação com os modelos convencionais, como as incandescentes, fluorescentes e de vapores como mercúrio, sódio e metálico. A durabilidade chega a ser 25

vezes maior, diminuindo os custos com manutenção industrial, além de possibilitar o controle da luminosidade, o direcionamento e a cor conforme a necessidade do local.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de dissertação de mestrado é apresentar os esforços governamentais para a inserção da eficiência energética no contexto mais amplo do planejamento energético, além de apresentar um projeto de eficiência energética implementado em uma área portuária multimodal, considerando uma área industrial de carregamento e descarregamento de produtos agrícolas. O estudo busca identificar os conceitos do Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) e do Plano Nacional de Energia (PNE) aplicados aos mais diversos setores econômicos da sociedade brasileira. O projeto de eficiência energética visa a implementação do *retrofit* de iluminação com a substituição de lâmpadas ineficientes por lâmpadas com tecnologia led. Por meio deste projeto, procura-se demonstrar a importância de estudos de viabilidade econômica aplicados aos equipamentos, processos e demais usos finais de energia, além de compartilhar os desafios vivenciados ou contornados para a viabilização do empreendimento. Desta forma, com o êxito desta ação, obtêm-se recomendações e suporte para a novos empreendimentos e estudos de eficiência energética em demais áreas industriais.

1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, precisou-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Entender o planejamento energético e a eficiência energética, bem como estudar a matriz energética brasileira avaliando a oferta e consumo de energia elétrica;
- Analisar o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) e verificar a oportunidade de redução de energia em ambientes industriais;
- Identificar nas tecnologias de iluminação eficiente o seu melhor uso final, avaliando seus principais benefícios e desvantagens;
- Apresentar um empreendimento de eficiência energética e avaliar os custos para sua correta implantação;
- Apresentar os ganhos na eficiência energética com o *retrofit* de iluminação em uma área portuária.

1.3 Apresentação do Trabalho

No capítulo 2 desta dissertação, busca-se apresentar o planejamento energético e como ele trata a eficiência energética e sua importância, visto que fatores externos podem alterar o que foi planejado. Durante o desenvolvimento deste trabalho, tiveram dois fatores não esperados como, por exemplo, a Covid e a Guerra da Ucrânia. Neste capítulo também é apresentada a matriz energética, a oferta e o consumo da energia elétrica e os impactos causados pela pandemia, apresentando a eficiência energética no PDE 2031.

No capítulo 3 tem-se a importância do PNEf (Plano Nacional de Eficiência Energética), como uma ferramenta de planejamento energético brasileiro, que tem na Matriz Energética Nacional o seu instrumento prospectivo, combinando potenciais e políticas nacionais com as tendências mundiais, nos distintos setores que impactam a oferta e o consumo de energia. No PNEf foram propostas diretrizes para uso eficiente da energia elétrica que pode ser aplicado em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem sua importância e viabilidade econômica. São apresentadas uma série de ações para ampliar a eficiência energética em setores relevantes da sociedade, como as edificações, a indústria, o poder público, os transportes e o agronegócios. O PNEf possui 11 produtos, que contemplam análises e propostas de aprimoramento nos programas atuais de eficiência, bem como propostas de novos mecanismos, análise das melhores experiências internacionais, viabilidade de leilões de eficiência energética, estímulo à adoção de normas como a ISO 50001 em todos os setores, políticas de financiamento e propostas setoriais para economia de energia no Brasil.

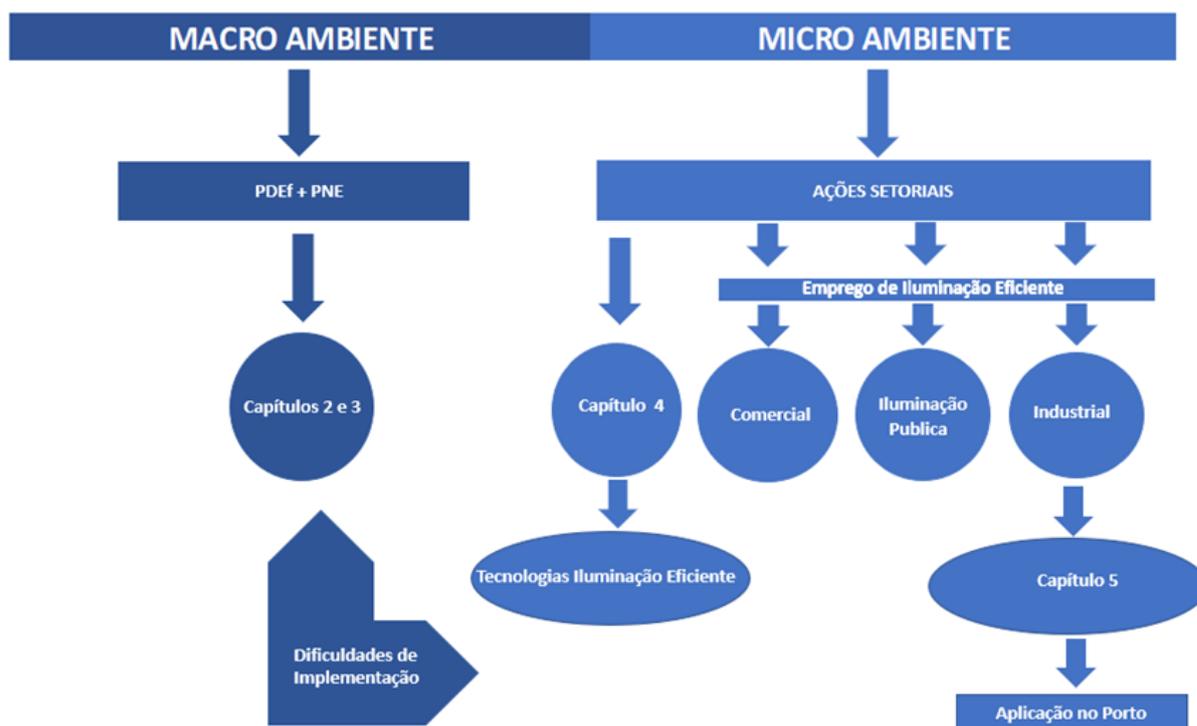
No capítulo 4 é apresentada a tecnologia de lâmpadas, conceitos fundamentais, tipos de lâmpadas, eficiência luminosa, rendimento luminoso e suas aplicações de acordo com o ambiente. São apresentadas as características das lâmpadas LED em relação as outras lâmpadas, visando um melhor aproveitamento da energia. Muitas cidades estão se mobilizando para a substituição das lâmpadas por LED, buscando uma melhora no índice de reprodução de cores, aumento da eficiência luminosa e redução de custos de operação e manutenção.

No capítulo 5 tem-se um estudo de caso envolvendo uma área portuária de descarregamento e carregamento de produtos agrícolas onde foram substituídas lâmpadas menos eficientes por LED, obtendo-se uma redução total de aproximadamente 25% da potência no sistema de iluminação, além da redução do custo de manutenção e redução de riscos. Neste capítulo também são apresentadas as barreiras operacionais para a implementação de um projeto de eficiência energética.

No Capítulo 5, tem-se as conclusões e comentários finais, no qual se justifica a troca iluminação não eficiente por outra mais eficiente (*retrofit* do sistema de iluminação), com ganhos significativos de economia de energia, contribuindo assim para a eficiência energética além de diminuir os riscos nas áreas operacionais e os custos com manutenção, proporcionada pela maior vida útil das lâmpadas LED em relação aos demais tipos de lâmpadas.

A seguir, a Figura 1 apresenta os dois ambientes tratados no trabalho de dissertação mostrando a conexão entre o macro ambiente e microambiente do qual sintetiza os estudos e a implementação do projeto de eficiência energética com *retrofit* de iluminação em uma área industrial, no nosso caso uma área portuária multimodal de descarregamento e carregamento de produtos agrícolas.

Figura 1 – Ambientes de implementação de projeto de eficiência energética com *retrofit* de iluminação



Fonte: elaborado pela autora.

2 PLANEJAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Planejar a expansão do setor energético se revela, cada vez mais, uma necessidade que se impõe aos fatos atuais. Planejar bem é, sobretudo, uma arte! Por melhor que sejam os modelos econométricos ou técnicas de análise, não se poderia prever o aparecimento do Coronavírus (COVID-19) e suas consequências nas economias dos países e, particularmente, no Brasil e, mais recentemente a guerra entre Rússia e Ucrânia.

Todos esses eventos geraram enormes repercussões tanto na demanda como na oferta energética mundial.

Após uma profunda onda de impactos da pandemia do Coronavírus (COVID-19), o mundo se vê diante do desafio de superação e transformação em busca da retomada das atividades econômicas.

Uma vez estabelecidas metas de economia de energia, como aquelas explicitadas no PNEf e demais Planos de Energia (PDE2032, PNE2030 e o PNE2050), assim como o compromisso para com os demais países, por meio da NDC - *Nationally Determined Contribution* (Contribuição Nacionalmente Determinada), é cada vez mais importante um processo de obtenção de dados e informações confiável e permanente que possa avaliar os progressos alcançados, ajustando (reavaliando) o potencial de conservação de energia. Um exemplo é a metodologia utilizada para estabelecer a meta de economia de energia para o PNEf e cujos valores serviram também para o NDC do Brasil.

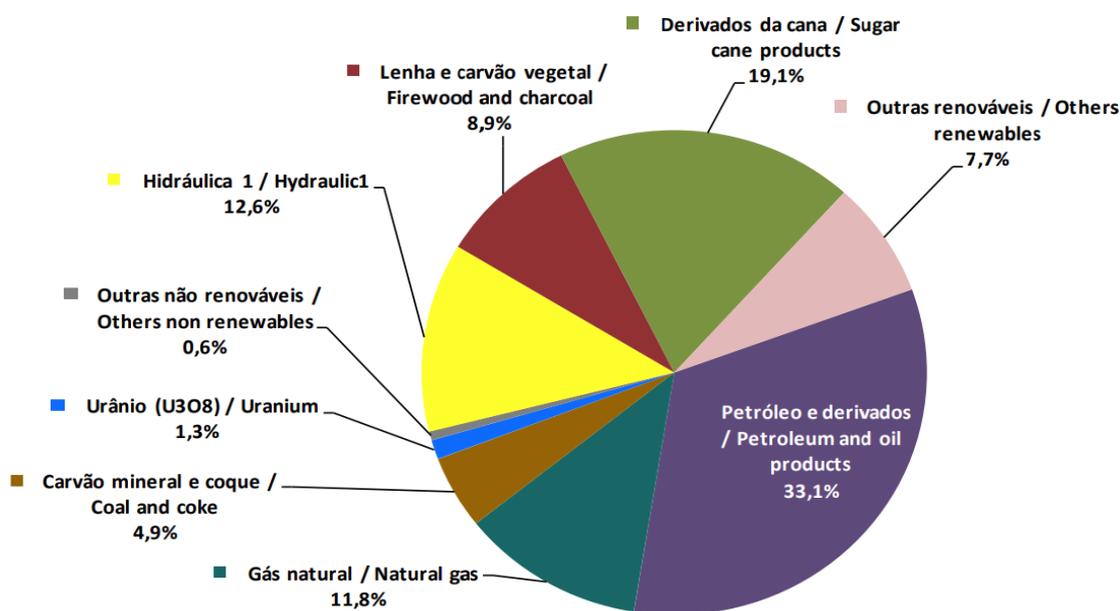
2.1 A Matriz Energética Brasileira

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, EPE (2021), pode-se ver na Figura 2 a matriz energética brasileira por meio de sua totalidade em oferta interna de energia (%), destacando os principais produtos ofertados independente de seu uso final.

É notável como a matriz brasileira é bem diversificada, com a representação renovável em torno de 48,3% (fontes hidráulica, lenha e carvão vegetal, derivados de cana e outras renováveis) e próxima a representatividade não renovável, dominada pelo petróleo e seus derivados, gás natural e o carvão mineral.

As principais fontes de consumo energético no Brasil, de acordo com EPE (2021a) para o ano de 2020 foram os derivados do petróleo, a eletricidade e o bagaço de cana, o que representa quase 70% de todo o consumo no país. A representatividade dessas fontes ilustra também a realidade vivenciada no Brasil no ano em que a pandemia da COVID-19 se instaurou.

Figura 2 – Oferta interna de energia no Brasil em 2020



Fonte: EPE, 2021a

Pode-se observar na Tabela 1 o avanço da oferta interna brasileira para os últimos anos, comparando-se as evoluções e retrocessos de cada fonte.

Na Tabela 1 destaca-se o crescimento das fontes renováveis que embora não seja observado na parcela hidráulica, é notável para a parcela eólica, solar, biomassa e de outras renováveis, compostas principalmente pela: lixívia; biodiesel; biogás; gás industrial de carvão vegetal; e outras biomassas como casca de arroz, capim elefante e óleos vegetais.

Ao longo dos últimos anos houve uma mudança da oferta interna de determinadas fontes, isso sugere que o Brasil passa por uma transição onde as fontes não renováveis reduzirão sua participação para o crescimento das renováveis.

Essa transição também está relacionada às políticas energéticas empregadas no país, especialmente aquelas amplamente discutidas no Acordo de Paris em UNFCCC – *United Nations Climate Change Convention* (2015), referentes ao desenvolvimento econômico sustentável utilizando-se do consumo energético proveniente de fontes renováveis que reduzem as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera através de ações governamentais que suportem a transição energética sustentável.

Por consumir menos energia não renovável em comparação com a média mundial, o Brasil também emite menos gases de efeito estufa (GEE). Segundo IEA, *International Energy Agency* (2021), o Brasil emite menos Mt de CO₂ em comparação ao restante do mundo conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, tabela retirada do Panorama Mundial

de Energia publicado pelo IEA (2021), correspondendo 1,27 % das emissões mundiais.

Tabela 1 – Evolução da oferta interna de energia (%)

FONTES	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energia não renovável:	56,4	58,2	59,5	60,5	58,7	56,5	56,8	54,5	53,9	51,6
Petróleo e derivados	38,5	39,3	39,2	39,3	37,2	36,5	36,1	34,3	34,3	33,1
Gás natural	10,2	11,5	12,8	13,6	13,7	12,3	12,9	12,4	12,2	11,8
Carvão mineral e coque	5,7	5,4	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7	5,7	5,3	4,9
Urânio (U308)	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3
Outras não renováveis	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energia renovável:	43,6	41,8	40,5	39,5	41,3	43,5	43,2	45,5	46,1	48,4
Hidráulica ¹	14,7	13,8	12,5	11,5	11,	12,6	11,9	12,6	12,4	12,6
Lenha e carvão vegetal	9,6	9,1	8,3	8,2	8,3	8,0	8,3	8,8	8,8	8,9
Derivados da cana	15,7	15,4	16,1	15,8	16,9	17,5	17,0	17,3	18,0	19,1
Eólica	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2	1,4	4,6	1,7
Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
Outras renováveis	3,5	3,4	3,4	3,7	4,2	4,5	4,7	5,3	5,2	5,7

¹Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

Fonte: EPE, 2021a.

Tabela 2 – Total de emissões de CO₂* (Mt CO₂)

	Historical			Stated Policies		Announced Pledges		Sustainable Development	
	2010	2019	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050
World	32.345	35.966	34.156	36.267	33.903	33.640	20.726	28.487	8.170
North America	6.423	5.867	5.229	4.944	3.881	3.616	655	3.497	280
United States	5.418	4.826	4.303	3.969	2.936	2.834	129	2.817	107
Central and South America	1.144	1.185	1.093	1.179	1.370	1.041	889	933	485
Brazil	411	443	421	461	532	356	189	354	185
Europe	4.633	3.977	3.642	3.036	2.218	2.518	1.045	2.283	376
European Union	3.236	2.744	2.485	1.957	1.208	1.488	134	1.482	128
Africa	1.109	1.370	1.297	1.617	2.287	1.529	1.948	1.352	883
Middle East	1.572	1.886	1.849	2.150	2.644	2.159	2.626	1.687	822
Eurasia	2.017	2.165	2.068	2.247	2.332	2.258	2.336	1.896	935
Russia	1.565	1.691	1.612	1.727	1.619	1.737	1.624	1.489	710
Asia Pacific	14.326	18.220	18.007	19.569	17.245	19.115	9.836	15.585	3.556
China	8.766	11.198	11.356	11.385	8.341	11.263	1.748	9.375	1.331
India	1.683	2.475	2.304	3.305	3.687	3.301	3.676	2.441	969
Japan	1.159	1.071	996	797	513	682	20	683	20
Southest Asia	1.152	1.712	1.674	2.238	2.704	2.245	2.695	1.726	659

Fonte: IEA (2021)

2.2 Oferta e Consumo de Energia Elétrica

Mesmo relacionadas, a matriz elétrica e a matriz energética são representações distintas. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para uso final, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica, ou seja, a matriz elétrica esta inclusa na própria matriz energética.

A eletricidade é destacada como uma das fontes energéticas mais consumidas no Brasil, segundo dados EPE (2021a). Em 2020 a geração de energia elétrica no Brasil atingiu 621,2 TWh, considerando a produção em centrais de serviço público e autoprodutores.

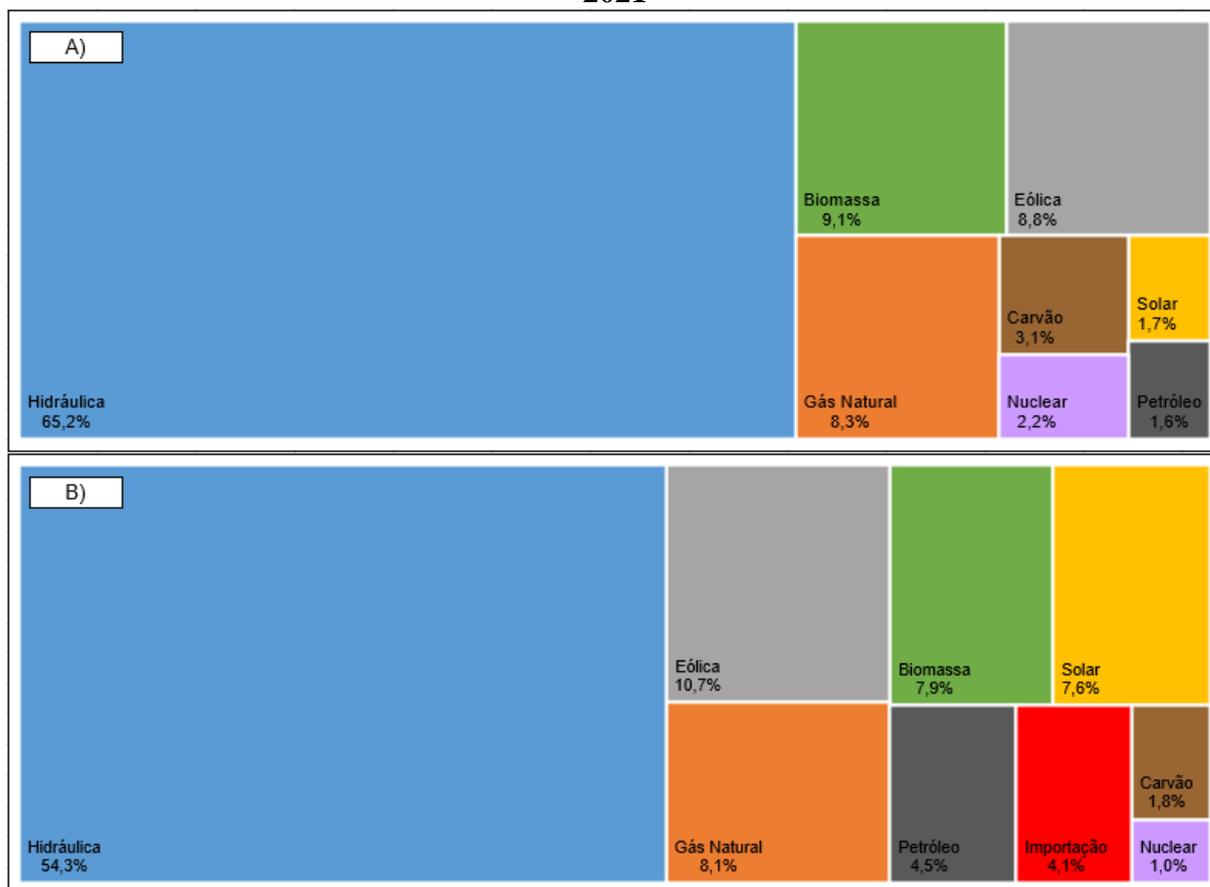
De acordo com EPE (2021a) as centrais elétricas de serviço público participaram com 82,9% da geração total e a geração hidráulica é a principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil. A autoprodução (APE) participou com o restante, 17,1% do total produzido, e considerando todas as fontes utilizadas atingiu um montante de 106,5 TWh, dos quais 60,7 TWh não foram injetados na rede, mas produzidos e consumidos pela própria instalação.

Ainda em 2020, foi apontado em EPE (2021a) que a geração elétrica a partir de não renováveis representou 15,8% do total nacional, redução de 1,9% em relação ao ano anterior. Nessa parcela destaca-se a evolução do gás natural em detrimento do óleo combustível e óleo diesel, o que contribuiu para minimizar as emissões de poluentes provenientes da geração de eletricidade a partir das fontes não renováveis.

O montante de importações líquidas (24,7 TWh) assegurou uma oferta interna de energia elétrica de 645,9 TWh somadas a geração nacional, sendo o consumo final de 540,2 TWh. A Figura 3 apresenta a estrutura da matriz elétrica no Brasil em 2020 e 2021, segmentando cada fonte de geração de acordo com sua oferta interna.

A matriz elétrica brasileira dispõe predominantemente de fontes de origem renovável, com destaque para a geração hidráulica que corresponde por mais da metade da oferta interna. No total, as fontes renováveis representam cerca de 80% da oferta interna de eletricidade no país, resultado da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que também são essencialmente de origem renovável.

