

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LUIS CARLOS DE BORTOLO

**A BUSCA PELA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA INDÚSTRIA**

LAGES
2018

LUIS CARLOS DE BORTOLO

**A BUSCA PELA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA INDÚSTRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Msc. Silvio Moraes de Oliveira

Coorientadora: Dra. Engenheira Eletricista Franciéli Lima de Sá

LAGES

2018

LUIS CARLOS DE BORTOLO

**A BUSCA PELA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA INDÚSTRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário UNIFACVEST como
parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Msc. Silvio Moraes de
Oliveira

Lages, SC ___/___2018. Nota _____

Dra. Engenheira Eletricista Franciéli Lima de Sá – Coorientadora e coordenadora do curso de
engenharia elétrica

LAGES
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha namorada Andressa, a meu pai Idair e minha mãe Justina por toda dedicação e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente obrigado à minha família. Ao meu pai e minha mãe, meus exemplos de perseverança e dedicação que nunca deixaram de me apoiar ao longo de todo o caminho. Obrigado por tudo.

Agradeço ao departamento de engenharia elétrica e aos professores que se empenham em ensinar engenharia. Em especial ao Msc. Silvio Moraes de Oliveira e a Dra. Franciéli Lima de Sá pela ética, caráter e orientação neste trabalho.

Por fim, dizem que atrás de todo grande homem existe uma grande mulher, entretanto às vezes encontra-se uma grande mesmo sem ser um grande homem ainda. Obrigado, Andressa Godinho, por ter estado ao meu lado sempre que precisei. Tenho certeza absoluta de que sem você nada disso teria sido possível.

RESUMO

A questão de eficiência energética industrial no Brasil tem um incentivo governamental pequeno, onde as iniciativas são mais voltadas para as áreas residenciais e comerciais, como a etiqueta nacional de conservação de energia e o selo do PROCEL. No setor industrial, sendo o maior consumidor de energia elétrica, com um potencial de otimização extremamente grande, não constam iniciativas para o estímulo de investimentos para melhorar a sua eficiência energética. O objetivo deste trabalho presente foi analisar os pontos de ineficiência energética e a má utilização de processos relacionados a iluminação e motores elétricos. Começando com um levantamento histórico da evolução da energia elétrica no Brasil, e partindo para uma análise dos pontos críticos de desperdício para assim avaliar a viabilidade no local, esse projeto apresenta, observando o panorama econômico, técnico e teórico, possibilidades de minimizar os desperdícios de energia e processos em uma indústria de madeira que podem ser adaptadas à indústrias com processos e/ou instalações elétricas similares.

Palavras chaves: Eficiência Energética na Indústria, Engenharia Elétrica, Motores Elétricos.

ABSTRACT

The issue of industrial energy efficiency in Brazil has a small governmental incentive, where initiatives are more focused on residential and commercial areas, such as the national energy conservation label and the PROCEL seal. In the industrial sector, being the largest consumer of electricity, with an extremely large optimization potential, there are no initiatives to stimulate investments to improve its energy efficiency. The objective of this work was to analyze the points of energy inefficiency and the misuse of processes related to lighting and electric motors. Starting with a historical survey of the evolution of electric energy in Brazil, and starting with an analysis of the critical points of waste in order to assess the viability in loco, this project presents, observing the economic, technical and theoretical scenario, possibilities to minimize the wastes of energy and processes in a wood industry that can be adapted to industries with similar processes and / or electrical installations.

Keywords: Energy Efficiency in Industry, Electrical Engineering, Electric Motors.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 APLICAÇÕES	15
1.5 METODOLOGIA.....	15
1.6 RESULTADOS ESPERADOS	16
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 CENÁRIO DA ENERGIA BRASILEIRA	18
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
2.2 EVOLUÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL.....	19
2.3 SITUAÇÃO ATUAL DA ENERGIA DO BRASIL	24
3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	28
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	28
3.2 ILUMINAÇÃO	30
3.2.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO.....	30
3.2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO	31
3.2.3 DISPOSITIVOS DE ILUMINAÇÃO	32
3.2.4 ILUMINAÇÃO DE LED	35
3.3 MOTORES ELÉTRICOS	39
3.3.1 MOTORES DE INDUÇÃO	39
3.3.2 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	40
3.3.3 MOTORES SÍNCRONOS	40
3.3.4 ANÁLISE DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	40
4 ESTUDO DE CASO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	41
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	41
4.2 ESPECIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA ILUMINAÇÃO	42
4.3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA ILUMINAÇÃO.....	46
4.4 PROJETO LUMINOTÉCNICO	47
4.5 ESTUDO DOS MOTORES	50
4.5.1 SUPERDIMENSIONAMENTO	50
4.5.2 SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES	50
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	54

5.1 CÁLCULOS DA ILUMINAÇÃO	54
5.2 RESULTADOS DA ECONOMIA COM ILUMINAÇÃO	55
5.3 RESULTADO COM OS MOTORES	57
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Eficiência luminosa das lâmpadas.	33
Figura 2- Modelo de um projetor industrial.	33
Figura 3- Modelo de lâmpada e reator utilizados atualmente.	34
Figura 4- Esboço dos tipos de luminárias.....	35
Figura 5- Funcionamento do Diodo.	36
Figura 6- Polarização Direta do Diodo.....	37
Figura 7- Diodo ideal: (a) símbolo; (b) curva característica.	37
Figura 8- Estrutura do LED.....	38
Figura 9- Interior do galpão da empresa JJ THOMAZI.	42
Figura 10- Iluminação atual do galpão.....	43
Figura 11- Consumo de energia	45
Figura 12- Refletores de LED 200 Watts.....	47
Figura 13- Cálculo de Retorno Financeiro	51
Figura 14- Exemplo de Motor com TAG – JJ122.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Diferentes fontes energéticas utilizadas pelo Brasil.....	19
Gráfico 2- Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 105 e 1930.	21
Gráfico 3- Estimativa do consumo de energia 1941-72.	22
Gráfico 4- Evolutivo da matriz energética no período de 1970 à 2030.....	23
Gráfico 5- Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.	25
Gráfico 6- Participação das Fontes na Capacidade Instalada.	26
Gráfico 7- Consumo de energia em 2026 (total: 309 MtEP).....	27
Gráfico 8- Consumo de energia elétrica por setor.	29
Gráfico 9- Fluxo de caixa do cenário	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Potência elétrica instalada no Brasil (kW).	20
Tabela 2- Uso da iluminação no Brasil.	31
Tabela 3- Dados da luminária proposta.	47
Tabela 4- Dados obtidos para o atual sistema de iluminação.	50
Tabela 5- P.M.E.M - Dados cadastrados dos motores.	53
Tabela 6- P.M.E.M - Exemplo de manutenção – Motor TAG JJ9	53
Tabela 7- Dados obtidos para o atual sistema de iluminação.	55
Tabela 8- Comparativo de Potência e Consumo de energia.	56
Tabela 9- Comparativo de valores pagos: LED X Sódio.	56
Tabela 10- Retorno do investimento da iluminação	56
Tabela 11- Lucro final com o investimento da iluminação	57