Figura 3 - Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil em A) 2020 e B) 2021



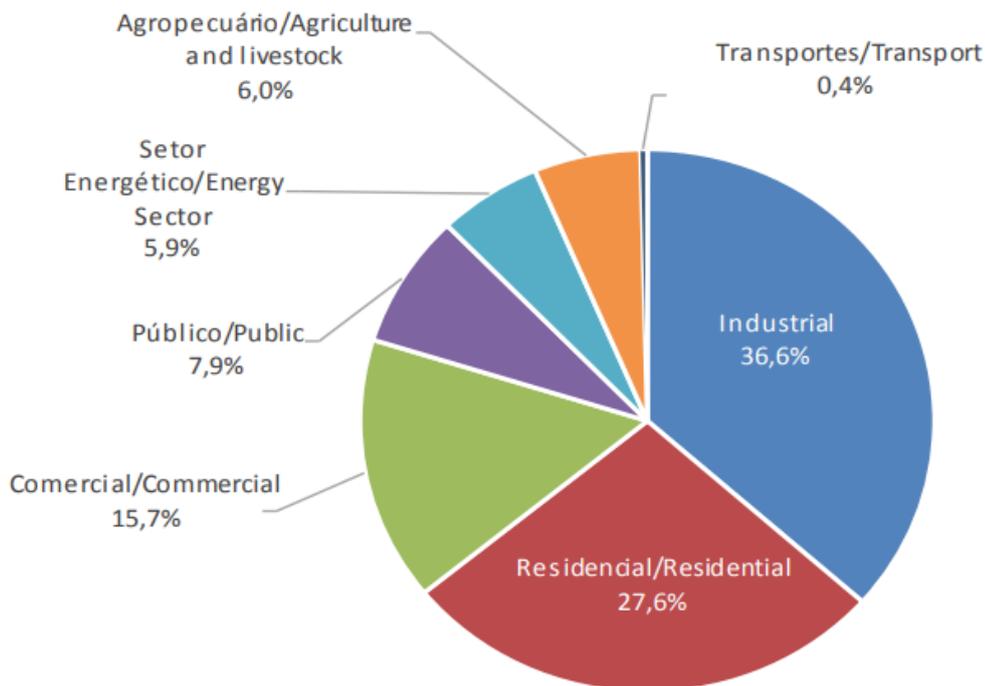
Fonte: (EPE, 2021a; ABSOLAR, 2022).

Partindo para análise dos setores mais relevantes para economia nacional, em tempos mais recentes, têm-se observado alterações acentuadas no consumo de energia elétrica devido aos grandes impactos provocados pela pandemia da COVID-19 a partir do início de 2020 e que volta a assumir um ritmo de crescimento a partir do presente ano, 2022.

O consumo elétrico industrial oscilou positivamente com destaque para o segmento de bebidas e alimentos, principalmente devido ao crescimento da produção de açúcar. O setor residencial também observou um crescimento do consumo de energia elétrica em razão das políticas de distanciamento social e home office. O setor agropecuário cresceu acompanhando o avanço das suas atividades, principalmente a agricultura e o transporte.

Os setores que apresentaram as maiores quedas no consumo foram o comercial, o público e o energético. Essas variações, para o ano de 2020, podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: (EPE, 2021a).

Nota-se que o consumo mais intensivo no Brasil está no setor industrial e depois vem o setor residencial, consumindo juntos cerca de 64,2% da energia elétrica disponibilizada no país. A EPE (2021a) afirma que em 2020 a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil alcançou 174.737 MW, sem incluir a mini e a microgeração.

2.3 O Potencial de Conservação de Energia e Sua Inserção no Planejamento

Adotou-se como premissa básica para o PNEf a meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica ao final do horizonte previsto no PNE 2030 referente ao denominado cenário B1 (Consumo Base). Esta economia de energia envolve ações relacionadas ao Progresso Tendencial e Induzido de Eficiência Energética, onde denomina-se o progresso tendencial como o movimento tendencial do consumidor final de energia devido a uma troca tecnológica natural e usual do usuário e o progresso induzido corresponde a programas e ações de incentivo à eficiência energética, conforme EPE (2014).

Para detalhar a meta de conservação em base anual, primeiramente redefiniu-se a projeção de demanda de energia elétrica do cenário de referência do PNE 2030, ajustando-a no período de 2011 a 2019 às premissas de crescimentos do PDE 2019 e adotando-se um consumo de energia no ano de 2010 de 419.016 GWh, de acordo com os dados então apurados.

Com base nessa projeção, calculou-se o Consumo Final considerando uma redução acumulada ano a ano de 0,60% sobre o Consumo Base, tendo em vista que medidas tomadas em um ano permanecem efetivas em anos subsequentes, até o fim de sua vida útil. Uma parcela da permanência das medidas é perdida e o modelo de projeção adotado no PNEf considerou um ajuste da parcela de eficiência energética reduzindo em 5% ao ano o montante anual economizado.

Este ajuste é feito para incorporar uma estimativa da perda de eficiência energética que tecnologicamente se verifica ao longo dos anos. Quando da elaboração do PNEf, foram propostas ações para o aperfeiçoamento da metodologia de projeção de potencial de conservação e sua inserção nos modelos de planejamento, sugerindo quatro diretrizes:

- Primeira Diretriz – Criação de um Comitê Gestor do PNEf (CGPNEf), presidido pelo Ministério de Minas e Energia. O comitê será responsável pela gestão, acompanhamento e publicação das informações e resultados do programa.
- Segunda Diretriz – Criação de um banco de dados e informações sobre, por exemplo, índices de consumo específico, linhas de base de desempenho energético de processos e tecnologias de uso final, com atualização permanente, para utilização em estudos e análises de mercado, estudos de medição e verificação de programas de eficiência energética, redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (conforme a lei que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e seu decreto de regulamentação (Decreto nº 7.390/2010).
- Terceira Diretriz – Estabelecimento de mecanismos que promovam um intercâmbio perene entre as instituições responsáveis pelo planejamento e os agentes detentores de informações, tais como o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET), Cepel, ANEEL, Petrobras, Concessionárias, Federações e Sindicatos das Indústrias e academia, para a efetiva formação e atualização do banco de dados.
- Quarta Diretriz – Desenvolvimento de estudos e aperfeiçoamento contínuo de metodologias para consideração das informações, dados e medidas de eficiência energética nos modelos e estudos de planejamento.

Aparentemente percebe-se que tais diretrizes não foram colocadas em prática ou, pelo menos, na intensidade que era necessária conforme Lei 9.427/96. (BRASIL, 1996)

2.4 A Eficiência Energética no PNE 2050

A eficiência energética é um recurso efetivo e prioritário para o atendimento à demanda de energia, tanto pelos seus já tradicionais predicados positivos (ganhos de competitividade, redução do uso de recursos naturais e de emissão de poluentes locais e globais), quanto pelo o que sua maior penetração neste atendimento representam elemento fundamental para a transição do setor energético mundial, conjuntamente com as fontes renováveis de energia, mudança de padrões de consumo e tecnologias de captura e uso de CO₂.

No âmbito dos estudos do PNE 2050, estima-se que no cenário “desafio da expansão”, os ganhos de eficiência elétrica contribuam para reduzir a necessidade de 321 TWh de consumo de eletricidade (cerca de 17% do consumo total) em 2050, o que corresponderia a evitar mais de duas vezes o consumo de energia do setor industrial brasileiro em 2019 ou ainda, evitar a necessidade de expansão de capacidade instalada de geração equivalente a mais de 2,5 usinas de Itaipu em sua capacidade total (partes brasileira e paraguaia).

Quando considerados os ganhos totais de eficiência energética incluindo combustíveis, estima-se que essa contribuição se situe em torno de 77 milhões de tep (13% do total de consumo de energia estimada em 2050), montante da mesma ordem de grandeza de toda a energia consumida no transporte rodoviário de carga e passageiros em 2019. Cabe destacar adicionalmente que os cenários do PNE 2050 não possuem qualquer caráter determinativo, o que significa dizer que avanços em direções com maior contribuição da eficiência energética são desejáveis.

A inserção da eficiência energética de forma mais acelerada no longo prazo, contudo, por si traz desafios que se relacionam às características específicas desse recurso, que incluem, entre outras, o elevado grau de dispersão da oferta potencial, menor porte dos projetos (quando comparados àqueles ofertados por geração centralizada) com ritmo mais lento de entrada e cuja decisão de implementação é sensível, em parte desses consumidores, a aspectos comportamentais.

Nesse ambiente, a promoção de iniciativas voltadas à eficiência energética exigirá o contínuo processo de melhoria dos mecanismos vigentes no país (além da introdução de práticas inovadoras), a atenção à governança do setor energético, a coordenação entre as várias políticas setoriais (econômicas, fiscais/tributárias, financiamento, ciência, tecnologia e inovação - C&T&I, industrial, educação etc.) nas diversas esferas institucionais (e.g., federal, estadual e municipal), o engajamento dos consumidores finais e a existência de um ambiente regulatório e financeiro para seu efetivo funcionamento.

Nesse sentido, articulação e coordenação de uma engrenagem composta de diversos agentes, públicos e privados, são necessárias para que se promova um ambiente de aproveitamento acelerado dos ganhos de eficiência energética em todos os setores da economia. No Brasil, a introdução de programas voltados à promoção da eficiência energética remonta ao início da década de 80, com a implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Além do PBE, o rol de programas oficiais na área de eficiência energética inclui diversas iniciativas, listadas mais à frente.

Também progressos advindos de ações autônomas (ou seja, não diretamente relacionadas à existência de políticas públicas na área energética) dos consumidores finais têm contribuído para o aproveitamento dos ganhos de eficiência energética no Brasil ao longo dos anos, motivado por questões de competitividade (caso da indústria), economicidade das alternativas (exemplo da penetração da lâmpada LED) ou mesmo por questões comportamentais (o que se vincula mais aos consumidores residenciais). Pode-se dizer que as oportunidades de aproveitamento dos potenciais de eficiência energética estão distribuídas por todos os setores da economia, e tal visão é corroborada nos estudos de longo prazo que indicam forte contribuição da indústria, transportes e edificações em termos de volume total de ganhos de eficiência energética.

O aproveitamento destas oportunidades requer a elaboração de planos de ação que contemplem as diversas facetas inerentes à aceleração do uso deste recurso, passando tanto pelo aperfeiçoamento/reforço de mecanismos existentes bem-sucedidos, quanto pela promoção de novos mecanismos de política pública no Brasil na área de eficiência energética. Nesse sentido, ações e medidas podem contribuir de forma diferenciada:

- i. Nas edificações, através de agenda de índices mínimos de eficiência energética, englobando equipamentos, envoltórias e índices de desempenho operacional;
- ii. Na indústria, através de penetração de equipamentos e processos mais eficientes e sistemas de gestão de energia, entre outros;
- iii. Em transportes de carga e passageiros, através de incentivo a sistemas de tração mais eficientes, redução de demanda por mobilidade e transformação da estrutura modal de transportes;
- iv. Na promoção de instrumentos transversais como leilões de eficiência energética e revisão de estrutura de remuneração de ativos de distribuição de eletricidade que incentivem a promoção de projetos de eficiência energética.

Destaque-se que parte do arcabouço necessário a estes avanços encontra-se já em curso

atualmente, podendo-se citar os estudos em andamento referentes ao Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), a agenda de projetos do Programa de Aplicação do PROCEL (PAR/PROCEL), a agenda de atualização de Índices Mínimos de Eficiência Energética (no âmbito do CGIEE), entre outros.

Cabe ressaltar ainda, o potencial que a digitalização do setor energético pode desempenhar para a promoção de ganhos de eficiência energética. Isso se concretiza, por exemplo, a partir de uso massivo de sensores em pontos específicos de instalações industriais, comerciais e residenciais, provendo grande quantidade de dados e informações relevantes sobre uso de energia nestes diversos pontos, o que, através do processamento destes grandes volumes de informação, permite extrair insumos para melhor gerenciamento do consumo, informando as possibilidades de melhoria neste perfil.

2.5 A Eficiência Energética no PDE 2031

A eficiência energética (EE) é um recurso efetivo e prioritário para o atendimento à demanda de energia (EPE, 2020). A projeção de demanda de energia no Plano Decenal já considera ganhos de EE, reduzindo a demanda de energia no futuro e a necessidade de expansão da oferta de energia no Brasil.

Os ganhos de eficiência energética são calculados pela diferença entre a projeção do consumo final de energia – que já incorpora esses ganhos de eficiência – e a projeção do consumo potencial (sem eficiência), na hipótese de serem mantidos os padrões do ano base. Dessa forma, mudanças na estrutura da indústria e da economia não distorcem o indicador.

A eficiência apresentada no Plano considera a conservação de energia que ocorre a partir do ano base. No PDE 2031 o ano base é 2021; portanto são incorporados apenas os ganhos de eficiência obtidos a partir de 2022. A eficiência do período histórico já está contemplada no consumo realizado e por isso não é quantificada nos ganhos de EE do período decenal.

A eficiência energética é estimada dentro de cada modelo setorial de projeção de consumo final energético (indústria, setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário e transportes) e no modelo de projeção de demanda de eletricidade (MDE). Portanto, os resultados de EE apresentados no Capítulo IX do PDE tratam dos ganhos estimados para os setores de consumo final de energia, não incorporando a economia de energia obtida na transformação (tais como ganhos na geração elétrica e no refino).

São calculados o consumo com e sem eficiência a partir de diferentes indicadores: os mais adequados para cada setor ou segmento, como consumo por produção física, valor

adicionado, domicílio, equipamento, área construída, área plantada etc. No setor industrial, por exemplo, os ganhos de eficiência são baseados na tecnologia, na otimização de sistemas e processos, no rendimento dos equipamentos e substituição de fontes de energia (com base nos indicadores do Balanço de Energia Útil).

Os resultados de EE apresentados incorporam mudanças tecnológicas (alterações de processos e eficientização de equipamentos) e alterações de padrões de consumo (p.ex. com a gestão de energia). Também consideram, qualitativamente, as políticas existentes, programas e ações já em prática no País: seus avanços e ganhos autônomos a serem realizados pelos consumidores, ou seja, a substituição tecnológica natural devido ao término da vida útil de equipamentos por mais eficientes.

3 ANÁLISE E ESTUDOS DO PLANO DECENAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1 Definição

O Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), viabilizado por meio do 2º Plano de Aplicação de Recursos (PAR), em acordo com a Lei nº 13.280/2016, é um elemento do arcabouço do planejamento energético brasileiro, que tem na Matriz Energética Nacional o seu instrumento prospectivo de longo termo, combinando potenciais e políticas nacionais com as tendências mundiais, nos distintos setores que impactam a oferta e o consumo de energia. As diretrizes dela emanadas devem se alinhar com os valores e preferências da sociedade nacional e internacionais. A Matriz deve ter uma certa estabilidade, ajustando-se à medida que as tendências de muito longo prazo variam, sem, entretanto, induzir a mudanças de rumo abruptas. (PDEf, 2019)

O uso eficiente da energia elétrica pode ser aplicado em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Com o aumento da tecnologia e dos consumidores cresce a preocupação com a eficiência energética do sistema energético brasileiro. Por meio do Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), projeta-se para o ano de 2029, uma economia de energia de 23,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, do qual 16% correspondem a economias de energia elétrica e 84% a economias de combustível, cerca de 10% superiores aos previstos no PDE 2029, de forma a lidar adequadamente com os riscos de implantação. Estes ganhos atendem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos compromissos assumidos no acordo de Paris. Para as economias de eletricidade no ano de 2029, o setor industrial representa cerca de 35% do total, seguido pelos setores residencial e edificações comerciais e públicas, que representam 20% e 16% do total, respectivamente. O setor de serviços, incluindo os setores de iluminação pública e saneamento, mas sem a participação das edificações comerciais e públicas, representam, aproximadamente, 21% do total. (PDEf, 2019)

3.2 Objetivos do PDEf

O Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) tem por objetivo apresentar uma série de ações para ampliar a eficiência energética em setores relevantes da sociedade, como as edificações, a indústria, o poder público, os transportes e o agronegócios, além de ações transversais. (REIS, 2021)

Coordenado pela Eletrobras, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), com participação de um Comitê Estratégico composto pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Ministério de Minas e Energia (MME), a proposta do PDEf foi elaborada pela consultoria iX Estudos e Projetos, contratada por licitação por meio do 2º Plano de Aplicação de Recursos do Procel (PAR-Procel/2018).

Pode-se observar 11 produtos, frutos desta importante iniciativa, que contemplam análises e propostas de aprimoramento nos programas atuais de eficiência, bem como propostas de novos mecanismos, análise das melhores experiências internacionais, viabilidade de leilões de eficiência energética, estímulo à adoção de normas como a ISO 50001 em todos os setores, políticas de financiamento, propostas setoriais, entre outros pontos. (PDEf, 2021)

Ao longo dos últimos 14 meses, a empresa contratada produziu 11 produtos que contemplam análises e propostas de aprimoramento nos programas atuais de eficiência em observâncias ao mercado atual e legislação vigente:

Produto 1 - Plano de Trabalho;

Produto 2 - Diagnóstico de ações existentes no país e propostas de aperfeiçoamento;

Produto 3 - Propostas de novas ações transversais;

Produto 4 - Propostas de novas ações no setor público;

Produto 5 - Propostas de novas ações no setor de edificações;

Produto 6 - Propostas de novas ações no setor de transportes;

Produto 7 - Propostas de novas ações no setor industrial;

Produto 8 - Atualização do Balanço de Energia Útil – BEU;

Produto 9 - Workshops e reuniões estratégicas;

Produto 10 - Ferramentas utilizadas em base aberta;

Produto 11 – Proposta do Plano Decenal de Eficiência Energética-PDEf:

A consequente consolidação da proposta do plano decenal (PDEf), após avaliação governamental e de agentes do setor e sociedade, será uma ferramenta de suma importância para tomadas estratégicas de decisão, no que tange aos investimentos anuais na área de eficiência energética, quanto para os executores dos programas.

O PDEf é uma importante referência técnica para o setor, que irá nortear e direcionar ações tendo em vista os mapeamentos realizados referentes às ações já desenvolvidas no Brasil e às melhores práticas internacionais, trazendo grandes benefícios energéticos, econômicos e ambientais para o país.

A proposta do primeiro Plano Decenal de Eficiência Energética do Brasil estabeleceu uma meta de economia de energia definida de acordo com o Plano Decenal de Energia de 2029 (PDE 2029), documento que forneceu as diretrizes para o PDEf. A proposta do plano foi de ampliar em 10% os ganhos em eficiência energética estabelecidos pelo PDE 2029, de forma a lidar adequadamente com os riscos de implantação. O PDEf estima que se chegue ao final desta década com uma redução do consumo de 44 TWh de energia elétrica, valor equivalente à aproximadamente a energia gerada pela parte brasileira da usina hidrelétrica Itaipu Binacional ou da usina hidrelétrica de Xingó, conforme o PDE 2029. Cabendo destacar que a proposta para o PDEf prevê economias de combustíveis superiores às de energia elétrica, totalizando mais de 23 milhões de toneladas equivalente de petróleo.

3.2.1 Principais propostas do PDEf

Durante o processo de elaboração do PDEf, foram realizados uma série de eventos para a obtenção subsídios para a formulação da proposta. Devido à pandemia de covid-19, situação em que a realização de eventos presenciais foi proibida em diversas regiões do país, foram realizados no período entre maio de 2020 e janeiro 2021 seis workshops online para a discussão dos temas com os vários setores com grande potencial de eficiência energética no país. Tais eventos tiveram objetivo de discutir com a sociedade as propostas. (REIS, 2021)

Ao final do trabalho, foram apresentadas o documento final com as propostas do Plano. Entre as sugestões, estão o aprimoramento dos mecanismos de eficiência energética já existentes no Brasil, como a Lei de Eficiência Energética, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), a Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica (RCE), o Procel, o Conpet (programa semelhante ao Procel com foco nos produtos que usam energia de derivados do petróleo e gás natural), o Programa de Eficiência Energética e o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a criação de linhas de crédito para eficiência energética e mercado de ESCOs, especializadas em serviços de conservação de energia. A proposta também sugere a formulação de ações transversais e específicas para cada um dos segmentos do PDEf no serviço público, edificações, transporte, indústria e agropecuária com a inclusão de programas e mecanismos setoriais, contemplando

as iniciativas desenvolvidas por entidades públicas e privadas, universidades, laboratórios, associações e indústrias, com objetivo de ampliar a compreensão de como a eficiência energética está inserida nos diferentes segmentos da sociedade. (REIS, 2021)

A proposta do PDEf, tornada integralmente pública, também sugere a adoção no Brasil de iniciativas bem-sucedidas internacionalmente, como a criação de um mercado de certificados brancos e leilões de eficiência energética; expansão da etiquetagem e certificação de equipamentos; ampliação dos níveis mínimos de eficiência energética para determinados produtos e equipamentos do setor de saneamento e setor agropecuário; a criação de um programa estruturado de incentivo à gestão de energia nos moldes da ISO 50.001; e implementação de instrumentos institucionais para promoção da eficiência energética no setor público com foco no saneamento e iluminação pública. (REIS, 2021)

Em relação a outros segmentos priorizados pelo PDEf, no setor de transportes foi sugerida a operacionalização de um programa nacional de uso eficiente dos derivados de petróleo, gás natural e biocombustíveis e foram propostos: a implementação de um programa voltado à efficientização de rotas de serviços públicos municipais; programas de incentivo à eletrificação do transporte; a inclusão de cláusulas de eficiência energética nas concessões de serviços de transporte público; e a promoção do uso de combustíveis mais eficientes para transporte de passageiros. (REIS, 2021)

Já no setor de edificações, as principais propostas contemplam a criação de um programa de certificação de desempenho energética para transação imobiliária, iniciativa que tem mostrado resultados positivos na experiência internacional. Também foi sugerida a criação de um programa de eficiência energética no gás natural, considerando o potencial de crescimento do consumo desse vetor energético; e a implementação de mecanismos de fomento à cogeração. (REIS, 2021)

Para o setor industrial, foi proposta a criação de um programa de acordos voluntários e redes de eficiência energética, além de mecanismos mandatórios de eficiência energética, focados na gestão energética. Por fim, para o setor agropecuário, foi apresentada uma proposta de criação de um programa nacional de eficiência energética no meio rural, uma vez que o Brasil não possui nenhuma ação voltada para a eficiência energética para o agronegócio. [6]

O documento com a proposta final do Plano Decenal de Eficiência Energética ressalta que, embora as projeções feitas sejam restritas ao que está estabelecido no PDE 2029, a metodologia e os modelos propostos podem ser adaptados para que, no futuro, novas edições do PDEf possam ser elaboradas, contribuindo para a evolução do planejamento estratégico da eficiência energética no Brasil. (REIS, 2021)

3.3 Produtos do PDEf

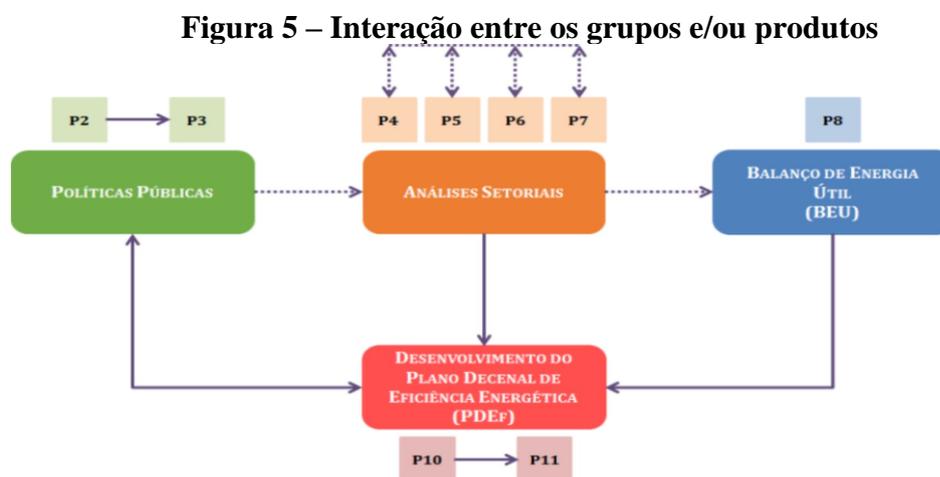
3.3.1 Produto 1 – Plano de Trabalho

A elaboração do Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) promove ações para o avanço dos ganhos de eficiência energética no Brasil, e tem por objetivo detalhar um conjunto de procedimentos e condutas para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos.

Esse trabalho é estratégico para o setor energético como um todo e, particularmente, para o setor elétrico, sendo a troca de experiências um fator relevante para que o setor avance na proposição de uma ferramenta para gestão e definição da contribuição a ser alcançada pelos Programas de Eficiência Energética nos compromissos assumidos pelo país relacionados ao Desenvolvimento Sustentável, assim como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), apresentada na COP 21 em 2015.

No Plano de Trabalho, é proposto o agrupamento conforme a Figura 5, que apresenta a interação entre grupos e/ou produtos contidos nos mesmos, em que as linhas contínuas correspondem a fortes interações, as pontilhadas são interações mais tênues e as setas indicam o sentido da interação entre os grupos/produtos.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram contatados, em diferentes momentos, instituições, associações, empresas e laboratórios/centros relevantes.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.2 Produto 2 - Diagnóstico de ações existentes no país e propostas de aperfeiçoamento

O Segundo Produto do projeto “Prestação de Serviço de Consultoria para Elaboração de Proposta para o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos.

Inicialmente é realizado um levantamento da experiência internacional em políticas de eficiência energética de forma geral, destacando-se o cenário geral, instrumentos de monitoramento do avanço em eficiência energética e de direcionamento. De forma específica, o levantamento abordou os países Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, México, Chile, Coreia do Sul, Japão e China, que são países com experiências relevantes em eficiência energética, mas com particularidades e diferentes estágios de progresso em relação ao tema. Por exemplo, a escolha da Alemanha e do Japão se deu em função de suas maturidades em eficiência energética, que podem contribuir para o avanço do tema no Brasil. Nessa mesma linha, seguem as escolhas do Reino Unido, Coreia do Sul e China, que apresentam significativos avanços nos últimos anos. Todos esses são países com desenvolvimento tecnológico mais avançado que o Brasil, servindo, pois, de balizadores de tendências. Já a seleção de México e Chile se deu pela semelhança existente com o Brasil, em termos de desenvolvimento econômico e tecnológico, o que permitirá uma visão mais aderente ao caso presente. Por sua vez, não menos importante, os Estados Unidos foram considerados no estudo, dada sua especificidade quanto à forma de governo descentralizada, além de experiências específicas, notadamente em âmbito de estados e cidades. Com base nesse levantamento, foi avaliada a aplicabilidade do contexto internacional ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento.

Em seguida, foi realizado o diagnóstico de ações existentes no país e propostas de aperfeiçoamento, em que foram analisados os seguintes programas (mecanismos): Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001) e suas regulamentações; Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE); Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica (RCE), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); Programa Nacional de Uso Racional de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET); e Programa de Eficiência Energética (PEE).

Para cada programa, foram tratados: governança, estrutura e processo de

funcionamento, resultados, pontos para aprimoramentos, proposta de *roadmap* para implementação, avaliação de impacto regulatório, dentre outros. Além disso, foram tratadas outras ações públicas e privadas voltadas para eficiência energética existentes no país de forma mais sucinta.

Finalmente, ressalta-se que serão desenvolvidas, ao longo do trabalho, análises setoriais específicas, que apontarão propostas específicas complementares ou adicionais, ou, até mesmo, revisões de posicionamentos colocados aqui, como é normal no processo de construção de um plano.

3.3.3 Produto 3 - Propostas de novas ações transversais

O Terceiro Produto do PDef, apresenta um Portfólio de Ações para o Avanço dos Ganhos de Eficiência Energética no Brasil, com objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos.

Inicialmente foi realizado um levantamento da experiência internacional em políticas transversais de eficiência energética de forma geral, destacando-se os esforços nacionais, nos setores de edificações, indústria e transportes.

O levantamento abordou experiências de diversos países com políticas e mecanismos transversais de fomento à eficiência energética, tais como: leilões, financiamento de investimentos, mercado de ESCOs, resposta de demanda, etiquetagem e selo, acordos voluntários, sistemas de gestão energética e ISO 50.001, mercado de certificados brancos, sistema integrado de informações e digitalização. Para cada tema, foram considerados os seguintes aspectos: estrutura do programa/política e processo de funcionamento, resultados obtidos, identificação de barreiras e melhores práticas, lições aprendidas e estratégias de avanço adotadas.

Com base nesse levantamento, foi avaliada a aplicabilidade do contexto internacional ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento e foi realizado o diagnóstico de programas e políticas transversais vigentes no Brasil, em que foram analisados os seguintes programas (mecanismos): leilões de eficiência energética, financiamento de investimentos em eficiência energética, mercado de ESCOs, resposta de demanda; etiquetagem e selo, acordos voluntários, sistemas de gestão energética da ISO 50.001, dentre outros.

Para cada programa, foram tratados: governança, estrutura e processo de funcionamento, resultados, pontos para aprimoramentos, proposta de roadmap para implementação, avaliação de impacto regulatório, dentre outros.

Com base no levantamento internacional e no diagnóstico do Brasil realizados, relacionados às ações/políticas transversais de eficiência energética, foram propostas cinco novas ações transversais para o caso brasileiro:

- leilões de eficiência;
- acordos voluntários;
- mercado de certificados de eficiência energética (certificados brancos);
- Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SIZEE);
- eficiência energética digital.

Para cada nova ação proposta, foram tratados:

- justificativa da proposta;
- identificação de público-alvo;
- proposta de estratégia de implementação;
- proposta de “roadmap” para implementação;
- avaliação de impacto regulatório;
- proposta de indicadores;
- base de dados para o monitoramento de efetividade do programa/política proposto.

Ao final, com base no diagnóstico realizado, foi apresentado um Plano de Ação visando a implementação de políticas/programas de natureza transversal sobre eficiência energética no Brasil, considerando aspectos como ganhos de eficiência energética esperados, cronograma proposto para implantação, análise custo/benefício, mecanismo proposto de medição & verificação de resultados e gestão de energia seguindo os pilares da ISO 50.001.

3.3.4 Produto 4 - Propostas de novas ações no setor público

O Quarto Produto do projeto tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os

impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos. Este Produto, trata de Propostas de Novas Ações no Setor Público para Iluminação, Pública e Saneamento.

Inicialmente, neste Produto é realizada uma análise da relação serviços públicos e eficiência energética, apresentando os nexos existentes entre as cidades modernas, a energia e as transformações tecnológicas, de modo a contextualizar e facilitar o desenvolvimento de análises, foi realizado um levantamento da experiência internacional em políticas de eficiência energética para o setor público, considerando Iluminação Pública e Saneamento. De forma específica, o levantamento abordou experiências de diversos países com políticas e mecanismos de fomento à eficiência energética nesses dois segmentos.

Para cada um foram considerados os seguintes aspectos: estrutura do programa/política e processo de funcionamento, identificação de barreiras e melhores práticas, lições aprendidas e estratégias de avanço adotadas. Com base nesse levantamento, foi avaliada a aplicabilidade do contexto internacional ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento.

Em seguida, foi realizado o diagnóstico de programas, ações e políticas vigentes no Brasil relacionadas à eficiência energética para o setor público para Iluminação Pública, no qual foi analisado o Programa PROCEL Reluz: Iluminação Pública Eficiente e o Programa de Eficiência Energética (PEE) /ANEEL. No diagnóstico do setor público para Saneamento foi analisado o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o Programa Nacional de

Conservação de Energia (PROCEL Sanear), o Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL), o Projeto COM+ÁGUA, o Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA) e o Projeto de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS). Para cada programa/ação/política, foram tratados: estrutura e processo de funcionamento, resultados obtidos, identificação de pontos para aprimoramento e proposta de estratégia para implementação dos aprimoramentos identificados incluindo “roadmap”.

Com base no levantamento internacional e no diagnóstico do Brasil realizados, relacionados às ações/políticas de eficiência energética no setor público para Iluminação Pública e Saneamento, foram propostas seis novas ações para o caso brasileiro:

- leilões de eficiência energética,
- etiquetagem de equipamentos,
- nível mínimo de eficiência energética para equipamentos,

- Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SI2E2),
- eficiência energética digital
- implementação de instrumentos institucionais para promoção da eficiência energética no setor público.

Para cada ação proposta, foram tratados:

- justificativa;
- identificação de público-alvo;
- estratégia de implementação;
- “roadmap” para implementação;
- avaliação de impacto regulatório;
- proposta de indicadores;
- formação de bases de dados para o monitoramento de efetividade.

Ao final, com base no diagnóstico realizado, é apresentado um Plano de Ação visando a implementação de políticas/ações/programas no setor público para Iluminação Pública e Saneamento sobre eficiência energética no Brasil, considerando aspectos como ganhos de eficiência energética esperados, cronograma proposto para implantação, análise custo/benefício, mecanismo proposto de medição & verificação de resultados e gestão de energia seguindo os pilares da ISO 50.001.

3.3.4.1 Ganhos de eficiência energética esperados com a implementação das medidas para os setores de Iluminação Pública e Saneamento

O PDE 2029 estima para o setor de serviços, considerando a eletricidade e as demais fontes de energia, aproximadamente 7% do consumo projetado em 2029, reduzindo o consumo final para aproximadamente 1,3 milhão tep nesse ano, conforme apresentado na Tabela 3.

Como visto anteriormente, a demanda por eletricidade representa aproximadamente, 92%, da matriz energética do setor de serviços e quando se considera, em particular, a iluminação pública e o saneamento, este valor é maior ainda. Desta forma, tomando como referência apenas as estimativas para energia elétrica, tem-se a Tabela 4.

Tabela 3 - Economias previstas de energia elétrica, dos combustíveis e total, por setores da economia, em 2029

Setor	Economia de energia elétrica (GWh)	Economia de energia elétrica (10³ tep)	Economia de combustíveis (10³ tep)	Economia total de energia (10³ tep)
Residencial	7.972	685	33	718
Industrial	15.146	1.302	8.628	9.930
Serviços	14.747	1.268	41	1.309
Agropecuário	1.750	156	319	475
Transporte	0,0	0,0	8.662	8.662
Outros	244	21	12	33
Total Brasil	39.859	3.432	17.695	21.127

Fonte: PDEf (2021)

Tabela 4 - Economia prevista de energia elétrica no PDEf para o setor de serviços de 2019 a 2029

Ano	Economia de Energia (GWh)	
	Todos os Setores	Serviços
2019	2.364	875
2020	8.800	3.256
2021	11.000	4.070
2022	14.300	5.291
2023	15.400	5.698
2024	18.050	6.678
2025	24.327	9.001
2026	33.000	12.210
2027	36.300	13.431
2028	39.600	14.652
2029	43.845	16.223

Fonte: PDEf (2021)

Entre os programas, ações e políticas no Brasil relacionadas à eficiência energética para os setores de saneamento público e iluminação pública consideradas neste PDEf, tem-se:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE);
- PROCEL Sanear;
- Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS);

- Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA);
- Projeto COM+ÁGUA 2 – INTERÁGUAS (encerrado em 2018);
- Projeto PROBIOGÁS (encerrado em 2017);
- Programa de Eficiência Energética (PEE);
- PROCEL Reluz.

Além dos programas anteriores, foram considerados os seguintes mecanismos e políticas adicionais relacionadas a eficiência energética para estes dois setores:

- Leilões de eficiência energética;
- Etiquetagem de novos equipamentos;
- Estabelecimento de nível mínimo de eficiência energética de equipamentos;
- Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SI2E2);
- Eficiência energética digital (EED);
- Implementação de instrumentos institucionais para promoção da eficiência energética no setor público.

A Tabela 5 apresenta uma classificação dessas políticas e mecanismos adicionais de eficiência energética em ações de impacto e ações estruturantes.

Tabela 5 - Classificação das políticas/mecanismos adicionais de eficiência energética propostos para os setores de Saneamento e Iluminação Pública

Política/mecanismo	Ação de Impacto	Ação Estruturante
Leilões de eficiência energética	X	
Etiquetagem de novos equipamentos	X	
Estabelecimento de nível mínimo de eficiência energética de equipamentos	X	
Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SI ² E ²)		X
Eficiência energética digital		X
Implementação de instrumentos institucionais para promoção da eficiência energética no setor público	X	

Fonte: PDEf (2021)

A implementação de instrumentos institucionais para promoção da eficiência energética no setor público foi classificada como uma atividade de impacto devido as economias de

energia que tal mecanismo poderá gerar nos dois setores de serviços públicos aqui considerados. Mas, pode-se também entender como uma atividade estruturante o tempo ou duração do processo de criação deste instrumento ou política de eficiência energética. No entanto, passado este período, a permanência deste mecanismo se fará sentir por um período muito maior daquele utilizado na sua elaboração.

A Eficiência Energética Digital foi classificada inicialmente como uma atividade estruturante, pois a implementação dos equipamentos e deste sistema tanto no saneamento como na iluminação pública deverá demandar um certo tempo. Posteriormente, com os resultados esperados, tal ação poderá ser considerada de impacto devido as economias de energia que irá proporcionar ou viabilizar nos dois setores de serviços públicos aqui considerados. O mesmo mecanismo foi considerado de impacto devido ao horizonte de 10 anos de duração do PDef e por abranger todos os demais setores e não apenas o de saneamento e iluminação pública.

3.3.5 Produto 5 - Propostas de novas ações no setor de edificações

Este produto do projeto tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos nas Propostas de Novas Ações no Setor de Edificações contemplando os seguintes subsetores: residencial, comercial, serviços e poder público.

Inicialmente foi realizada uma discussão sobre os fundamentos e a dinâmica do agrupamento denominado “Edificações”, posto não se caracterizar como classe de consumo sendo este um dos desafios para a elaboração de políticas públicas de eficiência energética para este grupo, pois não há uma compreensão dos seus elementos, dificultando a análise de banco de dados e, ainda mais, a compatibilização destes. Foi apresentada também uma análise da dinâmica energética das edificações, tomando a cidade de São Paulo como estudo de caso. Embora não tenha a profundidade para a formulação de propostas, o estudo mostra as tendências energéticas nesta área, que devem direcionar os esforços públicos e privados em eficiência, como a verticalização que abre um grande campo para a digitalização e penetração do gás natural exigindo ações direcionadas ao uso deste energético.

Foi realizado um levantamento da experiência internacional em políticas/programas de eficiência energética para o setor de edificações, destacando se os esforços nos subsetores

residencial, comercial, serviços e poder público. De forma específica, o levantamento abordou experiências dos Estados Unidos, Alemanha e Reino Unido com políticas e mecanismos de fomento à eficiência energética em edificações, tais como: mecanismos regulatórios, financiamentos de tecnologias, etiquetagem, selo e certificação, padrões energéticos em prédios para uso público e cogeração. Para cada país foram considerados os seguintes aspectos: estrutura do programa/política e processo de funcionamento, identificação de barreiras e melhores práticas, lições aprendidas e estratégias de avanço adotadas. Foi abordado, o tema Sistemas de Gestão de Energia e digitalização dos sistemas em edificações. Com base nesse levantamento, foi avaliada a aplicabilidade do contexto internacional ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento.

O diagnóstico de programas, ações e políticas vigentes no Brasil relacionadas à eficiência energética para o setor de edificações, no qual foi analisado a eficiência energética nos instrumentos normativos municipais, o PROCEL, o Programa de Eficiência Energética – PEE ANEEL, etiquetagem, selo e certificações, normas técnicas, iniciativas voltadas às edificações do setor público, o Projeto 3E, linhas de crédito imobiliário, entre outros foram implementados no estudo.

Com base no levantamento internacional e no diagnóstico do Brasil realizados, relacionados às ações/políticas de eficiência energética no setor de edificações, foram propostas cinco novas ações para o caso brasileiro: programa para impulsionar a digitalização no setor de edificações, sistema integrado de informações em eficiência energética - setor de edificações, certificado de desempenho energético para transação imobiliária, programa de eficiência energética no uso de gás natural em edificações e mecanismos de fomento a cogeração..

Ao final, com base no diagnóstico realizado, é apresentado um Plano de Ação visando a implementação de políticas/ações/programas no setor de edificações, subsetores residencial, comercial, serviços e poder público, considerando ganhos de eficiência energética.

A Agência Internacional de Energia (IEA) avalia que o consumo final de energia em edificações no mundo seja algo de 32% do total, contra 31,9% da indústria, 31,8% de transporte e 4,1% da agropecuária e outros. Enquanto isso, no Brasil, esse consumo é de cerca de 17,8%. Como comentado, a definição de Edificações não é clara, caracterizando-se como um agrupamento e não como uma classe de consumo. Mas, mesmo com possíveis erros de classificação, salta aos olhos a diferença entre o consumo de energia final em edificações no Brasil e no mundo. As condições ambientais aqui sejam menos rigorosas que em outros países; ou que a renda per capita ainda é muito baixa, diminuindo a demanda em comércio e serviços; ou, que as residências são demasiadamente simples e despojadas; ou, ainda, que os hábitos dos

brasileiros se distinguem sobremaneira dos demais. A resposta tem um pouco de tudo, mas os dados indicam que há um significativo espaço de crescimento de consumo nesse agrupamento, exigindo que medidas sejam tomadas para que esse crescimento se dê de forma eficiente e eficaz. Neste sentido que foram construídas as propostas no PDEf.

Em conceito, as melhores experiências internacionais podem foram aplicados. Um exemplo disso é a certificação e o estabelecimento de níveis máximos de consumo, de forma coercitiva, prática comum nos países desenvolvidos. Entende-se como necessárias estas práticas, mas não há consenso sobre os instrumentos indutores e os modelos de certificação. Tampouco o estabelecimento de nível mínimo de eficiência. A questão passa por aumento da burocracia e de custo em um país já burocrático e com carência de recursos para fins essenciais.

Programas como as edificações de consumo energético próximo a zero (*Near Zero Energy Buildings*), como o existente na Califórnia, são interessantes, mas estão distantes de se materializarem de forma massiva no Brasil, embora seja louvável ações para promover essas tecnologias, como as edificações certificadas LEED, ou as ações do PROCEL como a recente Chamada Pública Procel Edifica - NZEB Brasil. Embora seja de difícil implementação com instrumentos coercitivos, as forças de mercado trazem inovações importantes, que podem se materializar com pequenos avanços regulatórios, como está se dando com a geração distribuída solar, principalmente aquelas instaladas *in situ*. Hoje existem 267.000 instalações, sendo a quase totalidade em edificações.

Por último, cabe destacar a Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contributions* - NDC) do Brasil ao Acordo de Paris. A NDC brasileira contém o compromisso de reduzir as emissões de GEE em 37% em 2025 e 43% em 2030, tendo por referência o ano de 2005, o que equivale a um teto de emissões de 1.300 e 1.200 MtCO₂e em 2025 e 2030, respectivamente. Apesar da NDC brasileira não apresentar um compromisso específico de redução de emissões para o setor de edificações, este setor tem um papel relevante nesse compromisso.

Apesar das iniciativas, muito ainda precisa ser feito para alcançar o compromisso firmado na NDC brasileira, e no setor de edificações oportunidades já foram perdidas, a exemplo do programa Minha Casa Minha Vida, a iniciativa mais expressiva no Brasil em relação a habitação de interesse social.

Tudo isso ressalta a importância das propostas realizadas neste produto do PDEf, que vão além da eficiência energética, e poderão ter importante contribuição na redução da emissão de gases do efeito estufa.

3.3.6 Produto 6 - Propostas de novas ações no setor de transportes

Este Produto do projeto que tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar os ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, no setor de transportes, em uma contextualização histórica, analisando os vínculos com que o que ocorria no exterior, de forma a compreender as limitações existentes para a busca de uma efficientização energética deste complexo.

Foi realizado um levantamento da experiência internacional em políticas de eficiência energética para o setor de transportes, abrangendo o transporte de cargas e passageiros. De forma específica, o levantamento abordou experiências de diversos países com políticas e mecanismos de fomento à eficiência energética, considerando temas como eletrificação do transporte, mobilidade urbana, digitalização, etiquetagem, selo, eficiência através dos combustíveis e transporte marítimo e hidroviário. Para cada tema foram considerados os seguintes aspectos: estrutura do programa/política e processo de funcionamento, identificação de barreiras e melhores práticas, lições aprendidas e estratégias de avanço adotadas. Com base nesse levantamento, foi avaliada a aplicabilidade do contexto internacional ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento.