LISTA DE ABREVIATURAS

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PIB: Produto Interno Bruto

tEP: Tonelada Equivalente de Petróleo

CNP: Conselho Nacional do Petróleo

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

BEN: Balanço Energético Nacional

CC: Corrente Contínua

PP: Polipropileno

NT: Não Tecido

VSD: Variable Speed Drive (acionamento de velocidade variável)

IT: Instrução de Trabalho

BIG: Banco de Informações da Geração

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ATR: Açúcar Total Recuperável

IEA: International Energy Agency

PMEM: Plano de Manutenção Elétrica de Motores

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica deixa a sociedade cada dia mais dependente da energia. O aumento populacional junto com as mudanças dos costumes da população nos últimos tempos, vem intensificando o consumo e com isso ocasionando problemas para as áreas responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica. Aliado com o crescimento da demanda, o aproveitamento inadequado dos recursos energéticos intensifica o problema do desperdício de grande parte da energia gerada nos processos finais.

Quando se pensa em energia no Brasil, pensa-se principalmente em energia elétrica sabendo que a sociedade em geral desconsidera energéticos como o carvão e o gás natural que são aplicados em áreas específicas, já os derivados do petróleo tem sua principal aplicação na área de transportes. Devido a isso, o governo vem procurando métodos para estimular o consumo de energia elétrica de forma racional. O PROCEL tem como finalidade informar a população de como obter um melhor aproveitamento da energia elétrica. Contudo os programas mais difundidos são para os consumidores comerciais e residenciais, enquanto o setor industrial, que possui uma demanda energética maior, não dispõe da mesma atenção.

Mesmo com o desenvolvimento tecnológico e constante evolução dos processos e equipamentos nas indústrias, a importância da conservação energética é deixada de lado, devido ao fato de que a margem de lucro e o processo estejam garantindo a manutenção da produção.

A indústria precisa e deve atrair muita atenção de novas metodologias e processos para visar o menor desperdício de energia. Um melhor aproveitamento da energia na indústria afeta diretamente na sua competitividade, reduzindo custos da produção e obtendo mais lucro ao produto final.

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de um estudo de eficiência energética em uma planta industrial com o intuito de identificar processos e equipamentos, que não estejam na sua total eficiência em relação ao aproveitamento de energia elétrica.

A planta em questão é uma indústria de madeira, composta de uma área coberta de aproximadamente 11.000m², onde uma parte é dedicada a estoque e o restante produção, existe uma grande variedade de equipamentos e acionamentos, de baixa e alta complexibilidade.

Inicialmente foram analisadas as informações teóricas relacionados aos equipamentos e processos, logo após, localizados os pontos ondem existem possibilidades de melhorias e então

propor soluções técnicas para resolver os mesmos. A análise principal foi feita no aspecto técnico econômico com propostas baseadas no estudo do custo/benefício e a possibilidade do retorno do investimento no menor tempo possível.

1.3 Justificativa

Conscientizar que a economia de energia elétrica pode ser transformada do desperdício a riquezas, mediante o aperfeiçoamento de processos e equipamentos. Utilizar a energia de maneira eficiente é capaz de fazer com que a empresa tenha um diferencial competitivo, pois essa economia pode ser aplicada em novos processos e produtos, ou seja, com essas ações proativas o desperdício é minimizado e assim ainda, a empresa contribui para um país mais sustentável, permitindo que essas medidas colaborem para um futuro melhor a todos. Essa consciência de eficiência energética afeta também diretamente as fornecedoras de energia, pois a ineficiência diminui e com isso garante mais recursos para o aprimoramento dos seus serviços para melhorar o atendimento a todos os seus consumidores, além de ajudar o meio ambiente, diminuindo a degradação pelo desvio de rios e inundações de enormes áreas para a instalação de novas plantas geradoras. Conseqüentemente, esse trabalho irá abordar mecanismos que proporcionem economia de energia elétrica no setor industrial.

1.4 Aplicações

A eficiência energética é aplicada amplamente no cenário nacional, principalmente nos setores residenciais e comerciais, como o programa dos selos do PROCEL que indicam que lâmpadas, eletrodomésticos entre outros equipamentos são mais eficientes que os outros, e indicam assim maior economia e menor desperdício de um recurso tão importante como a energia elétrica. Nesse trabalho a eficiência energética será empregada em um cenário menos visado, a indústria. A aplicação será em motores e na iluminação, que não estão tendo um bom aproveitamento.

1.5 Metodologia

A princípio foi analisado os processos da indústria, afim de encontrar as perdas críticas na iluminação e nos motores elétricos. Após encontrar os problemas, foi verificado os seus custos atuais, para então partir para um estudo técnico para analisar as possibilidades de

alterações que não afetem a funcionalidade da produção e melhorem seu desempenho e eficiência energética.

Enfim finalizando o projeto, escolhendo o melhor método para cada situação visando minimizar os desperdícios de energia, acompanhando os mesmo para observar os resultados obtidos após as aplicações das novas soluções. Com isso alcançando uma economia para a indústria, que pode ser aplicada em novos produtos ou até mesmo em novos métodos para melhorar a eficiência na indústria.

1.6 Resultados esperados

Com esse trabalho procura-se ajudar a indústria em questão, como as demais que possuam processos produtivos e instalações elétricas semelhantes, com uma forma de agir para localizar perdas e ineficiências de modo a ter processos com menos desperdícios e com isso obter maior lucro, objetivando racionalizar a utilização de energia.

São esperadas contribuições de otimização da utilização de motores elétricos, que hoje não possuem um banco de dados para verificar sua real eficiência e históricos dos mesmos, análise da iluminação para melhorar o seu consumo e desempenho.

1.7 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

No Capítulo 2 é apresentado alguns conceitos básicos sobre o que é energia, como é obtida e utilizada, abordando mais especificamente conceitos sobre energia elétrica. O capítulo apresenta, ainda, uma breve descrição histórica da evolução dos energéticos no Brasil com foco na energia elétrica. Apresentando por fim, dados atuais de consumo de energia elétrica e seu perfil de utilização por setor.

O terceiro capítulo expõe as definições sobre eficiência energética. São demonstrados os conceitos teóricos sobre motores elétricos e sistemas de iluminação sendo revistos aspectos como quantização de perdas e medidas de contenção.

O quarto capítulo apresenta uma breve descrição da planta industrial e dos processos produtivos onde o estudo é desenvolvido. São apresentados os casos críticos, com identificação no local, em relação à perdas, quantificação aproximada das perdas em cada caso sendo então propostas melhorias, sendo feita sempre que possível uma análise econômica das mesmas.

O quinto capítulo trata das conclusões obtidas com o desenvolvimento do estudo, chamando atenção para os tipos de perdas mais comuns, medidas de contenção mais simples e melhores investimentos de curto prazo.

2. CENÁRIO DA ENERGIA BRASILEIRA

2.1 Considerações gerais

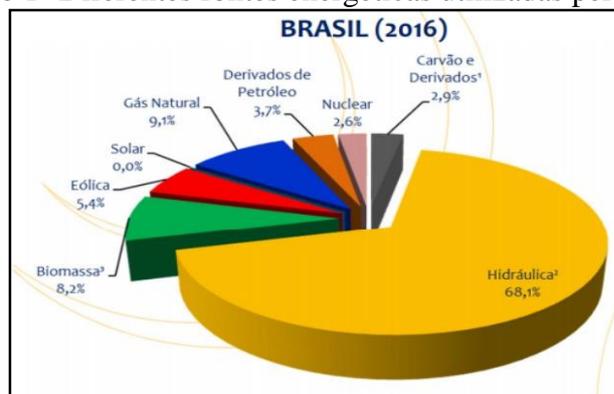
Segundo Hewitt (2002), a energia é a capacidade de realizar trabalho. No entanto a definição de energia não é de fácil compreensão sendo que se trata de uma grandeza abstrata que é mais fácil de ser observada quando está sendo transformada ou transferida. Possui várias formas como a elétrica, mecânica, luminosa, térmica, química entre outras, a maior parte da energia consumida por nós diariamente, é elétrica ou química.

A tratada nesse trabalho e mais popular é a energia elétrica devido a sua versatilidade, além de possuir baixas perdas em conversões, é facilmente convertida em outras energias como luminosa, mecânica ou térmica. Sua produção vem principalmente de conversões de energia potencial obtida de reservatórios de água como em usinas hidrelétricas, ou por processos térmicos que utilizam a energia química como no caso de termoelétricas de biomassa ou carvão. Os processos de energia elétrica baseiam-se em alternadores acoplados a turbinas acionadas por energia mecânica.

No Brasil, além da geração de energia por usinas hidrelétricas e termoelétricas, está havendo implantações importantes de geração de energia fotovoltaica, que é baseada na luz do sol, ou energia eólica proveniente da força dos ventos. Anualmente, vem crescendo bastante no cenário nacional de energia, de acordo com Hewitt.

A energia potencial química, utilizada nas usinas termoelétricas, está contida em substâncias que através de uma reação resultam em outras substâncias mais liberação de energia. Dois exemplos são o carvão que foi o combustível da revolução industrial e o petróleo e seus derivados que hoje em dia são a base energética dos transportes.

Gráfico 1- Diferentes fontes energéticas utilizadas pelo Brasil.



Fonte: Toda matéria (2018).

2.2 Evolução da energia no Brasil

Esta parte apresenta o consumo e a evolução da exploração de energéticos no Brasil conforme a obra de Antônio Dias Leite, A energia do Brasil. Escrita em 1997, a obra faz um levantamento histórico do perfil nacional de geração e consumo de energia aliado a considerações políticas e econômicas dos períodos em questão.

Até 1915, o Brasil vivia na era da lenha segundo Leite. Nesse período, até a chegada de Dom João VI em 1808, a atividade manufatureira era proibida no Brasil e segundo levantamentos históricos, em 1816 o Brasil contava com cerca de 3,3 milhões de habitantes dos quais 68,5% eram escravos. A demanda por energia nesse período era irrisória e o consumo de energia, o qual se restringia ao aquecimento de residências e outras poucas finalidades, era plenamente suprido pela lenha, abundante nas terras recém povoadas.

Por volta de 1850, o Barão de Mauá decide iniciar a industrialização no país produzindo navios à vapor, substituindo a iluminação, que até então era baseada em óleo de peixe, por iluminação à gás e construindo a primeira linha férrea, sendo a “Baronesa” a primeira locomotiva a vapor a operar no Brasil. Nesse período já se iniciava a utilização de carvão mineral como combustível.