Foi realizado o diagnóstico de programas, ações e políticas vigentes no Brasil relacionadas à eficiência energética para o setor de transportes, no qual foi analisado o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE Veicular), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (Conpet), o Inovar-Auto, o ROTA 2030, o P&D ANEEL – Chamada Estratégica nº22/2018, o Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente (PROMOB-e), o Projeto de Eficiência Energética na Mobilidade Urbana (EEMU) e o Plano Nacional de Logística (PNL). Para cada programa/ação/política, foram tratados: estrutura e processo de funcionamento, resultados obtidos, identificação de pontos para aprimoramento e proposta de estratégia para implementação dos aprimoramentos identificados incluindo “roadmap”.

Com base no levantamento internacional e no diagnóstico do Brasil realizados, relacionados às ações/políticas de eficiência energética no setor de transportes, foram propostas novas ações para o caso brasileiro considerando:

- Transporte de cargas (logística): Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SI2E2) – módulo dedicado ao transporte de cargas, sistemas digitais voltados à efficientização energética no transporte de cargas, otimização integrada da operação de reservatórios de hidrelétricas para possibilitar/fomentar o transporte hidroviário (revisão

de critérios operacionais), programa brasileiro de etiquetagem de motores de veículos pesados, programa voltado a eficiência de rotas de serviços públicos municipais e programa de incentivo à eletrificação no transporte de cargas (caminhões leves) para uso urbano;

- Transporte de passageiros (mobilidade): Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética (SI2E2) – módulo dedicado ao transporte de passageiros, sistemas digitais voltados à eficiência energética no transporte de passageiros, inclusão de cláusulas de eficiência energética nas concessões de serviços de transporte público, programa de incentivo à eletrificação de frotas de ônibus municipais, programa de apoio à expansão de veículos elétricos leves e promoção do uso de combustíveis mais eficientes para transporte de passageiros.

3.3.7 Produto 7 - Propostas de novas ações no setor industrial

Esse é o Sétimo Produto do projeto “Prestação de Serviço de Consultoria para Elaboração de Proposta para o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) com o objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos.

Inicialmente neste produto, é realizada uma discussão geral sobre a evolução histórica da relação indústria e energia e uma abordagem da “dispersão dos consumos específicos de energia no setor industrial” e da “industrialização e energia no Brasil”.

Na sequência é realizado um levantamento da experiência internacional em políticas de eficiência energética para o setor industrial, com destaque para os segmentos energointensivos e para as pequenas e médias indústrias. De forma específica, o levantamento aborda experiências de diversos países com políticas e mecanismos de fomento à eficiência energética na indústria. Para cada tema são considerados os seguintes aspectos: governança existente, estrutura do programa/política e processo de funcionamento, identificação de barreiras e melhores práticas, lições aprendidas e estratégias de avanço adotadas. Com base nesse levantamento, é avaliada a aplicabilidade dessas experiências ao cenário brasileiro, considerando os principais pontos de aprimoramento.

Em seguida, é realizado o diagnóstico de programas, ações e políticas vigentes no Brasil relacionadas à eficiência energética para o setor industrial, no qual são analisados: proposta de

projeto-piloto de leilão de eficiência energética; o Procel Indústria e acordos voluntários; projetos industriais no PEE/ANEEL; etiquetas e padrões mínimos obrigatórios de eficiência energética para equipamentos industriais; e iniciativas privadas - gestão de energia e programas de eficiência energética em instalações industriais no Brasil. Para cada programa/ação/política, são tratados: governança existente, estrutura e processo de funcionamento, resultados obtidos, identificação de pontos para aprimoramento e proposta de estratégia para implementação dos aprimoramentos identificados incluindo “roadmap”.

Com base no levantamento internacional e no diagnóstico do Brasil realizados, relacionados às ações/políticas de eficiência energética no setor industrial, são propostas cinco novas ações para o caso brasileiro: leilões de eficiência energética; acordos voluntários e redes de eficiência energética; metas mandatórias de eficiência energética para indústrias energointensivas e criação de um mercado de certificados brancos; obrigações para indústrias não-energointensivas – gerentes de energia, diagnósticos energéticos e relatórios sobre o consumo energético e medidas visando ganhos de eficiência energética; e Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética aplicado ao setor industrial. Para cada ação proposta, são tratados: justificativa, identificação de público-alvo, estratégia de implementação, “roadmap” para implementação, avaliação de impacto regulatório, proposta de indicadores de monitoramento de efetividade e de formação de bases de dados para o monitoramento de efetividade.

3.3.8 Produto 8 - Atualização do Balanço de Energia Útil – BEU

O Oitavo Produto do projeto “Prestação de Serviço de Consultoria para Elaboração de Proposta para o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf), preparado no contexto da consultoria desenvolvida para o MME/PROCEL pela IX Estudos e Projetos para elaboração do Plano Decenal de Eficiência Energética, PDEf, visando prover um Portfólio de Ações para o Avanço dos Ganhos de Eficiência Energética no Brasil”, que tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos.

O presente trabalho está voltado para o Balanço de Energia Útil, BEU, uma ferramenta analítica importante para identificar e avaliar oportunidade de promover incrementos de eficiência energética e redução de perdas de energia. No Brasil, sempre sob a coordenação do

MME, o primeiro BEU foi apresentado em 1983, depois em 1995 (sobre dados do BEN para 1993) e 2005 (sobre dados do BEN para 2004). Mais recentemente a EPE vem reforçando a base de estudos sobre consumo de energia na indústria brasileira, através do levantamento de dados de uso final de energia em alguns setores. O próprio MME também vem estimulando trabalhos relacionados ao BEU. É possível que todos estes esforços, bem como os resultados deste relatório, sejam consolidados nos próximos anos para divulgação de um material consolidado.

Visando atualizar o BEU, considerando valores mais recentes do BEN 2020 (referidos a 2019), principalmente ressaltando os tópicos relacionados à eficiência energética, complementando e expandindo o trabalho da EPE, esse produto apresenta uma abordagem metodológica integrando uma análise termodinâmica completa dos processos finais de conversão energética, capaz de caracterizar melhor as perdas e apresentar potenciais de ganhos de desempenho e racionalização energética, menos detectados na abordagem convencional dos balanços de energia útil.

Tal atualização foi segmentada nos seguintes campos:

- Revisão metodológica: conforme apresentada neste relatório, é proposto aprofundamento da utilização de conceitos termodinâmicos no BEU, sendo apresentados exemplos de processos utilizando tal aperfeiçoamento e os resultados práticos obtidos;
- Processamento de dados de campo para obtenção dos coeficientes de destinação da energia final aos usos em todos os setores: atividade efetuada a partir dos levantamentos disponíveis. Entretanto, trabalho de campo não foi efetuado considerando os limites do cronograma do PDEf e, principalmente, em função do orçamento necessário, que certamente ultrapassaria o valor total necessário para todos os produtos;
- Análises de cenários de referência considerando os parâmetros de eficiência e coeficientes de destinação com a plena adoção das melhores práticas no uso de energia nos processos finais de conversão, assumindo para os parâmetros de eficiência, níveis de benchmarking (como BAT, *Best Available Technology*) apresentados em 9. Síntese dos Resultados Obtidos.

Cabe destacar que o objetivo original deste trabalho é atualizar o BEU nos tópicos relacionados à Eficiência Energética. Isto foi feito, mas também poderá ser observado que o BEU foi atualizado no sentido lato, sob as condições e limitações apresentadas no PDEf.

É importante observar que no desenvolvimento deste produto (e de outros trabalhos que fundamentam o mesmo), foram considerados estudos já realizados para subsidiar a referida

atualização, de forma a preservar a desejável continuidade e não haver duplicidade em relação a outros estudos. Cabe destacar que diversas reuniões realizadas durante o período de elaboração deste relatório com equipes da Eletrobras/Procel e EPE.

Nesse sentido, inicialmente se apresentam os fundamentos metodológicos da abordagem complementar e em seguida se apresenta uma análise do contexto brasileiro, inicialmente identificando os setores socioeconômicos de interesse e os usos energéticos relevantes, os insumos energéticos (energias finais) a considerar, modelando os fluxos energéticos nos processos de conversão (com exemplos), para finalmente, empregando os dados mais recentes disponíveis, identificar, em nível dos consumidores nos diferentes setores socioeconômicos, a energia efetivamente utilizada, as perdas energéticas e a parcela recuperável dessas perdas.

3.3.9 Produto 9 - Workshops e reuniões estratégicas

Esse Produto 9 trata dos workshops e reuniões estratégicas realizados para discussão dos resultados obtidos no decorrer projeto. Ao longo da elaboração do PDEf, a empresa iX Estudos e Projetos, organizou e realizou 6 (seis) workshops envolvendo *stakeholders* correspondentes às diversas temáticas para discussão dos resultados. Adicionalmente, foram realizadas 5 (cinco) reuniões estratégicas das quais participaram EPE, MME, Eletrobras/Procel e a própria iX, para a evolução e concretização do trabalho. De forma sucinta foram apresentados os setores no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Setores consumidores de energia

Setor	Infraestrutura existente	Economia de energia
Saneamento e Iluminação Pública	Etiquetagem de equipamentos	Implementação de instrumentos institucionais
Edificações	Certificado de Desempenho Energético para Transação Imobiliária	
Transporte de cargas	Etiquetagem de Motores de Veículos Pesados	
Transporte de passageiros	Sistema integrado de informações em Eficiência Energética	Inclusão de cláusulas de eficiência energética nas concessões de serviços de transporte público
Industrial	Acordos voluntários e redes de eficiência energéticas	Metas mandatórias de eficiência energética para indústrias energointensivas, integradas ao mercado de certificados brancos
Agropecuário	Etiquetagem e padrões mínimos de bombas/sistemas para irrigação	Criação de mercado de certificados brancos no setor agropecuário

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.10 Produto 10 - Ferramentas utilizadas em base aberta

O Décimo Produto do projeto “Prestação de Serviço de Consultoria para Elaboração de Proposta para o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf) tem como objetivo detalhar um conjunto de ações para alcançar ganhos de eficiência energética estimados para o Brasil no médio prazo, tomando como base os cenários macroeconômicos e de eficiência energética estabelecidos no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recente disponível, além de considerar os impactos do avanço da digitalização nos setores produtivos tendo em vista todas as ferramentas utilizadas durante a elaboração do PDEf, referentes a cada um dos produtos elaborados com a consolidação, apresentadas em base aberta/editável e com memória de cálculo, com base de dados, em ambiente amigável e intuitivo para atualização em PDEfs futuros, além de disseminação, quando aplicável.

Para a elaboração deste Produto 10, considerou-se os cálculos realizados e valores resultantes apresentados nos seguintes relatórios ou produtos:

- Produto 2 - Diagnóstico de ações existentes no país e propostas de aperfeiçoamento;
- Produto 3 - Propostas de novas ações transversais;
- Produto 4 - Propostas de novas ações no setor público;
- Produto 5 - Propostas de novas ações no setor de edificações;
- Produto 6 - Propostas de novas ações no setor de transportes;
- Produto 7 - Propostas de novas ações no setor industrial;
- Produto 8 - Atualização do Balanço de Energia Útil (BEU);
- Produto 11- Plano Decenal de Eficiência Energética (com sumário executivo).

3.3.11 Produto 11 - Proposta do Plano Decenal de Eficiência Energética-PDEf

O produto 11 apresenta a proposta de PDEf que foi desenvolvida com um nível de desagregação bastante significativo para se alcançar os ganhos de eficiência energética previstos no PDE, analisando setores relevantes e, para esses, propondo ações que foram embasadas em experiências internacionais relevantes e adaptadas à realidade brasileira, além de terem sido avaliadas as respectivas atratividades de mercado e impactos regulatórios. O processo foi longo, estendendo-se por mais de um ano, com uma participação significativa de instituições públicas e atores privados, que puderam contribuir em workshops e reuniões estratégicas. Foi um grande desafio o envolvimento dos respectivos atores e acredita-se que

foram atingidos todos os objetivos esperados em um ambiente “mais normal”, sem o contexto da pandemia da Covid-19, quando o escopo deste trabalho foi definido.

Uma preocupação paralela (mas não menor) dos contratantes foi incluir neste produto a atualização do Balanço de Energia Útil (BEU), de significativa importância para o planejamento energético. O BEU precisa incorporar avanços para ser capaz de refletir as conversões de energia de consumo final para o seu uso efetivamente útil.

3.4. Considerações sobre o PDEf

Em um momento de grandes avanços tecnológicos nos equipamentos e sistemas de consumo energético, e a grande penetração da Tecnologia da Informação (TI), os serviços energéticos usados pela sociedade são cada vez menos demandantes de energia, mas a cada dia o cidadão e as organizações estão mais energodependentes, não podendo lhes faltar energia por menor que seja o tempo ou a quantidade. Dentro deste ambiente inovador, enquadra-se a eficiência energética, que deve promover o ganho de produtividade e conforto da sociedade.

Por fim, cabe destacar que o PDEf será uma importante ferramenta tanto para os tomadores de decisão, no que tange aos investimentos anuais na área de eficiência energética, quanto para os executores dos programas. Ao mesmo tempo, será uma importante referência técnica para o setor, tendo em vista os mapeamentos realizados referentes às ações já desenvolvidas no Brasil e às melhores práticas internacionais, que respaldaram as ações apresentadas ao longo deste documento.

4 TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE

4.1 Introdução

A retomada do planejamento do setor de energia ensejou a elaboração do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), que incorpora a Eficiência Energética (EE) em seus estudos e menciona a elaboração do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

A busca pela Eficiência Energética não se dá de forma homogênea pelo mundo. Vários fatores contribuem para isso, desde os culturais, os econômicos, até mesmo os que são parte integrante de uma estratégia de mercado. O fato é que o assunto é abordado de formas distintas entre os países.

Sob este prisma, o Plano Nacional de Eficiência Energética do Brasil procura enxergar o que o país tem de melhor, com o objetivo de intensificar o foco e reduzir custos de inovação. Em suma, melhor do que implementar programas de eficiência, é fazê-lo de forma eficiente. Nesse sentido, é essencial que o país se valha de Acordos Internacionais para troca de experiências na área, além da elaboração de acordos bilaterais e multilaterais, que podem servir de base para iniciativas relacionadas à eficiência energética, sejam elas de cunho tecnológico ou não.

Em síntese, pode-se considerar os ganhos em EE como provenientes de duas parcelas: uma é referente ao “progresso autônomo” e outra, referente ao “progresso induzido”. Por progresso autônomo entende-se aquele que se dá por iniciativa do mercado, sem interferência de políticas públicas de forma espontânea, ou seja, através da reposição natural do parque de equipamentos por similares novos e mais eficientes ou tecnologias novas que produzem o mesmo serviço de forma mais eficiente. Por progresso induzido entende-se aquele que requer estímulos através de políticas públicas. O país tem um conjunto de oportunidades para atender as necessidades sociais através de programas de EE.

No âmbito do PNE 2030, o ganho de EE através de progresso autônomo foi considerado nas projeções de demandas. No caso do setor elétrico, em 2030, além dos 5% de redução da demanda considerados a partir do progresso autônomo, foi estabelecida uma meta de 5% adicionais através do progresso induzido, a ser detalhada no PNEf. Neste último caso, a EE é tratada como uma opção de investimento para atender a demanda de energia

As ações de EE compreendem modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem.

Neste capítulo, elencam-se análises técnicas das ações observando as tecnologias de iluminação eficiente e os respectivos ganhos energéticos possíveis que poderiam ser implementadas nos mais diversos setores, visando contribuir com a eficiência energética. onde foi abordado tecnologias de iluminação eficiente e ganhos previstos.

4.2 Iluminação

4.2.1 Conceitos Fundamentais

A iluminação artificial é responsável por um consumo de energia elétrica considerável do sistema elétrico brasileiro. No setor residencial, ela representa cerca de 10% (ELETROBRAS PROCEL, 2019), o que comprova uma iluminação ineficiente para o que se espera no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica. (VIANA *et al.*, 2012)

Para esclarecer melhor qual tipo de lâmpada deve ser usada de acordo com o ambiente em que será instalada, é necessário explicitar alguns conceitos, quais sejam:

- Iluminância é definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda, em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido. A unidade de medida usual é o lux [lx]. A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 estabelece o nível de iluminância mantido na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade;
- Luminância de uma superfície é uma medida da luminosidade que um observador percebe refletido desta superfície. A luminância pode provocar ofuscamento afetando o conforto visual e precisa ser evitado;
- A área projetada de uma luminária, numa dada direção, é a área de projeção ortogonal da superfície luminosa, num plano perpendicular à direção específica. Unidade [m^2];
- Controlador de Luz é a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas; podendo ser do tipo refletor, refrator, difusor e lente;
- Depreciador de Luz é a diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias e, também, ao decréscimo natural do fluxo luminoso das lâmpadas;
- Difusor é o dispositivo colocado em frente à lâmpada com a finalidade de diminuir sua

luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento;

- O espectro eletromagnético contém uma série de radiações, que são fenômenos vibratórios, cuja velocidade (v) de propagação é constante e que diferem entre si por sua frequência (f) e por seu comprimento de onda (l), tal que $v = l f$. Para o estudo da iluminação é importante o grupo de radiações compreendidas entre os comprimentos de onda de 380 e 780 nanômetros [nm], que são capazes de estimular a retina do olho humano.;
- Fator de manutenção é um método utilizado para prever a manutenção do fluxo luminoso das características estabelecidas no projeto luminotécnico. Este fator depende das características de envelhecimento das lâmpadas, luminárias e do acúmulo de poeira (ambiente limpo, médio ou sujo);
- Fator de Uniformidade e a uniformidade de um sistema de iluminação é a relação entre os pontos mais iluminados e menos iluminados de um plano horizontal. Uma boa uniformidade evita pontos escuros que prejudiquem a qualidade da iluminação e o conforto visual dos usuários. Seu valor mínimo é estabelecido pela Norma ABNT NBR 5101 – Iluminação Pública – Procedimento, de acordo com a classe de iluminação da via;
- Fator de Utilização é a razão do fluxo utilizado pelo fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É um índice da luminária e influi no rendimento;
- Fluxo luminoso é quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida em todas as direções, que pode produzir estímulo visual. A sua unidade é o lúmen [lm];
- O índice de reprodução de cores – IRC, é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte luminosa, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. O IRC identifica a aparência como as cores dos objetos e pessoas serão percebidas quando iluminados pela fonte de luz em questão. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio entre as cores. A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 estabelece o nível de IRC mínimo para cada ambiente, tarefa ou atividade;
- Mortalidade de lâmpadas é o número de horas de funcionamento das lâmpadas antes que uma percentagem delas deixe de funcionar. É dependente do número de vezes que se acendem e apagam em um dia;
- Ofuscamento é o efeito de uma luz forte no campo de visão do olho. Pode provocar sensação de desconforto e prejudicar o desempenho visual nas pessoas presentes neste

ambiente. A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 estabelece o limite do índice de ofuscamento unificado para alguns ambientes, tarefa ou atividade;

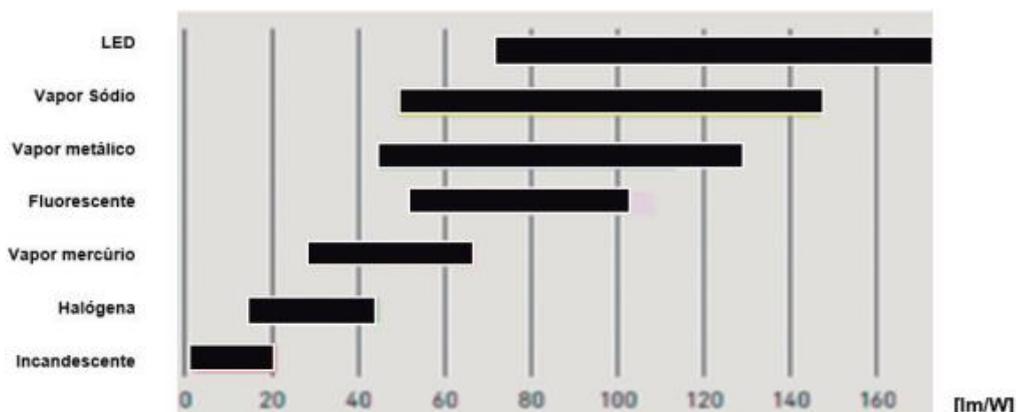
- A temperatura de cor correlata (TCC) é usada para descrever a cor de uma fonte de luz. A TCC é medida em Kelvin, variando de 1.000 K, cuja aparência é amarelada até 10.000 K, cuja aparência é azulada. Segundo a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, as lâmpadas com TCC acima de 5.300 K são chamadas de aparência “fria”, as lâmpadas com TCC abaixo de 3.300 K são de aparência “quente” e as lâmpadas com TCC entre 3.300 e 5.300 K são chamadas de aparência “intermediária”.
- Vida Mediana Normal corresponde ao tempo dado em horas, no qual 50% de uma amostra de lâmpadas ensaiadas se mantém acesas sob condições controladas em laboratório. A vida mediana depende do tipo de lâmpada, especificamente as lâmpadas LEDs possuem o maior valor, podendo atingir, teoricamente, até 80.000 horas nas luminárias LED utilizadas na iluminação pública.

Explicitados os conceitos, segue explanação sobre a eficiência luminosa, importante para o entendimento da preferência pela lâmpada LED.

4.2.2 Eficiência Luminosa

Eficiência luminosa é a absorção, ou seja, a transformação de energia radiante numa forma diferente de energia por interação com a matéria onde a eficiência luminosa é a relação do fluxo luminoso total emitido por uma lâmpada, dado em lúmens, pela sua potência dado em Watts. A Figura 6 apresenta valores de eficiência luminosa em função dos tipos de lâmpadas.

Figura 6 - Eficiência luminosa de lâmpadas.



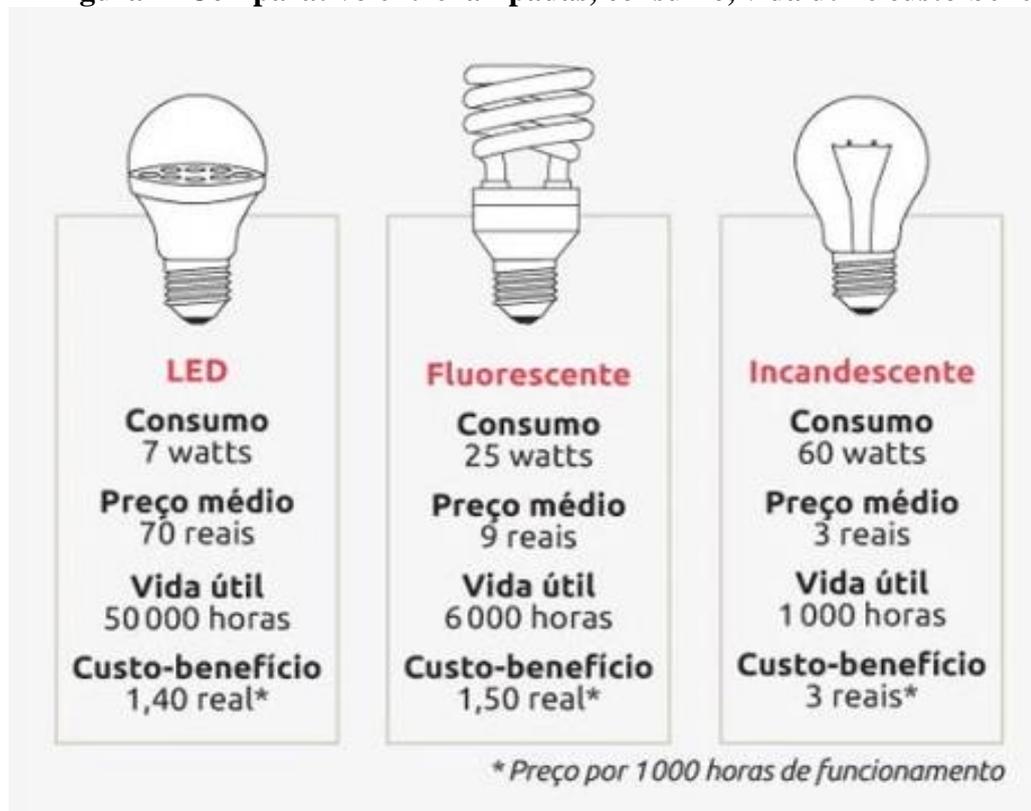
Fonte: Viana *et. al.* (2012).

O Rendimento luminoso ou eficiência luminosa é um indicador de eficiência utilizado para avaliar o rendimento da conversão de energia em luz por uma determinada fonte luminosa. É um indicador de mérito que consiste na avaliação do rácio entre o fluxo luminoso e a potência.

O principal fator que deve ser considerado na escolha de uma lâmpada LED é a eficiência luminosa, definida pela relação entre fluxo luminoso (lúmens) e potência energética (watts), como informado acima.

A Eficiência Luminosa é um dos parâmetros utilizados para medir proporcionalmente a conversão de energia elétrica em luz, ou seja, quanto de energia elétrica é gasto para que a lâmpada acenda e quanto o fluxo luminoso alcança com determinada quantidade de energia. Ao dividir a quantidade de lúmens pela quantidade de Watts, pode-se entender se a lâmpada é eficaz desperdiçando o mínimo de calor. No entanto, não se pode observar apenas este cálculo para a tomada de decisão, pois outros fatores são importantes para escolha correta da lâmpada a ser utilizada. É preciso considerar o ambiente e a finalidade do emprego da lâmpada. A Figura 7 exemplifica de forma resumida o cálculo que se pode utilizar na hora de escolher, comparado o custo-benefício das lâmpadas.

Figura 7- Comparativo entre lâmpadas, consumo, vida útil e custo-benefício



Fonte: Xavier (2013)

4.3 Tipos de lâmpadas

Em se tratando de lâmpadas, alguns fatores são importantes, levando em consideração o ponto que será iluminado: o formato da lâmpada (por exemplo, lâmpadas compactas espirais têm aproveitamento mais eficiente da luz que as compactas tradicionais, por terem maior superfície e maior volume de gás) e o tipo de luminária (por exemplo, a utilização de folhas de alumínio como refletores na parte interna da luminária melhora o aproveitamento da luz emitida). (VIANA *et. al.*, 2012)

Todavia, o fator preponderante na escolha da lâmpada passou a ser a tecnologia utilizada na confecção das lâmpadas.

Para iluminação doméstica e corporativa há, essencialmente, três tipos delas: a tradicional incandescente (com filamento de tungstênio em um bulbo de vidro com vácuo e cuja produção vai sendo gradativamente proibida mundo afora), as fluorescentes de geração mais moderna (compactas e as tubulares T5) e as lâmpadas a LED. (VIANA *et. al.*, 2012)

Quanto às lâmpadas compactas, as de uso residencial têm reator integrado e as de uso comercial, reator não integrado ao corpo da lâmpada. A lâmpada com reator integrado facilita a substituição do conjunto e tem a mesma eficiência luminosa, porém pode significar um desperdício, considerando que a vida útil da lâmpada é menor que a do reator. Numa instalação comercial, onde há mais mão-de-obra disponível, é mais conveniente o uso da lâmpada compacta com reator não integrado. (VIANA *et. al.*, 2012)

4.3.1 Lâmpadas Incandescentes

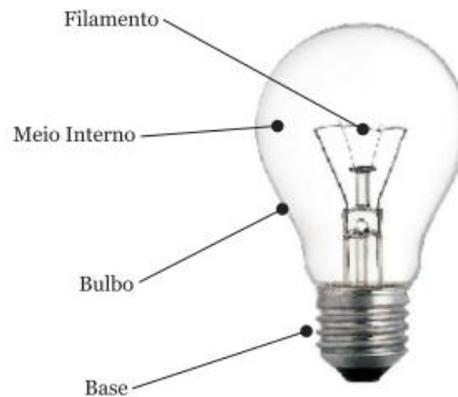
As lâmpadas incandescentes eram muito utilizadas em iluminação de ambientes residenciais e de pequenas áreas devido ao seu baixo custo de aquisição. Atualmente, ainda existem alguns tipos de lâmpadas incandescentes que são utilizadas para aplicações específicas como, por exemplo, no forno do fogão doméstico.

A iluminação incandescente comum resulta da incandescência de um filamento de tungstênio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este é colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado. Uma lâmpada incandescente é composta basicamente pelos seguintes elementos apresentados na Figura 8.

Considerando que uma lâmpada incandescente de 200 W possui um fluxo luminoso de aproximadamente 3.400 lm, a mesma apresenta eficiência luminosa de 17 lm/W, resultando numa baixa eficiência, pois a maior parte da energia consumida é transformada em calor. Com

a publicação da Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 1.007/2010 que estabeleceu níveis mínimos de eficiência energética, tornou-se inviável sua fabricação, acarretando, na prática, a proibição da fabricação e comercialização dessas lâmpadas no mercado brasileiro.

Figura 8 – Lâmpada Incandescente



Fonte: Viana *et. al.* (2012).

4.3.2 Lâmpadas Halógenas

Alguns exemplos de lâmpada halógena podem ser vistos na Figura 9. A lâmpada halógena pertence à família das lâmpadas incandescentes de construção especial, pois contém halogênio adicionado ao gás criptônio dentro do bulbo, e funcionam sob o princípio de um ciclo regenerativo que tem como funções evitar o escurecimento, aumentar a vida mediana e a eficiência luminosa da lâmpada.

Figura 9 – Lâmpadas halógenas



Fonte: SNJ (s.d.) (2012).

Esta possui uma vida mediana e uma eficiência luminosa um pouco maiores do que a incandescente comum, e ainda são comercializadas no mercado brasileiro. Estes modelos são as que tem a melhor reprodução de cores, obtendo uma luz brilhante que possibilita realçar as cores e objetos com eficiência energética maior que as lâmpadas incandescentes comuns, tendo maior eficiência luminosa, fluxo luminoso de maior temperatura de cor, ausência de depreciação do fluxo luminoso por enegrecimento do bulbo e dimensões reduzidas. São utilizadas em locais como iluminação de fachadas, áreas de lazer, artes gráficas, teatros, estúdios de TV, faróis de automóveis, entre outras.

4.3.3 Lâmpadas com Filamento de Carbono

Conforme mostrado na Figura 10, a lâmpada com filamento de carbono, também pertence à família das lâmpadas incandescentes de construção especial. Tem uma luz alaranjada, mais suave, deixando o ambiente com uma luz mais tênue, além de apresentar excelente índice de reprodução de cores. Também, produzem calor, deixando o ambiente mais quente.

As lâmpadas possuem durabilidade média de 2.000 horas, permitem dimerização e são bastante utilizadas em ambientes decorativos, pendentes, bares, pubs etc. Com relação à eficiência luminosa, essas lâmpadas são piores que as incandescentes comuns.

Figura 10 - Lâmpada com filamento de carbono



Fonte: Mundial Luz (s.d.).

4.3.4 *Lâmpadas Fluorescentes*

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por pós fluorescentes que são ativados pela radiação ultravioleta da descarga. As lâmpadas fluorescentes necessitam de reator para o seu funcionamento, que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e fornece a tensão adequada para dar partida na lâmpada. Pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico, com partida rápida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência.

A Portaria do Inmetro nº 78/2021 estabelece a regulamentação técnica para reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares retilíneas, circulares e compactas.

Lâmpadas fluorescentes compactas – A lâmpada fluorescente compacta, conforme vista na Figura 11 a seguir, foi criada para substituir a lâmpada incandescente em várias aplicações. Elas estão disponíveis em várias formas e tamanhos, podendo se apresentar com o conjunto de controle incorporado ou não, e ainda com bases, tipo rosca ou pino. Suas vantagens, em relação às incandescentes, estão no fato de produzirem o mesmo fluxo luminoso com potências menores, o que gera uma economia de energia até 75% e apresentam uma vida útil mediana, além de possuírem uma boa definição de cores.

A vida mediana das lâmpadas fluorescentes compactas atinge cerca de 8.000 horas e a eficiência luminosa é maior em relação às incandescentes de 100 W, que produz 1470 lumens. Com a fluorescente compacta de 23 W, que produz 1520 lumens, tem-se uma eficiência de 15 lm/W para a incandescente e 66 lm/W para fluorescente compacta.

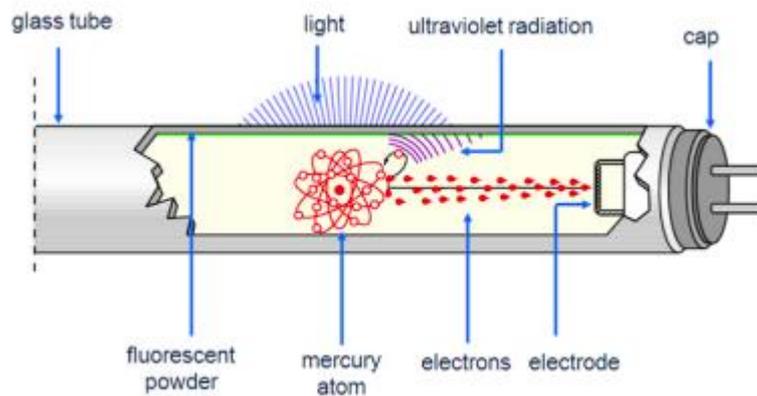
Figura 11 - Lâmpada fluorescente compacta



Fonte: Philips (2018)

Lâmpada fluorescente tubular – Conforme Figura 12, esta lâmpada possui forma do bulbo tubular longo com um filamento em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma quantidade de gás inerte que facilita a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que determinam a quantidade e a temperatura de cor da luz emitida. Estas são bastante usadas em ambientes comerciais, escolas e órgãos públicos.

Figura 12 - Lâmpada fluorescente tubular



Fonte: Bommel e Rouhana (2011)

4.3.5 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

Esse tipo de lâmpada possui basicamente um bulbo de vidro, que contém em seu interior um tubo de descarga feito de quartzo para suportar altas temperaturas. No seu interior, possuem o argônio e o mercúrio que, quando vão vaporizando, produzem o efeito luminoso. Em cada uma de suas extremidades possui um eletrodo principal de tungstênio. Junto a um dos eletrodos principais existe um eletrodo auxiliar ligado em série com um resistor de partida que se localiza na parte externa do tubo de descarga. No interior do bulbo externo, é colocado gás inerte para estabilizar a lâmpada mantendo-a em temperatura constante.

Diferentemente das lâmpadas fluorescentes (que operam em baixa pressão), nas lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, a temperatura e a pressão interna são reguladas de modo que a descarga elétrica produza diretamente a máxima emissão luminosa (ou seja, no visível).

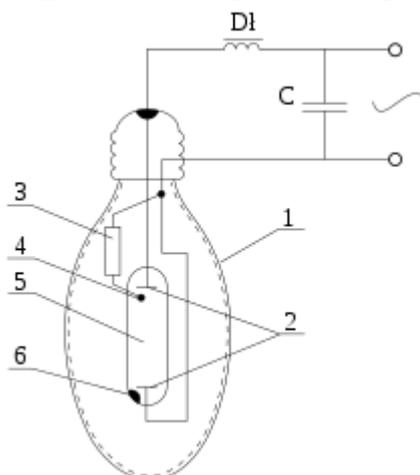
Nas lâmpadas de vapor de mercúrio, cujo diagrama pode ser visto na Figura 13, o espectro de luz produzido possui emissões na região do UV longo e na região do visível nos comprimentos de onda correspondentes ao amarelo, verde, azul e violeta. Na maioria dessas

lâmpadas, um pó fluorescente reveste a parte interna do bulbo exterior. Esse pó é usado para converter a maior parte da componente UV para o visível, predominantemente na região do vermelho, dessa forma equilibrando melhor o espectro e fornecendo uma luz com coloração branca fria.

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão é superior a 15.000 horas com 30 % de depreciação do fluxo luminoso no período. A eficiência luminosa para uma lâmpada de 400 W que produz 22.000 lumens irá apresentar um valor de 55 lm/W.

As lâmpadas de vapor de mercúrio foram muito utilizadas em iluminação pública, industrial, interna e externa, em iluminação de fachadas de prédios, jardins e devido sua baixa eficiência foram substituídas pelas lâmpadas de vapor de sódio principalmente nos estacionamentos e na iluminação pública.

Figura 13 - Diagrama da lâmpada de vapor de mercúrio



Fonte: Adaptado de Bommel e Rouhana (2011)

(1 – bulbo de vidro com pó fluorescente; 2-eletrodos principais; 3 – resistor; 4 – eletrodo auxiliar; 5- bulbo de quartzo e 6 – gota de mercúrio)

4.3.6 Lâmpadas de Vapor Metálico

As lâmpadas de vapor metálico são semelhantes às de vapor de mercúrio com exceção da presença de iodetos metálicos, pelo seu maior desempenho e pela possibilidade de variação da coloração da lâmpada em função da seleção dos iodetos metálicos presentes dentro do tubo de descarga. Essa lâmpada possui um revestimento de alumina nas extremidades do tubo de descarga, cujo objetivo é refletir o calor produzido pela descarga para os eletrodos, impedindo

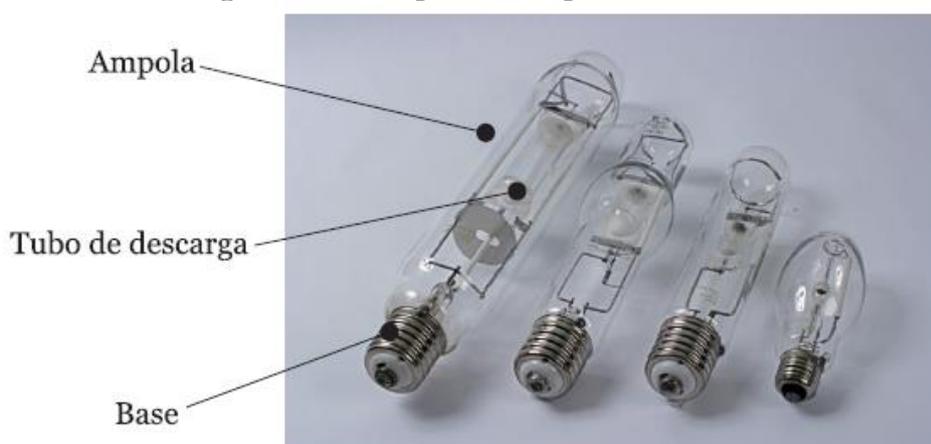
a condensação dos iodetos no interior do tubo de descarga da lâmpada.

A lâmpada de vapor metálico opera em conjunto com um reator, que irá produzir picos de alta tensão para a ignição. Existem versões que possuem eletrodo auxiliar tornando desnecessária a geração de pulsos de alta tensão, ou ainda, modelo contendo um ignitor interno do tipo starter.

A lâmpada de vapor metálico está na ordem 15.000 horas com 30% de depreciação do fluxo luminoso. A eficiência luminosa para uma lâmpada de 400 W que produz 36.000 lumens irá apresentar um valor de 90 lm/W.

As lâmpadas a vapor metálico oferecem uma reprodução de cores muito maior do que as lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio, além de melhor eficiência. Estas são aplicadas em destaque em vários lugares como nas lojas de departamentos, estádios, aeroportos, indústrias e iluminação automotiva. São capazes de acender instantaneamente.

Figura 14 - Lâmpada de vapor de metálico



Fonte: Viana *et. al.* (2012).

4.3.7 Lâmpadas a Vapor de Sódio

As lâmpadas a vapor de sódio podem ser divididas em de baixa e de alta pressão, conforme a seguir:

4.3.7.1 Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão

Essa lâmpada consta de um tubo de descarga em forma de U com eletrodo em cada extremidade e cheio de gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a partida, contendo também sódio metálico que irá vaporizar o funcionamento. O conjunto é protegido por um

invólucro de vidro tubular, no qual existe vácuo, coberto na superfície interna por óxido de índio, que funciona como refletor infravermelho, mantendo a parede do tubo de descarga na temperatura de funcionamento apropriada.

Figura 15 – Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão



Fonte: Viana *et. al.* (2012)

A descarga elétrica na partida inicia-se com o gás neônio, que provoca a produção de um pequeno fluxo luminoso de cor rosa e elevação da temperatura, que causa progressiva vaporização do sódio. Em aproximadamente 15 minutos, a lâmpada atinge sua condição normal de funcionamento.

A vida mediana dessa lâmpada é de aproximadamente 15.000 horas, com depreciação de 30 % do fluxo luminoso no período e a sua eficiência luminosa pode atingir 170 lm/W. Sua aplicação fica limitada em locais que não é necessário um alto índice de reprodução de cores, por exemplo autoestrada, portos, pátios de manobras entre outros.

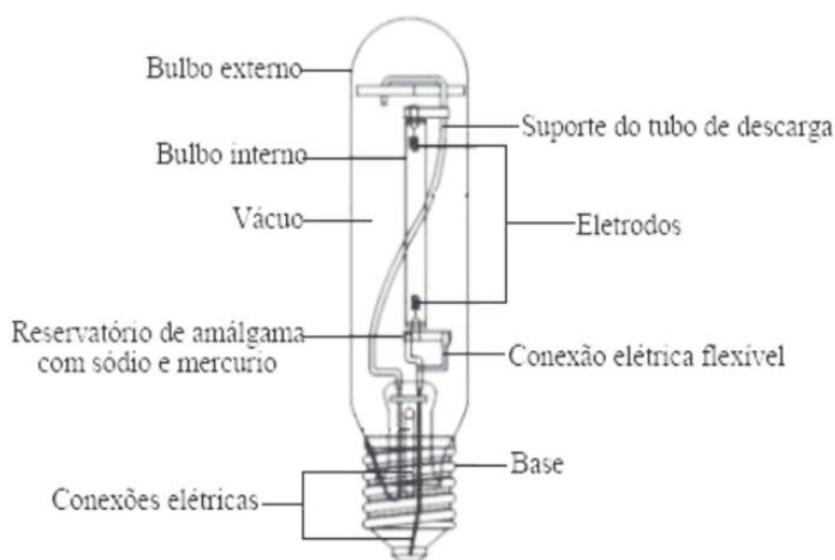
4.3.7.2 Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão

Tem formato é similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão, diferenciando-se pelo formato do tubo de descarga, que é comprido, estreito e feito de óxido de alumínio, sinterizado translúcido, com material cerâmico que suporta altas temperaturas, formato do tubo de descarga, onde é colocado o xenônio para iniciar a partida e o mercúrio para corrigir a cor e sódio em alta pressão. Possui em cada uma das extremidades um eletrodo principal feito de nióbio.

Seu funcionamento é similar ao das lâmpadas de descarga de modo genérico, pois necessita de tensões altas para partida, precisando de um ignitor. Essas lâmpadas demoram de 3 a 4 minutos para atingir o fluxo luminoso máximo. A vida mediana é superior a 24.000 horas com cerca de 25 % de depreciação do fluxo luminoso no período, considerando uma eficiência luminosa de 120 lm /W.

Por possuírem uma propriedade de cor mais agradável que as de baixa pressão, são usadas nas vias públicas, ferrovias, áreas de estacionamento e todo tipo de iluminação externa e em iluminação interna nos ambientes industriais.

Figura 16 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão



Fonte: Melchiades, F. L.; Demian A. E.; Barbosa, L. dos R. (2015)

4.3.8 Lâmpada LED

Os diodos emissores de luz (LEDs) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com o desenvolvimento tecnológico, o LED oferece vantagens tornando-se uma alternativa real na substituição das lâmpadas convencionais. Diferentemente do que ocorre com a lâmpada incandescente que abrange todo espectro de cores o LED gera apenas uma única unidade de cor que depende do tipo de material utilizado, como, por exemplo, gálio, arsênico e fósforo. Estão disponíveis comercialmente nas cores vermelho, verde, laranja, azul, amarelo e branco.

A lâmpada LED é um componente eletrônico que gera luz com baixo consumo. As lâmpadas LED necessitam de uma menor quantidade de potência para gerar o mesmo fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente, e não utiliza reator. Alguns dos benefícios que as lâmpadas LED apresentam são:

- Qualidade de luz visivelmente confortável;
- Baixa geração de calor;
- Não emite raios ultravioleta e infravermelho;

- Possibilidade de troca de lâmpada incandescente e fluorescente compacta por LED, pois as bases das lâmpadas são do mesmo tamanho;
- Grande economia em comparação com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas;
- Maior durabilidade em comparação com outras lâmpadas;
- Fácil descarte e reciclagem por não conter chumbo ou mercúrio.