No final do século XIX, iniciam-se instalações de geração e consumo de energia elétrica. Em 1883 foi inaugurada a primeira iluminação elétrica da América do Sul. Uma usina a vapor composta por uma caldeira, uma máquina a vapor de 50 cavalos e três dínamos alimentavam 39 lâmpadas. Em 1889, em Juiz de Fora, foi instalada a usina Marmelos – 0, a primeira usina hidrelétrica da América Latina. O empreendimento foi idealizado por um industrial local para abastecer sua fábrica de tecidos e contava com potência instalada de 200kW.

No início do século XX as importações com carvão e querosene eram responsáveis por 8% e 2% do total de importações do período. Em paralelo à isso, em 1901 foi instalada a hidrelétrica de Parnaíba no rio Tietê com 2.000kW e em 1908 é concluída a hidrelétrica de Fontes é concluída com potência instalada de 12.000kW, logo ampliada para 24.000kW sendo uma das maiores usinas do mundo na época.

No início do século passado, a geração hidrelétrica se consolidava no Brasil diferenciando-o dos países onde o processo de industrialização se iniciou. Nesses, segundo Antonio Dias Leite a base energética era a termoeletricidade baseada em carvão mineral. Entre 1885 e 1905 a potência elétrica instalada no país foi multiplicada por sete a cada decênio. A tabela 1 mostra a evolução da energia elétrica em kW de origem térmica e hidráulica no início do século passado:

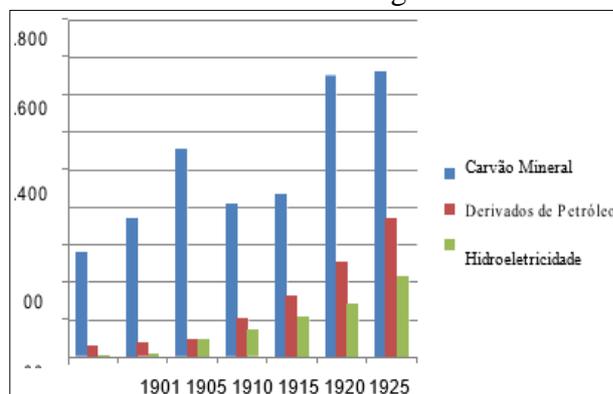
Tabela 1- Potência elétrica instalada no Brasil (kW).

Ano	Térmica	Hidro	Total	% Hidro
1883	52	-	52	-
85	80	-	80	-
90	1.017	250	1.267	20
95	3.843	1.991	5.834	34
1900	5.093	5.283	10.376	51
05	6.676	38.208	44.884	85
10	32.729	124.672	157.401	79
15	51.106	258.692	309.798	84
20	66.072	300.946	367.018	82
25	90.608	416.875	507.483	82
30	148.752	630.050	778.802	81

Fonte: Conselho mundial de energia, Estatística brasileira de energia, nº1, 1965.

Com a primeira grande guerra em 1914, as importações de equipamentos industriais ficaram prejudicadas, entretanto isso não impediu o crescimento da indústria nacional que foi de 44% no quinquênio de 1915/20 e 35% no posterior. No mesmo período dava-se a substituição do carvão pelo petróleo no velho mundo enquanto no Brasil ainda não existia exploração desse energético: muito se falava, mas pouco se fazia. Enquanto isso a Light manteve-se responsável pela geração de 40% da energia elétrica do país até 1930 e as importações de gasolina e óleo combustível passavam de 28.000 m³ para 345.000 m³ e 80.000 m³ para 355.000 m³ respectivamente, no período de 1915 a 1930, entretanto não houveram esforços em relação à exploração de petróleo e gás no país. O gráfico 2 mostra a evolução no consumo dos energéticos no início do século XX em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (tEP).

Gráfico 2- Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 1905 e 1930.



Fonte: Wilberg, J., 1974, Consumo Brasileiro de Energia.

No período entre 1930 e 1940, foi aprovado o Código de Águas e criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. Entretanto, embora a demanda continuasse a crescer, o crescimento médio anual da capacidade instalada diminuía, chegando à 1,1% em 1940/45. Essa redução deveu-se principalmente a 3 fatores segundo Leite, 1997.

- Mudanças na legislação que a partir de então baseava as tarifas no custo do investimento;
- Longo período de dificuldade de importação, principalmente devido à guerra, dificultando a manutenção e expansão do parque gerador;
- Inflação crônica durante o período de guerra gerando impasses sobre os reajustes tarifários que permaneceriam congelados até 1945.

As exceções à essa situação foram a Light e a Companhia Paulista de Força e Luz que, por atuarem na região mais desenvolvida do país e por sua competência, conseguiam continuar a expandir seus sistemas. Ainda nesse período, em 1942, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), sendo então iniciadas as primeiras perfurações em busca do óleo.

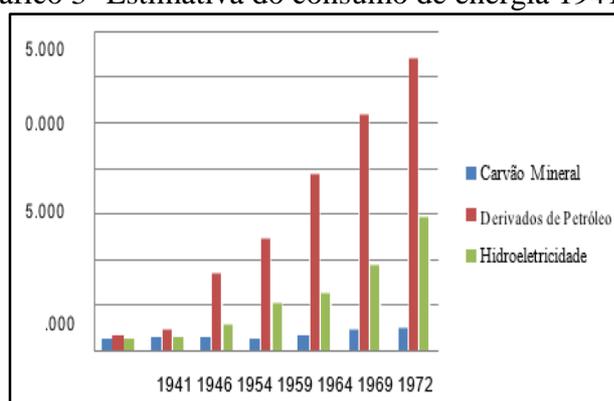
Existem poucos dados no período de guerra e pós-guerra, entretanto os levantamentos de 1941, 1946 e 1954, mostram que o consumo de energéticos permaneceu estável durante a guerra e no período pós-guerra o consumo de hidroeletricidade aumentou enquanto a utilização do petróleo disparou.