Diferente das lâmpadas comuns, as lâmpadas LED não possuem filamento, o que faz com que elas durem mais por não produzirem tanto calor quanto as lâmpadas que usam estes filamentos.

Por dentro dessa lâmpada existe uma fita de LED que produz luz quando por ela é percorrido energia elétrica. Existe também um circuito eletrônico que ajusta a tensão para 12 V, que é o necessário para funcionamento da lâmpada.

A eficiência luminosa do LED tem aumentado consideravelmente, devido as melhorias no processo produtivo e avanços na tecnologia a lâmpada LED vem sendo produzida com custos cada vez menores e está sendo utilizada em iluminação interna e externa para diversas aplicações, como em ambientes residenciais, comerciais, industriais, para sinalização e orientação de degraus e escadas, letreiros, iluminação de piso, balizamento, segmento automotivo, iluminação pública, ambientes industriais, portos e outros. O LED está substituindo a maioria das lâmpadas existentes atualmente.

As lâmpadas e luminárias LED apresentam benefícios como longa durabilidade, pode se obter 80.000 horas de funcionamento, alta eficiência luminosa; variedade de cores; dimensões reduzidas; alta resistência a choques e vibrações; não gera radiação; baixo consumo de energia, pouca dissipação de calor e redução nos gastos de manutenção, permitindo a utilização em locais de difícil acesso, possibilidade de utilização com sistemas fotovoltaicos e em locais isolados.

Atualmente, existem lâmpadas LEDs que possibilitam controlar a intensidade do fluxo luminoso, bem como a possibilidade de mudar de cor. Algumas características de lâmpadas LED podem ser vistas na Figura 17.

O desenvolvimento tecnológico possibilita aos usuários de iluminação fazer um melhor uso dos recursos energéticos aplicando o conceito de eficiência energética, possibilitando a verificação da luminosidade em diferentes horários de acordo com a maior ou menor necessidade de luz., resultando um aumento de produtividade e um baixo custo de manutenção. Várias

soluções podem ser integradas ao uso eficiente da iluminação, tais como sensores de presença, sensores de luminosidade, dimerização, sistema supervisorio que permite o controle remoto entre outras.

Figura 17 - Características das lâmpadas LED em relação a outras lâmpadas

Tipo de lâmpada	Potência [W]	Fluxo luminoso [lm]	Eficiência luminosa [lm/W]	IRC	Vida mediana [h]
Incandescente	60	715	12	100	1.000
Halógena	42	730	17	100	1.000
Fluorescente compacta	12	685	57	80	10.000
LED bulbo	7	700	100	80	25.000
Fluorescente tubular	40	3.150	79	85	7.500
Fluorescente tubular	32	2.700	84	85	15.000
Fluorescente tubular	28	2.600	93	85	24.000
LED tubular	18	2.100	117	80	25.000

Fonte: Viana *et. al.* (2012)

4.4 Eficiência Energética em Iluminação

Com avanços tecnológicos, tornou-se possível observar que os sistemas de iluminação apresentam um grande potencial de melhoria, pois as luminárias, além de servirem para decoração, podem atender aos seguintes requisitos: sustentar a lâmpada, garantir a conexão elétrica, direcionar o fluxo luminoso, garantir a intensidade luminosa conforme os ambientes, além de trazer um custo-benefício e eficiência energética para os setores comerciais, industriais e público.

O fluxo luminoso deve ser adequado, direcionado evitando o fenômeno de ofuscamento, para evitar este fenômeno, podemos embutir luminária, mas essa adequação pode resultar em perda de 20% a 70% do fluxo luminoso.

É importante a manutenção periódica, visando a limpeza dos sistemas de iluminação, a poeira vai se acumulando na luminária e reduzindo a intensidade do fluxo luminoso, fazendo

com que a luz ambiente diminua. A manutenção inadequada pode representar uma perda de 20% de luz do ambiente. No Quadro 2 é mostrado um resumo das suas principais características, para melhor utilização das lâmpadas e seu rendimento.

Quadro 2 – Tipos de lâmpadas

TIPOS DE LÂMPADA	CARACTERÍSTICAS
Incandescente Comum	Excelente reprodução de cores, baixa eficiência luminosa, vida mediana de 1.000 horas, não exige equipamentos auxiliares. Foi retirada do mercado brasileiro por não atender níveis mínimos de eficiência luminosa.
Incandescente Halógena	Excelente reprodução de cores, vida mediana de 2.000 horas, eficiência luminosa maior que as incandescentes comum, vários tamanhos, inclusive com refletores.
Fluorescente Tubular	Moderada reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 7.500 a 20.000 horas, exige equipamentos auxiliares reator e starter (partida convencional)
Fluorescente Compacta	Boa reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 6.000 a 9.000 horas, exige equipamentos auxiliares reator, possui o mesmo bocal da lâmpada incandescente.
Vapor de Mercúrio	Moderada reprodução de cores, moderada eficiência luminosa, vida mediana de 12.000 a 24.000 horas, exige equipamentos auxiliares reator.
Vapor de Metálico	Boa reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 9.000 a 18.000 horas, exige equipamentos auxiliares reator.
Vapor de Sódio	Baixa reprodução de cores, alta eficiência luminosa, vida mediana de 18.000 a 32.000 horas, exige equipamentos auxiliares reator e ignitor.
LED	Boa reprodução de cores, alta eficiência luminosa, vida mediana de 25.000 a 80.000 horas, pode ser utilizada em ambientes externos e internos, algumas lâmpadas permitem controlar a intensidade e fluxo luminoso.

Fonte: Fonte: Viana *et. al.* (2012)

Uma das soluções mais práticas na busca da eficiência energética é a modernização do parque de iluminação pública. A troca de lâmpadas por LED é a principal estratégia das empresas na luta contra o desperdício, lembrando que o direcionamento do fluxo luminoso e a manutenção periódica são ferramentas importantes para aumento do custo-benefício desta troca das lâmpadas nos diversos ambientes.

Segundo levantamento cadastral realizado pelo PROCEL em 2008 e em junto às distribuidoras de energia elétrica, havia aproximadamente 14,7 milhões de pontos de iluminação pública instalados no país, onde 63% era constituído de lâmpadas a vapor de sódio,

conforme apresentado na Tabela 6 e na Tabela 7.

Tabela 6 - Quantidade de Lâmpadas de IP instaladas no Brasil por tipo em 2008

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE	%
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84
Mista	328.427	2,22
Incandescente	210.417	1,42
Fluorescente	119.535	0,81
Multi Vapor Metálico	108.173	0,73
Outras	5.134	0,03
Total	14.769.309	100,00

Fonte: PROCEL (2008).

Tabela 7 - Quantidade de lâmpadas de IP instaladas no Brasil por tipo em 2018 sem considerar o estado do Ceará*

Tipo de Lâmpada	Quantidade	%
Vapor de Sódio	11.375.041	70,51
Vapor de Mercúrio	1.715.169	10,63
Multi Vapor Metálico	871.076	5,40
LED	529.001	3,28
Mista	366.157	2,27
Fluorescente	309.297	1,92
Fluorescente Industrial Magnética	182.646	1,13
Incandescente	51.512	0,32
Halógena	11.708	0,07
Outras	721.488	4,47
Total	16.133.095	100,00

*A pesquisa do autor não levantou ou encontrou dados do estado do Ceará.

Fonte: Kirchner (2019).

4.5 Iluminação Pública

A iluminação pública é um serviço sob a responsabilidade da prefeitura municipal com objetivo de promover a iluminação artificial aos logradouros públicos, no período noturno,

contribuindo com segurança e qualidade de vida da população. A administração municipal é responsável pelo projeto e implantação, expansão, operação e manutenção da iluminação, além da modernização para implantação de sistemas mais eficientes obedecendo as normas da distribuidora de energia elétrica local.

A governança do sistema de Iluminação Pública (IP) é de responsabilidade dos municípios, conforme estabelece o inciso V do artigo 30 da Constituição de Federal de 1988 que diz ser competência dos municípios “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial”. Este serviço é remunerado conforme estabelece o Art. 149-A da Constituição Federal, com base na Emenda Constitucional nº 39, de 2002, onde cita que a “Contribuição para o Custeio do serviço de Iluminação Pública (CIP) é um tributo de competência municipal”, devendo ser instituída por lei municipal.

Os sistemas de iluminação pública devem ser compatíveis com a arborização das cidades e tipos de vias, de forma que a iluminância média mínima e a segurança não sejam prejudicadas, bem como a preservação do meio ambiente.

O tempo de funcionamento do sistema é estabelecido pela ANEEL 2590/2019 que homologa os tempos a serem considerados para consumo diário, para fins de faturamento da energia elétrica destinada a iluminação pública para cada município brasileiro.

Observou-se a redução do consumo no setor de saneamento em algumas regiões do país no final de 2014, devido à crise hídrica. No entanto, o setor de iluminação pública manteve seu crescimento de energia. Para exemplificar este crescimento, a seguir, na Tabela 8, apresenta-se a demanda de eletricidade no setor de iluminação pública e, de 2009 a 2018, observa-se um aumento de 35%, chegando a representar, em 2018, 3% do consumo da energia elétrica do país. Os dados do consumo do Brasil foram extraídos do BEN 2019 (EPE, 2019) e os dados do consumo de iluminação pública foram obtidos no site da ANEEL, que disponibiliza os relatórios de consumo e receita de distribuição.

Segundo a publicação “Iluminando Cidades Brasileiras” (WORLD BANK GROUP, 2016), “estima-se que o mercado de iluminação pública no Brasil tenha mais de 18 milhões de pontos de IP, com uma penetração de 95,5% no entorno dos domicílios. O parque luminotécnico instalado é composto predominantemente de lâmpadas a vapor de sódio e lâmpadas a vapor de mercúrio, com baixa penetração do LEDs. Em 2015, esse parque foi responsável por 4,35% do consumo de energia elétrica do país (14,3 TWh), resultando em R\$ 3,5 bilhões destinados ao pagamento desta despesa (excluindo tributos).”

Tabela 8 - Consumo total de eletricidade do Brasil e Iluminação Pública

Ano	Consumo Energia Elétrica (GWh)		IP/Brasil (%)
	Total Brasil	IP	
2009	426.029	11.808	2,77
2010	464.699	12.119	2,61
2011	480.968	12.675	2,64
2012	498.386	13.031	2,61
2013	516.174	13.621	2,64
2014	532.559	14.177	2,66
2015	524.749	14.875	2,83
2016	521.376	15.181	2,91
2017	528.063	15.604	2,95
2018	535.403	16.011	2,99

Fontes: EPE (2019) e site da ANEEL.

Na realidade, este percentual de 4,35% é obtido quando se compara o consumo da iluminação pública com o consumo Brasil que a ANEEL obtém considerando, basicamente, dados do mercado cativo disponibilizado pelas empresas distribuidoras, conforme apresentado na Tabela 9, extraída também dos relatórios de consumo e receita de distribuição.

Tabela 9 - Consumo parcial de eletricidade do Brasil e Iluminação Pública

Ano	Consumo de Energia Elétrica (MWh)		Relação (%)
	Iluminação Pública (IP)	Total Brasil (TB)	
2018	16.011.307,15	312.704.882,40	5,12
2017	15.603.554,84	313.654.178,28	4,97
2016	15.181.219,02	330.115.720,32	4,60
2015	14.874.544,52	341.983.793,24	4,35
2014	14.177.361,51	345.379.214,99	4,10
2013	13.621.935,59	329.187.691,09	4,14
2012	13.031.677,39	319.871.828,10	4,07
2011	12.675.439,29	310.397.201,59	4,08
2010	12.119.229,90	302.355.009,08	4,01
2009	11.808.057,11	286.871.823,69	4,12

Fonte: ANEEL (2019)

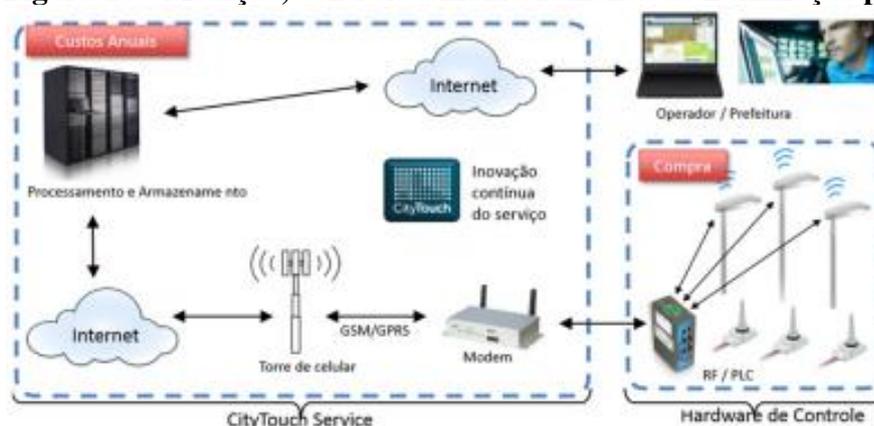
Visando um melhor aproveitamento da energia, muitas cidades estão se mobilizando para substituição das lâmpadas por LED, buscando uma melhora no índice de reprodução de cores, aumento da eficiência luminosa e redução de custos de operação e manutenção. São diversos os tipos de lâmpadas instaladas que poderão ser substituídas gerando custo-benefício e qualidade para o setor.

O sistema de iluminação pública deve passar por manutenção periódica, realizada por equipe especializada seja ao final da vida útil ou para reparo nos componentes. Para um melhor acompanhamento da gestão a prefeitura deve manter um canal de comunicação com a população, para que os próprios usuários possam solicitar a manutenção quando for identificado algum ponto de iluminação deficiente.

A telegestão da iluminação pública consiste em um gerenciamento remoto dos pontos de iluminação, permitindo o acompanhamento em tempo real dos parâmetros de funcionamento. Seu funcionamento requer uma rede de comunicação entre sensores instalados nas luminárias e um programa de gestão que realiza a análise e armazenamento dos dados. Em esquema pode ser visto na Figura 18. Entre os benefícios da telegestão estão:

- Possibilidade de ligar/desligar remotamente em horários pré-definidos;
- Diminuir a intensidade luminosa;
- Monitoramento de grandezas elétricas, tempo de funcionamento e controle de consumo;
- Identificação de falhas. Onde pode se verificar lâmpadas desligadas no período noturno ou ligadas durante o dia;
- Indicadores de qualidade do serviço como por exemplo, tempo médio de atendimento das solicitações, percentual de lâmpadas que não estão funcionando;
- Otimização da logística da equipe de manutenção.

Figura 18 - Medição, controle e monitoramento da iluminação pública



Fonte: Philips (2014)

Em se tratando da iluminação pública, pode-se mostrar importantes ganhos no setor público considerado a substituição de lâmpadas por LED. Com o tempo médio de funcionamento das luminárias de 11 horas e 27 minutos (valor segundo as Resoluções REN ANEEL 854/2019 e REH 2.590/2019) possibilitando calcular o consumo de energia da iluminação pública para os 88% dos municípios brasileiros contemplados no estudo de Kirchner (2019). A partir desses resultados, foi feito um exercício para estimar o potencial de economia de energia para a modernização do parque a partir da substituição das luminárias de vapor de sódio e vapor de mercúrio por luminárias do tipo LED. Adotou-se essas duas tecnologias para substituição, pois elas representam cerca de 82% do parque de IP e são as luminárias aplicadas para iluminação de vias públicas.

Algumas outras luminárias geralmente estão associadas a iluminação de grandes áreas (estádios, parques, monumentos etc.) e muitas vezes a tecnologia é selecionada pensando em outras características como, por exemplo, na capacidade de reprodução de cores. Para a estimativa de redução de consumo, adotou-se um potencial de economia de energia de 50%, segundo dados do relatório Iluminando Cidades Brasileiras (WORLD BANK, 2016).

Considerando as premissas descritas, estimou-se um potencial de economia anual de energia elétrica de 4.250 GWh, que representa cerca de 41% do consumo anual do parque de IP apresentado.

Destaque-se que esse valor pode ser ainda maior, considerando que cerca de 12% dos municípios brasileiros não foram considerados nesse estudo por falta de dados, o que pode ser verificado em detalhes no estudo de Kirchner (2019).

Nos quadros seguir, são apresentados resumos para o potencial de economia de energia para em caso de troca de luminárias do tipo de vapor de sódio e de vapor de mercúrio por LED, no Quadro 3 para os estados e para as 20 cidades com os maiores potenciais de economia, no Quadro 4.

Quadro 3 - Potencial de economia anual de energia por estado com utilização de luminárias LED

Unidade da Federação	Potencial de Economia de Energia	
	GWh/ano	%
DF	183,96	42%
GO	284,19	45%
MT	29,57	30%
MS	48,73	47%
AL	88,72	38%
BA	356,83	41%
MA	136,28	36%
PB	73,35	32%
PE	107,63	27%
RN	61,86	45%
SE	100,24	44%
AC	15,97	40%
PA	126,63	27%
RO	7,46	25%
RR	14,19	48%
TO	1,28	1%
ES	2,56	1%
MG	666,26	49%
RJ	295,36	38%
SP	992,77	44%
PR	299,57	46%
RS	314,21	47%
SC	41,98	40%
AM	-	-
PI	-	-
CE	-	-
Brasil	4.249,61	41%

Fonte: Elaborado com base em Kirchner (2019).

Quadro 4 - Potencial de economia anual de energia das 20 cidades de maior potencial com utilização de luminárias LED

Cidade	Potencial de Economia de Energia	
	kWh/ano	%
Brasília – DF	183,96	42%
São Paulo – SP	179,97	45%
Rio de Janeiro – RJ	129,48	30%
Goiânia – GO	61,01	47%
Belo Horizonte – MG	48,58	38%
Curitiba – PR	42,96	41%
Campinas – SP	33,54	36%
Maceió – AL	30,54	32%
Uberlândia – MG	29,21	27%
São Luís – MA	27,09	45%
Ribeirão Preto – SP	25,06	44%
Sorocaba – SP	22,56	40%
São José do Rio Preto – SP	20,51	27%
Recife – PE	20,42	25%
Jundiaí – SP	18,17	48%
Juiz de Fora – MG	17,44	1%
Campo Grande – MS	17,13	1%
Aracaju – SE	16,80	49%
Piracicaba – SP	16,76	38%
Jaboatão dos Guararapes – SP	16,23	44%
Total	957,42	46%

Fonte: Elaborado com base em Kirchner (2019).

4.6 Iluminação no ambiente industrial

Com os avanços tecnológicos, pensar e projetar a iluminação de uma casa, apartamento ou escritório pode ser mais fácil do que os casos de iluminação industrial. As características do ambiente e a especialidade que esse setor se encontra podem variar consideravelmente.

No entanto, além do custo-benefício, na diminuição dos gastos com iluminação, outros

fatores são importantes, pois uma boa iluminação contribui não só para evitar acidentes de trabalho, mas também para aumentar a produtividade de colaboradores.

Na busca por um consumo de energia elétrica mais sustentável e econômico, muitas áreas industriais estão se preocupando com a substituição de lâmpadas convencionais por LED, contribuindo, assim, para a diminuição de acidentes, sustentabilidade, diminuição dos gastos com iluminação, aumento da produtividade e uma diminuição de horas gastas com manutenção, haja vista as vantagens que a implantação de lâmpadas LED proporciona.

Para um projeto na área industrial, consideram-se alguns pontos relevantes:

- Ter um projeto elétrico adequado e funcional;
- Avaliar as necessidades de cada ambiente;
- Optar por lâmpadas LED em caso de iluminação de emergência;
- Avaliar a durabilidade e eficiência dos materiais a serem utilizados, pois alguns ambientes são áreas classificadas (áreas com risco de explosão ou incêndio);
- Se atentar às normas e buscar uma maior economia com eficiência.

Na iluminação industrial LED, o atendimento das normas vigentes é muito importante. Cada indústria apresenta características e desafios diferentes. Dessa forma, para a projeção industrial, é preciso considerar que as indústrias possuem necessidades que variam conforme as operações que executam e campo de atuação.

As indústrias possuem peculiaridades próprias, sendo que algumas podem possuir máquinas pesadas que afetam a rede de energia, e outras podem ser severas em temperatura, umidade, vibração, poeira e diversos tipos de elementos. Por isso, além de um bom sistema de iluminação e consumo de energia, as empresas precisam tomar atitudes para proteger seus equipamentos de iluminação que operam ambientes muitas vezes hostis, seja em uma linha de montagem, em operações de mineração, em uma usina nuclear ou em um porto, por exemplo.

O próximo capítulo descreve a implantação de um projeto de substituição das lâmpadas por LED em um porto brasileiro, onde observa-se um ambiente hostil de difícil manutenção. Será evidenciado que, com a substituição das lâmpadas por LED, foi possível verificar um ganho na economia de energia elétrica, diminuição nos custos de manutenção, além de reduzir as possibilidades de acidentes em áreas de túneis.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Introdução

A retomada do planejamento do setor de energia ensejou a elaboração do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), que procura incorporar a Eficiência Energética (EE) em seus estudos e menciona a elaboração do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

A busca pela Eficiência Energética não se dá de forma homogênea pelo mundo. Vários fatores contribuem para isso, desde os culturais, os econômicos, até mesmo os que são parte integrante de uma estratégia de mercado. O fato é que o assunto é abordado de formas distintas entre os países.

A Eficiência significa fazer mais com menos, mantendo o conforto e a qualidade. Quando se discute energia, eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço com menos energia.

Sob este prisma, o Plano Nacional de Eficiência Energética do Brasil procura enxergar o que o país tem de melhor, com o objetivo de intensificar o foco e reduzir custos de inovação. Em suma, melhor do que implementar programas de eficiência, é fazê-lo de forma eficiente.

É possível contribuir para um uso mais eficiente da energia, buscando equipamentos mais eficientes, ou seja, aqueles que usam menos recursos para proporcionar a mesma quantidade de energia útil.

Ao substituir uma lâmpada incandescente por uma lâmpada de LED (que utiliza componentes eletrônicos para produzir luz), por exemplo, promover uma ação de eficiência energética, pois as lâmpadas de LED consomem até 90% menos que as incandescentes. Desta forma, foi tomada a decisão de melhorar a qualidade de energia e reduzir os valores gastos no sistema de iluminação do porto, aqui designado por Alfa e apresentado na Figura 19 e o layout da área do projeto apresentado na Figura 20. Com isso, além do ganho energético busca-se reduzir custos com a manutenção, além da minimização inclusive de riscos de segurança dentro da planta, visto que alguns lugares são de difícil acesso para a manutenção e a falta de iluminação em algumas áreas pode acarretar riscos para a saúde dos profissionais além do fato de escolher um equipamento mais eficiente.

Tendo em vista um cenário hostil com muitos problemas, a substituição de uma lâmpada incandescente, acarreta muitas horas de trabalho devido as dificuldades de acesso. Desta forma, neste projeto de substituição das lâmpadas por LED, considerou-se o ganho energético e principalmente a segurança dos profissionais, devido ao fato de que a vida útil da lâmpada LED

é maior quando comparada com as lâmpadas incandescentes.

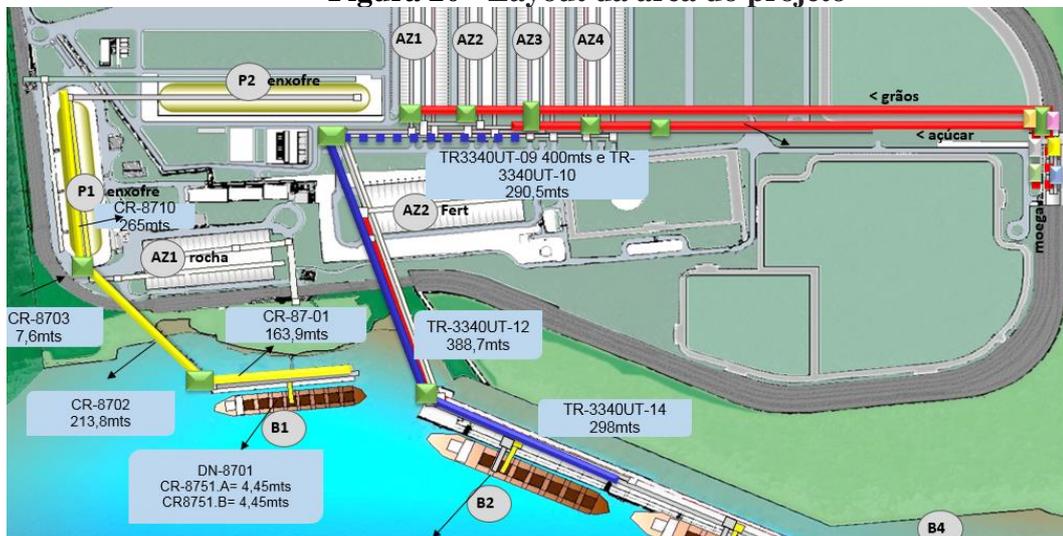
Em resumo, com a diminuição do valor da fatura de energia elétrica do sistema de iluminação nos próximos meses somado a diminuição dos riscos de manutenção, trazendo um maior e melhor desempenho energético, podendo viabilizar o investimento dessa ação de eficiência energética.

Figura 19 – Porto Alfa



Fonte: Vista aérea retirada do Google Maps.

Figura 20 - Layout da área do projeto



Fonte: Arquivo interno.

5.1.1 Projeto, Premissas e Restrições

Para a implementação do projeto foram consideradas as seguintes premissas:

Escopo do Projeto:

Substituição de lâmpadas existentes para lâmpadas LED nas luminárias existentes. Para a substituição das lâmpadas deve-se retirar reator, ignitor, capacitores e demais componentes que não sejam necessários para o funcionamento da luminária LED. As luminárias são substituídas conforme áreas determinadas no escopo do projeto contratado.

Justificativa:

1. *Retrofit* de iluminação com redução de consumo, gerando ganho de energia com a eficiência energética;
2. Troca de iluminação não eficiente por outra mais eficiente, dependendo das áreas escolhidas para a substituição de luminárias herméticas fechadas IP67 e troca de lâmpadas para LED gerando redução total de aproximadamente 25% da potência do sistema com redução de custo de manutenção e redução de riscos;
3. Ganho aproximado de 9% do custo de energia da Unidade Consumidora (UC);
4. Maior segurança das vias de acesso com iluminação adequada, eliminando riscos.

Premissas:

1. Escopo definido entre as partes interessadas;
2. Orçamento reduzido e sem possibilidade de desvio;
3. Processos bem definidos em contratações de serviços e materiais;
4. Projeto exige excelência em comunicação entre as partes interessadas para o melhor atendimento das áreas, e interfaces com áreas em operação e obedecendo cronogramas de viabilidade de manutenção nos armazéns e áreas de produção contínua.

Impactos da não Execução:

1. Maior probabilidade de aumento de consumo de energia;
2. Prejuízo de material com quebra de equipamentos(abalroamentos), por falta de

iluminação adequada

3. Maiores custos de manutenção e aumento de riscos operacionais.

Restrições:

1. O projeto deve estar em conformidade com as Normas Técnicas;
2. O projeto deve ter escopo e orçamento adequado para implementação;
3. O projeto tem pontos de atenção na execução das áreas definidas no escopo de contratação (Exemplo: Armazéns), devido ao fluxo ininterrupto de produção.

5.2 Tipos de Portos

O Sistema Portuário no Brasil segue as diretrizes do Governo Federal e conta aproximadamente com 235 instalações, incluindo portos públicos e privados, sendo 37 portos marítimos e 39 fluviais públicos, ou seja trata-se de uma estrutura robusta e que permite movimentações estratégicas, podendo os mesmos serem multimodais, quando possuem mais de um tipo de operação logística, no nosso caso o porto do qual definimos para a implantação do Projeto de Eficiência Energética com o *retrofit* de iluminação, possui os três modais: rodoviário, ferroviário e logístico.

A classificação dos portos brasileiros é determinada pelo Ministério da Infraestrutura, por meio do seu Sistema Portuário. Podemos classificar os portos quanto a localização, infraestrutura, função, conforme descrição a seguir e seu resumo de classificação pode ser visto na Figura 21:

- Localização: Podem ser marítimos, fluviais, estuários e lacustres, sendo o porto seco, que se refere a regiões ligadas por estradas, rodovias, vias férreas ou aéreas, sendo:

- **Portos marítimos:** são aqueles aptos a receber linhas de navegação oceânicas, tanto em navegação de longo curso (internacionais) como em navegação de cabotagem (domésticas), independente da sua localização geográfica;

- **Portos fluviais:** são aqueles que recebem linhas de navegação oriundas e destinadas a outros portos dentro da mesma região hidrográfica, ou com comunicação por águas interiores;

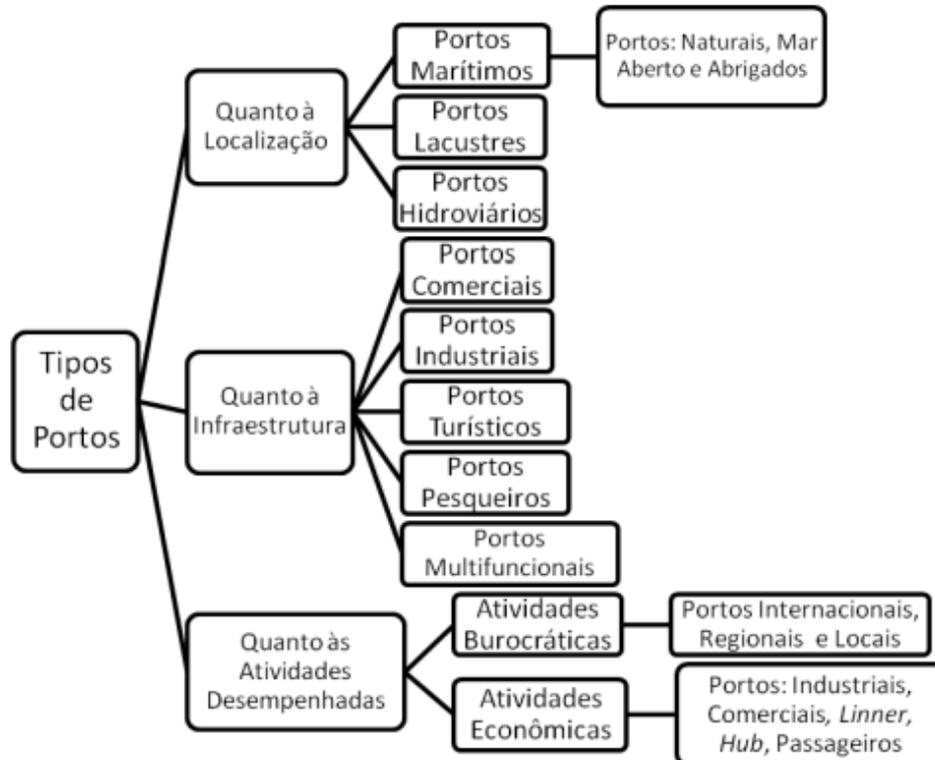
- **Portos lacustres:** são aqueles que recebem embarcações de linhas dentro de lagos, em reservatórios restritos, sem comunicação com outras bacias.

- Infraestrutura: é definida com base no objetivo e estrutura do carregamento,

podem ser: Portos Comerciais, Portos Industriais, Portos Turísticos, Portos Pesqueiros e Portos Multifuncionais.

- Função: São portos que designam função de cuidar da parte burocrática: Portos Internacionais, Portos Regionais e Portos Locais.

Figura 21 – Diagrama com o Resumo dos Tipos de Portos



Fonte: DEGRASSI, S. (2001) – Adaptado pela autora

5.3 Definição do Empreendimento

Para definição do projeto de eficiência energética, foi realizado ao longo de aproximadamente estudos técnicos onde algumas premissas consideradas serão abordadas na sequência. Mediante a necessidade de ações pra redução de custos no Porto, identificou-se a importância do estudo de eficiência energética.

5.3.1 Análises de Consumo de Energia

Após análise das contas de energia de maio de 2018 a julho de 2020, obteve-se um histórico de energia consumida onde verificou-se uma variação de aproximadamente 12% no consumo no horário de ponta, com uma demanda contratada de 8 MW e uma variação de

demanda registrada de 4,76 MW a 7,76 MW, que, comparada à produção, houve uma variação aproximada de 65%, em torno de 1,98 kWh/ton a 3,21 kWh/ton, justificando o controle de energia durante momentos de baixa produção e motivando estudos e análises para implementação do projeto de eficiência.

5.3.2 Análises De Consumo De Energia Reativa

Em relação à análise de energia reativa observada no mesmo período de maio de 2018 a julho de 2020, há um desperdício de energia mensal de aproximadamente R\$ 16.000,00, que, ao considerar todo o período, gira em torno de R\$ 400.000,00.

Para a planta temos uma SE (Subestação) principal que possui dois barramentos que alimentam as SE's secundárias, sendo que os dois barramentos das SE's principais possuem filtro de harmônica com correção do fator de potência. Os cubículos de entrada de cada barramento possuem medidores de energia e filtros de harmônicas em modo manual. Totalizando 17 SE's secundárias com medidores inclusos.

Considerando os aspectos luminotécnicos e da qualidade da energia de lâmpadas com tecnologia LED, fluorescente e vapor de mercúrio, verifica-se que a lâmpada de vapor sódio causa um maior impacto na rede, sendo que quando utilizado lâmpadas Led, obtemos um desempenho muito melhor quando comparado aos refletores contendo lâmpadas à vapor de mercúrio, na mesma finalidade. As lâmpadas a Led apresentam grande benefício quanto ao fator de potência e eficiência energética causando menor perda nas linhas de alimentação.

As distorções harmônicas causadas pelas lâmpadas sejam elas; vapor de sódio ou led, fazem com que ocorra várias perturbações na rede elétrica e causar interferências aos equipamentos que estão ligados a essa rede, como: Computadores, transformadores, PLCs, motores, e outros sistemas, que podem sofrer sobreaquecimento, falhas no processamento, que levam os sistemas eletrônicos operarem de forma errônea, no entanto durante a instalação verificamos que estas interferências não ocorreram.

No trabalho realizado no Porto foi constatado redução nas multas de energia por fator de potência, falhas de parada no PLC, como também redução das falhas de lâmpadas que antes eram recorrentes, além do fato de não terem sido verificadas interferências nos demais sistemas.

5.3.3 Diagnóstico Energético no Sistema de Iluminação

Um levantamento por tipo de luminária instalada e a potência total no sistema de

iluminação foram realizados conforme Tabela 10 a seguir no item 5.5 mostrando a situação atual no qual a possibilidade de uma economia anual de R\$ 667.258,56 foi identificada, com a substituição das lâmpadas por LED.

Para implementação desta ação, inicialmente foram convidadas algumas empresas para orçarem a execução do serviço com material aplicado e neste momento, algumas dificuldades foram encontradas, visto que o custo de um contrato de desempenho é muito maior do que estava sendo considerado no orçamento para a execução do *retrofit* de iluminação.

O orçamento para execução com materiais era de aproximadamente R\$ 840.000,00 e as propostas obtidas foram na ordem de 4 (quatro) vezes maior que este valor em média. Considerando as propostas recebidas, o cenário mostrado na Figura 22 e na Figura 23 mostra a inviabilidade do projeto de *retrofit* do sistema de iluminação do porto mencionado.

Figura 22 - Projeto *turn-key* de *retrofit* do sistema de iluminação 100% LED

Modalidade	Prazo contrato
Venda parcelada + Serviços	6 anos
Aporte do Cliente	Aporte do Cliente
R\$2.270.320,00 (50% do CAPEX)	R\$2.270.320,00 (50% do CAPEX)

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 23 – Considerações Econômicas do Projeto *turn-key* de *retrofit* do sistema de iluminação 100% LED

Economia Atual	Economia Atual
R\$626.164,00 9% do custo de energia da UC	2,05 GWh 47% do sistema de iluminação
Anuidade CAPEX	Anuidade Serviços
R\$498.994,00	R\$187.957,00

* Tarifa de energia ponderada de 327,5 MWh

Fonte: Elaborada pela autora.

Tendo em vista este cenário que desmotivou a implementação do projeto, pois as propostas apresentaram valores muito acima da realidade do atual momento, decidiu-se implementar o projeto com recursos próprios contratando uma empresa de manutenção elétrica para apoio e utilizando a equipe técnica do porto para implementação do projeto, que, conforme apresentado a seguir, custou aproximadamente R\$ 660.000,00, abaixo do valor orçado aprovado para execução que na ocasião era aproximadamente R\$ 840.000,00.

Importante analisar as propostas comerciais dos contratos de desempenho pois os mesmos podem inviabilizar ações de eficiência energética tanto no setor público, quanto no setor privado visto que a amortização para o nosso caso com recursos próprios foi em menos de um ano enquanto o contrato estimava 6 (seis) anos com uma diferença de valor na ordem de 4 (quatro) a 5 (cinco) vezes maior que o custo com recursos próprios.

5.4 Barreiras Operacionais

Várias foram as barreiras operacionais encontradas para implementação do projeto de ação da eficiência energética, tendo em vista um ambiente hostil, não muito amigável e com poucos intervalos para manutenção devido a operação constante de carregamento e descarregamento de materiais tais como (soja, milho, açúcar, pó de rocha, farelo e fertilizantes entre outros produtos).

As atividades no porto ocorrem no período de 24 horas, sendo necessário um planejamento para aproveitamento dos intervalos operacionais entre o descarregamento de um navio e carregamento de outro. É possível conseguir intervalos de aproximadamente de 3 a 4 horas até o momento de término de carregamento e atracagem de um novo navio, outro intervalo que podemos considerar com ajuda do tempo, pois dependendo do produto, é preciso de estiagem, podendo utilizar os momentos de chuva para esta substituição.

Outra barreira a ser considerada é que em ambientes de túneis, galpões, áreas subterrâneas existem alguns animais como roedores, insetos e dependendo do produto, inclusive abelhas.

A infestação de animais e insetos na área portuária oferece risco ao aparecimento de enfermidades diversas entre trabalhadores portuários e usuários do Porto. Buscando a prevenção de doenças e a manutenção da boa saúde dos trabalhadores portuários e visando ao atendimento de legislações específicas torna-se necessária a implantação de programas de controle e monitoramento da Fauna Sinantrópica Nociva (FSN).

Entende-se por FSN aquela composta por espécies de animais que interagem de forma

negativa com a população humana, causando-lhe riscos à saúde pública e transtornos significativos de ordem econômica ou ambiental. Sendo assim, o controle destas espécies tem como finalidade manter as instalações portuárias livres de quaisquer animais potencialmente transmissores de doenças. São exemplos de FSN: roedores, pombos, mosquitos, moscas, baratas, cães, gatos, entre outros.

Com a substituição das lâmpadas LED que possuem maior vida útil e consequente diminuição do tempo de manutenção, leva um menor tempo de exposição do trabalhador nestas áreas.

Algumas galerias subterrâneas são muito úmidas, inclusive com alagamentos em períodos chuvosos dificultando assim o acesso para manutenção e com a implementação eficiente de iluminação estas áreas de difícil acesso poderá ser monitoradas de forma eficiente diminuindo gastos com manutenção.

Não se pode deixar de explicar sobre as áreas classificadas onde todos os materiais empregados para manutenção devem estar de acordo com as normas técnicas atendendo os requisitos destas áreas. Pois, antes de instalar equipamentos elétricos em áreas classificadas, a empresa precisa conhecer quais são essas áreas da planta. Somente através de projetos de classificação de áreas realizados por empresas idôneas, e manutenções periódicas nos sistemas elétricos a empresa vai reduzir os riscos e minimizar prejuízos físicos e financeiros. Área classificada é um local sujeito a probabilidade de formação de atmosfera explosiva, justamente por conter substâncias consideradas como “explosivas”, como gases/líquidos inflamáveis e poeiras/fibras combustíveis entre outros.

Uma vez que a combinação entre oxigênio, substância inflamável e faísca podem causar sérios danos materiais e físicos, é importante fazer a análise correta da área classificada, da extensão e do grau de risco da atmosfera explosiva.

Todas essas informações alertarão os responsáveis na hora de definir toda a infraestrutura, o tipo de maquinário e a instalação, utilização e especificação dos equipamentos elétricos mais adequados para a realização das atividades. Esses cuidados garantirão um ambiente de trabalho mais seguro. Vale lembrar que os profissionais que trabalham em áreas classificadas precisam de documentação que comprove a qualificação, habilitação, capacitação e autorização para realização das atividades. Essa determinação consta nas normas regulamentadoras NR-20, que trata da segurança e saúde do trabalho com inflamáveis e combustíveis e NR-10 sobre instalações e serviços em eletricidade. A seguir, a Figura 24 mostra um descritivo com as áreas componentes de um porto, a Figura 25 mostra uma área que pode ser classificada com suspensão de pó, a Figura 26 mostra uma galeria alagada e, por último, a

Figura 27 mostra um trabalhador com as vestimentas de Equipamentos de Proteção Individual – EPI’s – utilizadas nas galerias de um porto.

Figura 24 - Descritivo das Áreas do Porto Alfa

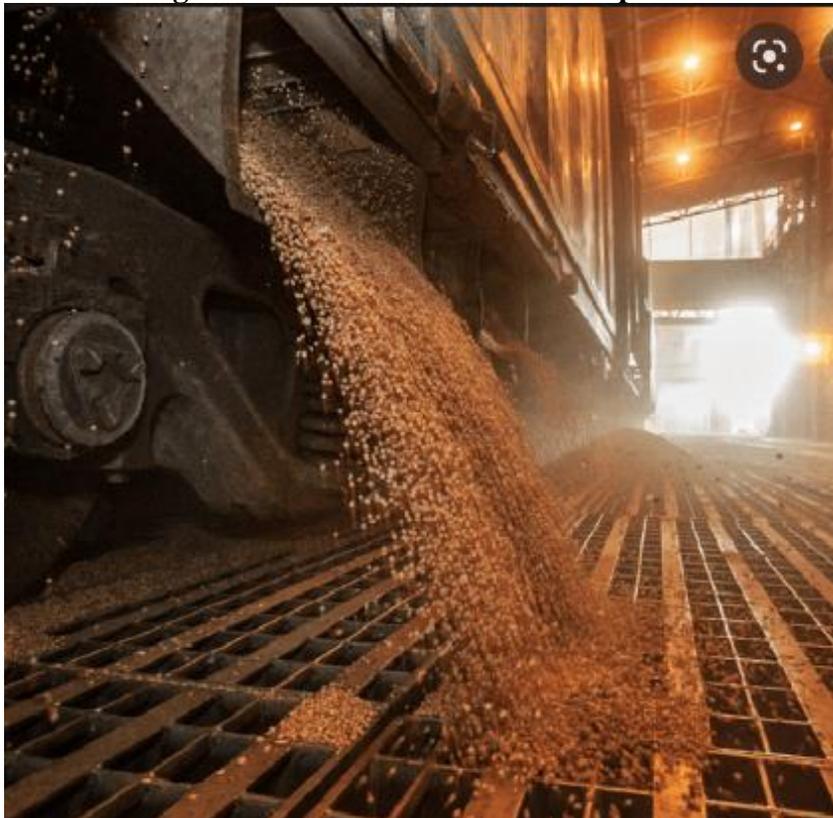


Legenda:

1. Pera ferroviária
2. Moega
3. Cinco armazéns para grãos e açúcar
4. Dois pátios de enxofre
5. Dois armazéns para fertilizantes
6. Tanque
7. Quatro berços de atração de navios

Fonte: Logweb (2020)

Figura 25 - Área classificada – Suspensão de Pó



Fonte: O Presente Rural (2020)

Figura 26 - Área Alagada – Bombeamento de água para fora da galeria



Fonte: Foto tirada pela autora.

Figura 27 - EPIs – Vestimentas Utilizadas nas Galerias



Fonte: Foto tirada pela autora.