O governo Kubitschek estava focado na eliminação dos “pontos de estrangulamento” na busca pelo desenvolvimento, em partícula nos existentes no sistema elétrico nacional. Em meados da década de 50, o sistema elétrico estava em crise sendo mais preocupante a situação na região centro-sul. Em 1957, o presidente aprovou a fundação Central Elétrica de Furnas sem

solicitar a autorização do congresso e em 1958 iniciou-se a construção da Hidroelétrica de Furnas que, à época, adicionava um milhão de kW a um sistema de 3 milhões. Em 1960, foi criado o Ministério de Minas e Energia e em 1962, concluídos os estudos para exploração das Sete Quedas no Paraná com resultados de potencial de geração surpreendentes: 10 milhões de kW (Caubet, 1991). A capacidade instalada crescia 8,8% entre 1955/60 e 8,3% entre 1960/65. Ainda, iniciava-se a interligação do sistema sendo a priori padronizada a frequência de 60Hz e conversão dos sistemas de geração que operavam em 50Hz e devido ao novo período de industrialização, em 1964, o consumo de petróleo igualou-se ao da lenha, tornando-se em 1969 o principal insumo energético.

O gráfico 3 apresenta a variação do consumo de alguns energéticos no período de 31 anos.

Gráfico 3- Estimativa do consumo de energia 1941-72.



Fonte: Wilberg, J., 1974, Consumo Brasileiro de Energia.

Em 1971 a primeira usina nuclear brasileira, com potência de 657 MW, Angra I, teve suas obras iniciadas, tendo recebido licença para operação em dezembro de 1984.

Foi fundada a Itaipu Binacional em 1973, sendo em 1975 iniciada a construção da usina de Itaipu, concluída em 1982 com potência instalada de 14 GW. A usina conta com 20 unidades geradoras sendo metade, a parte brasileira, em 60Hz e a outra metade, paraguaia, em 50Hz. Dez anos após sua entrada em operação o Paraguai só absorvia 4,2% da energia total gerada por Itaipu.

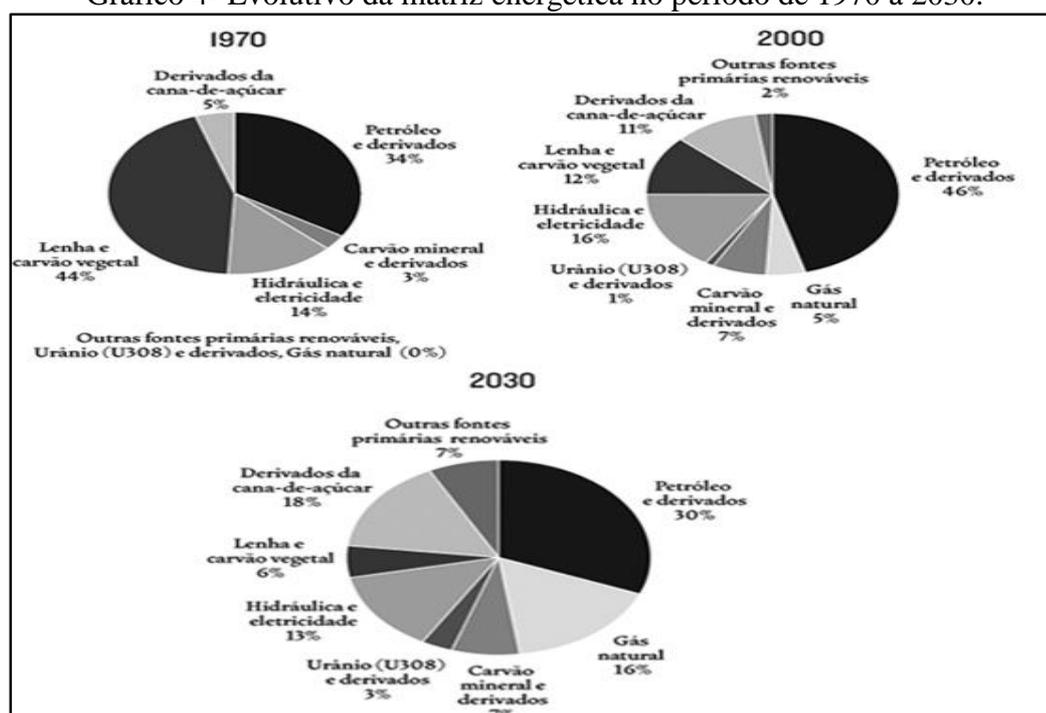
O período entre 1973 e 1985 foi marcado por uma queda dramática das tarifas de energia elétrica desestimulando os esforços para sua conservação. Em 1973, a tarifa residencial era a terceira mais alta em comparação a outros 22 países e a industrial era a décima quinta, tornando se, em 1985, as mais baratas dentre os 23 amostrados. (Leite, 1997.)

Com as duas crises do petróleo a grande maioria dos países desenvolveu políticas de redução do desperdício, o Brasil, entretanto, essas medidas já haviam sido tomadas dado que as concessionárias dos sistemas interligados estavam encontrando dificuldades em gerenciar a energia agindo independentemente umas das outras. Em 1983, são introduzidos mecanismos tarifários e incentivos para o uso da energia elétrica aos derivados do petróleo.

O plano cruzado de 1986 foi um golpe duro ao já debilitado sistema elétrico nacional com seu congelamento de tarifas. As concessionárias perdiam ainda mais remuneração e tornava-se cada vez mais difícil a expansão do sistema. No fim da década de 80, um período de privatizações do sistema até então controlado por empresas estatais foi iniciado. Conforme dados da Eletrobrás, de 1991, no ano anterior o sistema elétrico atendia 87% das residências sendo 97% o índice de atendimento da região sudeste e 58% da região norte. Em meados da década de 90 vários programas de conservação de energia são lançados, enquanto isso, a Petrobrás tem sucesso em perfurações no mar.