5.5 Estudo de Caso

Com intuito de redução de custos para uma empresa Alfa, localizada em um porto brasileiro, várias iniciativas foram priorizadas entre elas o projeto que consistia na substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED, que além do ganho de redução de energia elétrica, considerava a redução da manutenção, minimizar riscos de acidente, sustentabilidade e eficiência energética.

Primeiramente foi realizado um estudo, onde a situação existente foi analisada, como local a ser considerado, tipo de lâmpada, potência das lâmpadas instaladas e consumo de energia mês, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Potência e Consumo de Lâmpadas antigas

Tipo	Quantidade	Potência total (kW)	Consumo energia (kWh/mês)
Fluorescente	2130	140,39	101.088,0
Vapor de Sódio	782	237,56	171.043,2
Luminária V. Sódio	209	35,21	25.351,2
Refletor V. Sódio	695	114,41	82.375,2
TOTAL:	3816	527,57	379.857,60

Fonte: Elaborado pela autora.

Com o levantamento realizado concluiu-se que, por se tratar de um sistema já existente, era preciso manter o mesmo nível de luminosidade e em alguns casos em que havia reclamações de iluminação deficiente era necessário atuar para melhorar a qualidade do local. Desta forma, um estudo foi feito para identificar qual o melhor tipo de lâmpada e potência que deveria ser instalada para que área e/ou equipamento mantivesse uma melhor qualidade de iluminação. A Tabela 11 mostra a proposta de iluminação a ser implementada.

Tabela 11 – Potência e Consumo de Lâmpadas mais eficientes

Tipo	Quantidade	Potência total (kW)	Consumo energia (kWh/mês)
LED	1663	188,87	135986,4
REFLETOR	23	4,60	3.312,00
LED tubular 18W	2130	76,69	55.209,60
TOTAL:	3816	270,16	194.508,00

Fonte: Elaborado pela autora.

A implantação do projeto durou aproximadamente 3 (três) meses, onde foram substituídas 3.800 lâmpadas, obtendo-se uma redução de potência total de 257 kW, ou seja, de 527 kW para 270 kW conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Economia de energia pela troca das lâmpadas

RESULTADOS				
Equipamento	Tipo	Economia energia (kWh/mês)	Saving anual (R\$/anual)	% Economia
Local 1	LED tubular 18W	423,36	R\$ 1.524,10	44%
Local 2	Refletor LED 200W	288,00	R\$ 1.036,80	50%
Local 3	Refletor LED 200W	3.024,00	R\$ 10.886,40	50%
Local 4	LED tubular 18W	2.217,60	R\$ 7.983,36	55%
Local 5	LED tubular 18W	1.140,48	R\$ 4.105,73	55%
Local 6	LED 200W	288,00	R\$ 1.036,80	50%
Local 7	LED tubular 18W	3.294,72	R\$ 11.860,99	55%
Local 8	LED tubular 18W	1.425,60	R\$ 5.132,16	55%
Local 9	LED 200W	2.304,00	R\$ 8.294,40	50%
Local 10	LED 200W	8.928,00	R\$ 32.140,80	50%
Local 11	LED 30W	1.641,60	R\$ 5.909,76	57%
Local 12	LED 200W	8.928,00	R\$ 32.140,80	50%
Local 13	LED 30W	1.641,60	R\$ 5.909,76	57%
Local 14	LED 200W	8.928,00	R\$ 32.140,80	50%
Local 15	LED 30W	1.641,60	R\$ 5.909,76	57%
Local 16	LED 200W	8.928,00	R\$ 32.140,80	50%
Local 17	LED 30W	1.641,60	R\$ 5.909,76	57%
Local 18	LED tubular 18W	1.733,76	R\$ 6.241,54	44%
Local 19	LED 200W	25.344,00	R\$ 91.238,40	50%
Local 20	LED 200W	12.816,00	R\$ 46.137,60	50%
Local 21	LED tubular 18W	806,40	R\$ 2.903,04	44%
Local 22	LED tubular 18W	1.431,36	R\$ 5.152,90	44%
Local 23	LED 30W	86,40	R\$ 311,04	57%
Local 24	LED 100W	72,00	R\$ 259,20	33%
Local 25	LED tubular 18W	3.144,96	R\$ 11.321,86	44%
Local 26	LED 30W	576,00	R\$ 2.073,60	57%
Local 27	LED tubular 18W	3.024,00	R\$ 10.886,40	44%
Local 28	LED tubular 18W	161,28	R\$ 580,61	44%
Local 29	LED 30W	28,80	R\$ 103,68	57%
Local 30	LED tubular 18W	3.991,68	R\$ 14.370,05	44%
Local 31	LED tubular 18W	161,28	R\$ 580,61	44%
Local 32	LED 30W	28,80	R\$ 103,68	57%
Local 33	LED tubular 18W	483,84	R\$ 1.741,82	44%
Local 34	LED tubular 18W	483,84	R\$ 1.741,82	44%

Local 35	LED tubular 18W	483,84	R\$ 1.741,82	44%
Local 36	LED tubular 18W	524,16	R\$ 1.886,98	44%
Local 37	LED 30W	1.641,60	R\$ 5.909,76	57%
Local 38	LED 200W	7.200,00	R\$ 25.920,00	50%
Local 39	LED 30W	1.468,80	R\$ 5.287,68	57%
Local 40	LED tubular 18W	2.197,44	R\$ 7.910,78	44%
Local 41	LED 30W	230,40	R\$ 829,44	57%
Local 42	LED tubular 18W	120,96	R\$ 435,46	44%
Local 43	LED tubular 18W	987,84	R\$ 3.556,22	44%
Local 44	LED 30W	172,80	R\$ 622,08	57%
Local 45	LED tubular 18W	100,80	R\$ 362,88	44%
Local 46	LED tubular 18W	2.822,40	R\$ 10.160,64	44%
Local 47	LED tubular 18W	2.822,40	R\$ 10.160,64	44%
Local 48	LED tubular 18W	3.427,20	R\$ 12.337,92	44%
Local 49	LED 30W	374,40	R\$ 1.347,84	57%
Local 50	LED tubular 18W	1.491,84	R\$ 5.370,62	44%
Local 51	LED 30W	230,40	R\$ 829,44	57%
Local 52	LED tubular 18W	1.774,08	R\$ 6.386,69	44%
Local 53	LED 30W	662,40	R\$ 2.384,64	57%
Local 54	LED 100W	1.008,00	R\$ 3.628,80	33%
Local 55	LED tubular 18W	3.467,52	R\$ 12.483,07	44%
Local 56	LED 100W	1.836,00	R\$ 6.609,60	33%
Local 57	LED 100W	2.052,00	R\$ 7.387,20	33%
Local 58	LED tubular 18W	1.733,76	R\$ 6.241,54	44%
Local 59	LED 30W	806,40	R\$ 2.903,04	57%
Local 60	LED 100W	36,00	R\$ 129,60	33%
Local 61	LED 30W	1.382,40	R\$ 4.976,64	57%
Local 62	LED 100W	72,00	R\$ 259,20	33%
Local 63	LED 30W	1.440,00	R\$ 5.184,00	57%
Local 64	LED 100W	72,00	R\$ 259,20	33%
Local 65	LED 30W	1.296,00	R\$ 4.665,60	57%
Local 66	LED 100W	72,00	R\$ 259,20	33%
Local 67	LED 30W	1.209,60	R\$ 4.354,56	57%
Local 68	LED 100W	72,00	R\$ 259,20	33%
Local 69	LED 30W	950,40	R\$ 3.421,44	57%
Local 70	LED 30W	748,80	R\$ 2.695,68	57%
Local 71	LED 30W	1.958,40	R\$ 7.050,24	57%
Local 72	LED 200W	25.344,00	R\$ 91.238,40	50%
TOTAL		185.349,60	R\$ 667.258,56	49%

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a revitalização de iluminação com a troca de lâmpadas para LED obteve-se no sistema de iluminação um ganho de 49% gerando uma economia de aproximadamente 185.349

(kWh/mês), gerando um *saving* anual de R\$ 667.258,56. Tendo em vista que o contrato para substituição das lâmpadas, ficou em aproximadamente R\$ 660.000,00, pode-se dizer que no ano em que as lâmpadas foram substituídas a amortização se justificou, gerando desta forma ganhos para os próximos anos na redução de energia do sistema de iluminação.

Os serviços realizados para a implantação do projeto de revitalização: substituição das lâmpadas, Instalação de soquetes, eliminação dos reatores, em alguns casos instalação do novo circuito interno e limpeza das lentes e tampas.

Valor do contrato para Substituição: R\$ 660.000,00.

Valor do ganho anual no ano de implantação: R\$ 667.258,56.

Quadro 5 – Iniciativa de Revitalização de iluminação para LED

Mês	Ganho com a Substituição em MWh	Ganho com a Substituição em R\$ anualizado	Ganho com a Substituição em R\$
1	3,089	0,037	0,00309
2	1,302	0,016	0,00439
3	S/ref	S/ref	0,00439
4	1,404	0,017	0,00580
5	10,216	0,123	0,01601
6	9,514	0,114	0,02552
7	22,266	0,267	0,04779
8	3,632	0,044	0,05142
9	S/ref	S/ref	0,05142
10	10,340	0,120	0,06176
11	10,340	0,120	0,06176
12	10,340	0,120	0,06176
Total	82,441	0,989	0,39500

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 28 - Representação da troca de lâmpadas por LED



(a)

(b)

Fonte: Fotos tiradas pela autora.

Figura 29 - Representação da troca de lâmpadas por LED no galpão de descarregamento de Pó de Rocha

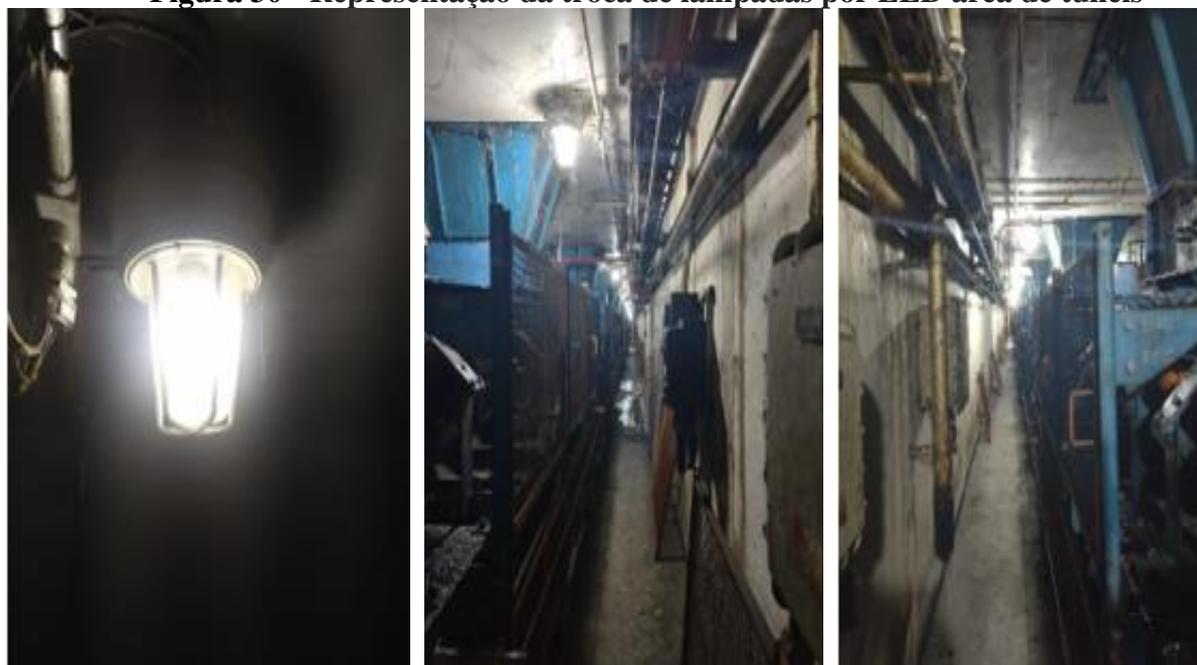


(a)

(b)

Fonte: Fotos tiradas pela autora.

Figura 30 - Representação da troca de lâmpadas por LED área de tuneis



(a)

(b)

(c)

Fonte: Fotos tiradas pela autora.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Tendo em vista as considerações apresentadas no decorrer desta dissertação, sabemos que segundo o Livro de Conservação de Energia, Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos, a justificativa usual e direta de que o uso racional de energia interessa por si mesmo, como de resto são oportunas todas as perdas e de racionalização técnico-econômica dos fatores de produção, é conveniente observar o caráter estratégico e determinante que o suprimento de eletricidade em todos os processos produtivos.

Vários são os incentivos para construção de usinas, no entanto é importante que o governo inclua incentivos para eficiência energética e economia de energia, várias ações poderiam ser implementadas para esta economia de energia, entre elas incentivos para as empresas privadas, leilões de eficiência energética com objetivo de incentivar a economia de energia e outros mecanismos para incentivar o uso consciente e a eficiência energética.

Este trabalho mostra o macroambiente no capítulo 1 e a dificuldade de implementar na prática um projeto de eficiência energética sem a ajuda governamental.

Descrevemos neste trabalho ações do PDEf que visam nortear economia de energia ao longo dos anos, nos setores comerciais, industriais e públicos, mas ainda tem -se um cenário com poucos recursos e incentivos governamentais para implementação e economia energética.

Anteriormente a maioria das empresas eram estatais onde o estado era responsável por todo o planejamento da geração, transmissão e consumo. Nos últimos anos o setor vem sofrendo modificações com as privatizações e agora com a privatização da Eletrobras e empresas buscando novos investimentos e projetos de geração e transmissão é importante a busca de incentivos e parcerias para ampliação e ações setoriais para economia de energia. O novo momento em que a geração/transmissão está inserida fazendo uma analogia com a forma passada seria uma oportunidade de trabalho de dissertação.

Este trabalho apresenta como estudo de caso, um projeto de *retrofit* de iluminação onde mostramos um cenário de redução de potência total de 527 kW para 270 kW. Com a revitalização de iluminação com a troca de lâmpadas para LED obteve -se no sistema de iluminação um ganho de 49% gerando uma economia de aproximadamente 185.349 (kWh/mês), gerando um *saving* anual de R\$ 667.258,56, justificando assim o valor do investimento do projeto.

Com o estudo de caso conclui-se que a instalação LED gera ganhos de potência significativos e com grande economia mensal em ambientes portuários e industriais de forma a manter uma qualidade de energia.

Neste trabalho, identificou-se as dificuldades e as barreiras operacionais para implantação de um projeto de eficiência energética em um ambiente industrial, no caso portuário, onde foi necessário adequar o projeto em uma instalação antiga, já existente e em constante operação. Neste caso foi necessário estudos para identificação da melhor opção de lâmpada led para cada área operacional sem que houvesse interferências entre os sistemas e não houve perdas de luminosidade.

O projeto foi realizado com recurso da própria empresa, visto que a parceria com outras empresas do setor para um contrato de desempenho inviabilizaria o investimento e a realização do projeto, inicialmente aprovado, devido a justificativa redução de custo e ganho operacional com a melhoria, além da contribuição para a economia da energia.

Anteriormente a maioria das empresas eram estatais onde o estado era responsável por todo o planejamento da geração, transmissão e consumo. Nos últimos anos o setor vem sofrendo modificações com as privatizações e agora com a privatização da Eletrobras e empresas buscando novos investimentos e projetos de geração e transmissão é importante a busca de incentivos e parcerias para ampliação e ações setoriais para economia de energia.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

- O novo momento em que a geração/transmissão está inserida fazendo uma analogia com a forma passada seria uma oportunidade de trabalho de dissertação, tendo em vista que conforme descrito anteriormente, pelo fato de as ações no setor público ficarem a cargo das prefeituras, com as privatizações e as empresas privadas cada vez mais inseridas neste mercado o que pode ser feito para incentivar a economia de energia e como dimensionar e planejar a economia de energia no setor privado;
- Outra oportunidade de trabalho de dissertação seria trabalhos semelhantes com aplicação de outros usos finais;
- Uma outra oportunidade seria a verificação se as economias projetadas estão de fato ocorrendo.
- O projeto foi realizado tendo como base em um estudo e diagnostico energético no sistema de iluminação. Outros trabalhos interessantes seria a implementação de economia de energia tendo como base um estudo e diagnostico energético no sistema de ar comprimido, em um sistema de refrigeração e em um sistema de

força motriz;

- Por fim, a criação de um Sistema de Gestão de Energia para monitoramento e estratificações de cargas com ações que possam contribuir para eficiência energética em uma instalação industrial seria importante melhoria dos sistemas interligados e maior confiabilidade operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **Plano Decenal de Eficiência Energética: produto 11.** Estudos e Projetos. Eletrobras. 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica#:~:text=Efici%C3%Aancia%20significa%20fazer%20mais%20\(ou,trabalho%22\)%20com%20menos%20energia](https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica#:~:text=Efici%C3%Aancia%20significa%20fazer%20mais%20(ou,trabalho%22)%20com%20menos%20energia)>. Acesso em: 30 out. 2022

ANEEL. **Relatórios de consumo e receita de distribuição: iluminação pública.** ANEEL. 2019 Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acesso em 20 mar 2022.

ANEEL. Resolução Homologatória REH nº 2.690, de 13 de agosto de 2019. 128 p. Disponível em:< <http://www.cigip.com.br/sites/default/files/reh20192590ti.pdf>>. Acesso em 30 out. 2022.

ANEEL. Resolução Normativa REN nº 854, de 16 de agosto de 2019. Altera o artigo 24 da Resolução Normativa ANEEL 414 de 09 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União.** Seção 1. p. 224.

BOMMEL, Wout van; ROUHANA, Abdo. **Lighting Hardware.** Philips, Países Baixos: 2011. Disponível em: <http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/ODLI20160609_001-UPD-en_AA-Lighting-Hardware-17122012.pdf>. Acesso em 30 out. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.427 de 26 e dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, 27 dez. 1996. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1996/lei-9427-26-dezembro-1996-366792-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 30 out. 2022.

BRASIL. **Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia;** colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007. 12 v. il. Disponível em: <

CPFL Energia. **História da Energia Elétrica:** Energia elétrica. Sua história e seu papel na vida das pessoas. Disponível em: < <https://www.grupocpfl.com.br/energias-sustentaveis/historia-da-energia-eletrica>>. Acesso em 23 out 2022.

DEGRASSI, S. (2001) **The seaport network Hamburg.** 2001. Tese (Doutorado). Universidade de Hamburgo, Hamburgo.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **NOTA TÉCNICA DEA 26/14. Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023).** Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2026%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20para%20os%20pr%C3%B3ximos%2010%20anos%5B1%5D.pdf>>. Acesso em 23 out 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanco Energético 2021: Ano base 2020.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2021. 292 p. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em 23 out 2022.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook 2021**. França, 2021. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>> Acesso em 23 out. 2022.

LOGWEB. VLI aumenta a movimentação de fertilizantes no Tiplam. São Paulo, 08 out. 2020. **Logweb**. Logística Portuária. Disponível em: <<https://www.logweb.com.br/vli-aumentamovimentacao-de-fertilizantes-no-tiplam/>>. Acesso em 30 out. 2022.

MELCHIADES, F. L.; DEMIAN, A. E.; BARBOSA, L. dos R.; **Inversor Classe D Half para Acionamento de Lâmpada HD**. Sodebras. V. 10. P. 90-94, Ago 2015.

MUNDIAL LUZ. **Lâmpada de filamento de carbono**. Código X8FEELU2Y. Disponível em: <<https://www.mundialluz.com.br/lampada-de-filamento-de-carbono-->>. Acesso em: 30 out. 2022.

O PRESENTE RURAL. Anec vê exportação de soja do Brasil próxima de recorde em 2020. **O Produto Rural**, Paraná, 2 set. 2020. Notícias. Mercado. Disponível em: <<https://opresenterural.com.br/anec-ve-exportacao-de-soja-do-brasil-proxima-de-recorde-em-2020/>>. Acesso em 30 out. 2022.

PHILLIPS. **Lâmpada em espiral fluorescente compacta**. 2018 Disponível em: <[Tornado Mini Lâmpada em espiral fluorescente compacta 8718696436226 | Philips](#)>. Acesso em 30 out. 2022

REIS, Tiago. **Eletrobras divulga proposta para o Plano Decenal de Eficiência Energética (PDef)**. PROCEL Info, MS, 09 mar. 2021. Notícias e Reportagens. Reportagens. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B8D1AC2E8%2DF790%2D4B7E%2D8DDD%2DCAF4CDD2BC34%7D¶ms=itemID=%7B788483A8%2D10AD%2D4F0B%2DB1BC%2D7B9193F48226%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB%2D05D4%2D4644%2DA8F2%2DFAD4803C8898%7D>>. Acesso em 25 out. 2022.

SJC. Lâmpadas Halógenas: Linhas de Lâmpadas Halógenas. Disponível em: <<https://www.sinaleirosnj.com.br/lampadas-halogenas.php>>. Acesso em: 30 out. 2022.

UNFCCC. **United Nations Framework Convention on Climate Change**, 2017. Disponível em : <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf> Acesso em: 23 out. 2022.

VIANA, Augusto Nelson C.; *et. al.*. **Eficiência Energética: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Campinas, SP: FUPAI, 2012.

Vários Autores **Conservação de energia: eficiência de instalações e equipamentos**. 1. ed. Itajubá, MG: FUPAI, 2001. ISBN 85-902115-1-7

XAVIER, Mauricio. **Lâmpadas incandescentes vão sumir do mercado**. Veja São Paulo, SP, 30 ago. 2013. Atualizado 05 dez. 2016. Cidades. Disponível em: <[Lâmpadas incandescentes vão sumir do mercado | VEJA SÃO PAULO \(abril.com.br\)](#)> Acesso em 30 out. 2022.

WORLD BANK GROUP. **Iluminando Cidades Brasileiras:** Modelos de negócio para Eficiência Energética em Iluminação Pública. Edição do Seminário. Washington, EUA: ESMAP, 2016. 123 p. Disponível em: <https://multimedia.fnp.org.br/biblioteca/documentos/item/download/360_07e597cd536db440e1e817d6dcc0490e>. Acesso em 30 out. 2022.