Nos anos 2000 o Brasil passou a sofrer com o racionamento de energia devido à falta de água nos reservatórios proveniente de uma seca anormal no país. Ainda nesse período o sistema elétrico sofreu profundas modificações no seu quadro gerencial, como mostrado no gráfico 4.

Gráfico 4- Evolutivo da matriz energética no período de 1970 à 2030.



Fonte: EPE

2.3 Situação atual da energia do Brasil

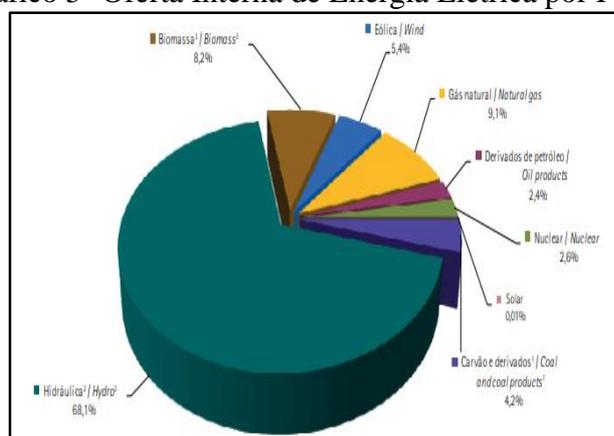
À produção e o consumo de energia em 2016 dado mais atual disponibilizado pelo BEN, para as principais fontes energéticas: petróleo, gás natural, energia elétrica, carvão mineral, energia eólica, biodiesel e produtos da cana. O Balanço Energético Nacional – 2017 da informações referentes à micro e mini geração distribuída de energia elétrica, cujo crescimento foi incentivado por ações regulatórias, tais como a que estabelece a possibilidade de compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte. Em 2016, a micro e mini geração distribuída atingiu 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,4 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 56,9 MW de geração e potência instalada respectivamente.

A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 33.489 GWh em 2016, equivalente a um aumento de 54,9% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 21.626 GWh. Em 2016, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 33%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 2.491MW, alcançando 10.124MW ao final de 2016. Em 2016 o B100 produzido no país atingiu 3.801.339 m³ contra 3.937.269 m³ do ano anterior, recuo de 3,5% no biodiesel disponibilizado no mercado interno. O percentual de B100 adicionado compulsoriamente ao diesel mineral manteve-se em 7%. A principal matéria-prima foi o óleo de soja (72%), seguido do sebo bovino (14%).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de cana-de-açúcar no ano civil 2016 alcançou 670,6 milhões de toneladas. Este montante foi 1,5% superior ao registrado no ano civil anterior, quando a moagem foi de 660,5 milhões de toneladas. Em 2016 a produção nacional de açúcar foi de 38,9 milhões de toneladas, alta de 13,7% em relação ao ano anterior, enquanto a fabricação de etanol caiu 6,5% atingindo um montante de 28.276,4 mil m³. Deste total, 58,5% referem-se ao etanol hidratado: 16.549,1 mil m³. Em termos comparativos, houve queda de 11,4% na produção deste combustível em relação a 2015. Já a produção de etanol anidro, que é misturado à gasolina A para formar a gasolina C, registrou um acréscimo de 1,4%, totalizando 11.727,3 mil m³. O ATR (Açúcar Total Recuperável), indicador que representa a quantidade total de açúcares da cana (sacarose, glicose e frutose), registrou médias de 130,70 e 134,25 ATR/tonelada de cana para as safras 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente.

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 578,9 TWh em 2016, resultado 0,4% inferior ao de 2015. As centrais elétricas de serviço público, com 83,0% da geração total, permanecem como principais contribuintes. A principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, que apresentou uma expansão de 5,9% na comparação com o ano anterior. A geração elétrica a partir de não renováveis representou 19,6% do total nacional, contra 25,9% em 2015.

Gráfico 5- Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.



Fonte: EPE.

Notas:

1. Inclui gás de coqueria
2. Inclui importação de eletricidade
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

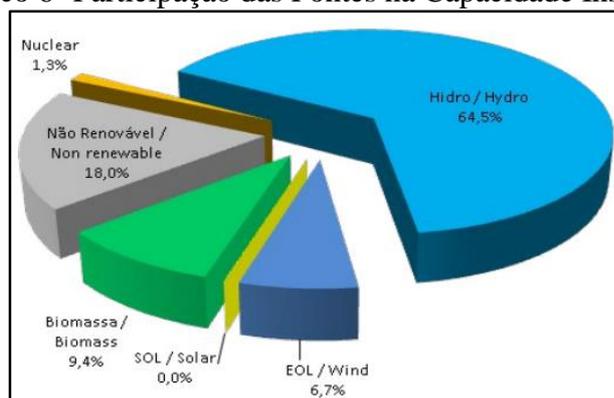
APE em 2016 participou com 17,0% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 98,5 TWh. Desse total, 55,5 TWh não foram injetados na rede, ou seja, produzidos e consumidos pela própria instalação geradora, usualmente denominada como APE clássica. A autoprodução clássica agrega as mais diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, a exemplo dos setores de papel e celulose, siderurgia, açúcar e álcool, química, entre outros, além do Setor Energético.

Neste último, destacam-se os segmentos de exploração, refino e produção de petróleo. Importações líquidas de 40,8 TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 619,7 TWh, montante 0,7% superior a 2015. O consumo final foi de 520,0 TWh, representando um recuo de 0,9% em comparação com 2015. O gráfico acima apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2016.

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna. As fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. Do lado do consumo, houve uma queda total de 0,9%, com destaque para o setor residencial, que registrou uma tendência contrária a dos demais setores, avançando 1,4%.

O setor industrial registrou uma queda de 1,3% no consumo eletricidade em relação ao ano anterior, apenas os setores de papel e celulose e de alimentos e bebidas apresentaram uma variação positiva de 4,7% e 3,2%, respectivamente. Os demais setores – público, agropecuário, comercial e transportes – quando analisados em bloco apresentaram variação negativa de 0,9% em relação ao ano anterior. O setor energético decresceu 7,7%. Em 2016, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 150.338 MW, acréscimo de 9.479 MW. Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 55,6%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 26,3% restantes de aumento do grid nacional.

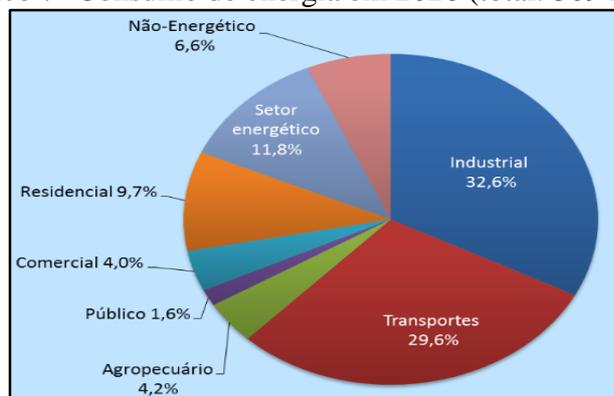
Gráfico 6- Participação das Fontes na Capacidade Instalada.



Fonte: EPE.

Posteriormente ao dados citados mostra-se que a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) estuda a demanda energética de cada setor econômico, com uma previsão para 2026 com um consumo de energia de 309 Mtep conforme ilustra o gráfico 7.

Gráfico 7- Consumo de energia em 2026 (total: 309 MtEP).



Fonte: EPE.

Esse gráfico mostra que o setor de indústrias e de transportes têm as maiores fatias. Isso significa que, de acordo com os estudos de planejamento, eles serão os maiores consumidores de energia em 2026. É interessante notar a unidade de energia utilizada: "tEP". tEP é uma unidade de medida utilizada para contabilizar energia de diferentes fontes. Por exemplo, normalmente eletricidade é medida em Watts (W) e gás em metros cúbicos (m³) ou Joules (J), mas as quantidades de eletricidade e gás podem ser somadas se forem medidas em "tEP". A energia contida em 1 tEP abastece 73 residências por um mês.

O setor residencial considera a soma de todo o consumo de energia nas residências; o setor comercial nos estabelecimentos comerciais (lojas, shoppings, padarias, etc.); o setor agropecuário nas atividades de agricultura e pecuária; o setor de transportes nos meios de transportes (caminhões, barcos, aviões, trens, etc.) e o setor industrial nas indústrias. Além desses setores, temos; Setor energético representa as indústrias que transformam energia primária em energia secundária (por exemplo, a transformação do petróleo nas refinarias).

O setor público contabiliza a energia consumida em prédios públicos, como prefeituras, escolas e hospitais e na iluminação das ruas. Não energético considera o consumo de derivados de petróleo para outros fins que não a queima, como a produção de asfalto, solventes para tintas, além de lubrificantes, graxas e parafinas, utilizados em maquinário industrial. Também considera o gás natural utilizado na produção de fertilizantes para a agricultura.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1 Considerações gerais

Segundo a EPE, o uso racional de energia foi dado principalmente a partir da crise do petróleo dos anos 70, época em que entrou na agenda mundial os paradigmas voltados a ações que viabilizassem o desenvolvimento do país diante da crescente demanda energética. Na ocasião em que se percebeu que o mesmo serviço poderia ser feito com menor custo de energia consequentemente diminuir os impactos ambientais, econômicos, culturais e sociais.

Nessa circunstância foi fundamental agir no sentido de conscientizar os gestores a buscar novos métodos e projetos em que a eficiência energética fosse priorizada, almejando uma redução no consumo de energia elétrica com indústrias e processos mais eficientes.

Segundo a EPE, a expressão eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia final utilizada e de um bem produzido ou serviço realizado, em que a eficiência está associada à quantidade efetiva de energia utilizada e não à quantidade necessária para realizar um serviço. Para a IEA, o conceito de eficiência energética está voltado à obtenção de serviços energéticos como produção, transporte e calor, por unidade de energia utilizada, como gás natural, carvão ou eletricidade. Para Hordeski o termo eficiência é a capacidade de equipamentos que operam em ciclos ou processos produzirem os resultados esperados.

Com a finalidade de desenvolver o uso consciente de racionamento de energia foi iniciado o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), pretendendo combater as perdas e informando com o selo PROCEL o equipamentos de melhor rendimento. De acordo com o PROCEL, no Brasil, a energia elétrica é gerada em sua maior parte por meio de água de rios, portanto para que preservemos nossos recursos naturais e economizemos a conta de energia, é preciso utilizar conscientemente a energia elétrica.

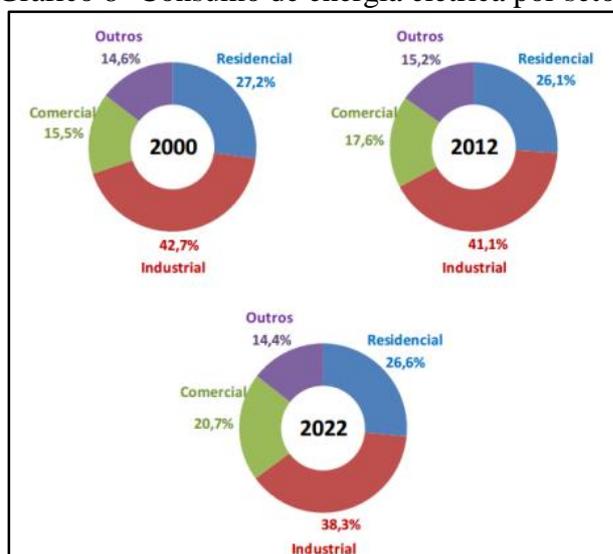
Planejando que, com a otimização do uso da energia em algumas atividades colabora com a redução dos gastos com a obtenção desse recurso e diminui as chances de um futuro racionamento de energia, a expressão eficiência energética passou então a ser usado por vários autores na tentativa de se encontrar atos que diminuam os desperdícios, gastos com energia e seus impactos ambientais.

Consequentemente, esse trabalho partirá do objetivo de que a eficiência energética, deve ser usada na finalidade de promover benefícios através da implantação de políticas de aproveitamento e desenvolvimento de forma a se obter o uso racional de energia, o que resultara

em melhorias na aplicação de como a energia é utilizada na sociedade, mais precisamente no caso deste trabalho no setor industrial.

Constata-se que o desenvolvimento econômico tem notável influência em relação ao aumento do consumo de energia na atual cenário, uma vez que, o mesmo é resultado de setores ascendência, que procuram maximizar seus lucros, como o residencial, comercial, o industrial entre outros. Entre esses vale salientar que o industrial é o que consome mais energia, sendo o que mais usou a eletricidade como fonte de energia, é o que mostra o gráfico 8.

Gráfico 8- Consumo de energia elétrica por setor.



Fonte: EPE, 2017.

Independentemente do alto custo da energia elétrica, percebe-se que os diversos setores exigem uma grande demanda de energia e que o país é dependente desse recurso, visto que a qualidade de vida da população e o progresso das múltiplas áreas de serviços e produção estão proporcionalmente associados ao aumento do consumo energético, tendo como base a energia elétrica. A ELETROBRÁS/PROCEL confirma a posição da IEA ao identificar que o setor industrial brasileiro consome cerca de 40% da energia elétrica do país em detrimento aos demais segmentos, tais como residencial e comercial e que 2/3 da energia utilizada pelas indústrias são empregadas em sistemas motrizes. Por esse motivo a força motriz tornou-se o principal foco de atuação dos programas de eficiência energética.

3.2 Iluminação

3.2.1 Conceitos de iluminação

Ao iniciar o conceito de iluminação é fundamental mostrar o que alguns especialistas pensam. Para Mamede Filho (2007), a luz: “[...] é uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos, sendo que apenas algumas ondas de comprimento de onda definido são visíveis ao olho humano.” (MAMEDE FILHO, 2007, p.40).

No entanto, a OSRAM, fala que não é apenas a quantidade de luz o único requisito necessário, na verdade também é preciso um bom projeto de distribuição de luz no ambiente e a ausência de contrastes excessivos, como, reflexos indesejáveis e a incidência direta do sol no plano de trabalho. Assim constatamos que essas condições são de extrema importância, já que, quanto menos condições adversar o ambiente te, menos esforço físico o olho terá que fazer para se adequar as condições ambientais e desenvolver as atividades.

Ainda segundo a OSRAM, o projeto luminotécnico deve analisar dois objetivos, sendo:

- A obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objetivo está associado às atividades laborativas e produtivas;

- A utilização de luz como principal instrumento de ambientação do espaço na criação de efeitos especiais com a própria luz ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo está associado às atividades não laborativas, de lazer.

Mamede Filho também caracteriza a intensidade luminosa como sendo: “[...] a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção específica.” (MAMEDE FILHO, 2007, p.43). Conforme Mamede Filho a luminância é entendida como: “[...] a medida da sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro.” (MAMEDE FILHO, 2007, p.43). Pode ser determinada pela equação 1.

$$L = \frac{I}{S \times \cos\alpha} \quad (1)$$

L – Luminância horizontal (LUX);

S – superfície iluminada (m²);

α – ângulo entre a superfície iluminada e a vertical, que é ortogonal à direção do fluxo luminoso;

I – intensidade luminosa (candela - cd).

É válido salientar que é a luminância que produz nos olhos a percepção da luz, a sensação de claridade e por isso a percepção de diferenças de luminância. O importante informar que a luminância a intensidade luminosa e o fluxo luminoso somente são visíveis se forem refletidos numa superfície, transmitindo a sensação de luz aos olhos, cujo fenômeno é determinado luminância. Ou seja, os olhos percebem diferenças de luminância e não de iluminação.

3.2.2 Eficiência energética na iluminação

Como já dito antes a eficiência energética é aplicada em vários processos e em diferentes setores da indústria, de varia maneiras, da fonte consumidora até a geração de energia. Uma indústria que se preocupa com a eficiência energética deve sempre observar seus processos e equipamentos, investir na sua manutenção e buscar por meio da tecnologia moderna a adequação de sua estrutura para garantir um menor desperdício de tempo, consumo de energia e impacto ambiental. Sabendo que, uma grande parte das perdas e dos desperdícios de energia pode ser diminuída por meio de ações adequadas em manutenção, não somente a corretiva, mas, sobretudo, a preventiva, evitando assim, o alto desperdício de energia elétrica na iluminação.

Tabela 2- Uso da iluminação no Brasil.

Setores	Energia Total	Destinação	Energia Final	Coef. EE	Coef. Ref.	Energia Útil	Potencial
	GWh/a	[1]	GWh/a	[1]	[1]	GWh/a	GWh/a
Setor Energético	12.818,00	0,068	871,60	0,245	0,290	213,50	135,30
Setor Residencial	78.577,00	0,240	18.858,50	0,090	0,172	1.697,30	8.990,70
Setor Comercial	50.082,00	0,418	20.949,80	0,240	0,280	5.028,00	2.992,80
Setor Público	30.092,00	0,497	14.961,70	0,250	0,300	3.740,40	2.493,60
Setor Agropecuário	14.895,00	0,037	551,10	0,090	0,172	49,60	262,70
Setor de Transportes	1.039,00	0,000	0,00	-	-	0,00	0,00
Setor Industrial	172.061,00	0,021	3.594,40	0,243	0,243	873,60	540,60
Total	359.564,00	0,166	59.787,10	0,194	0,261	11.602,40	15.415,70

Fonte: EPE,2017, a partir dos dados do BEN 2015 e BEU 2015, Ministério de Minas e energia,2015.

Segundo a EPE, observa-se que o potencial de conservação é grande, mesmo que uma parte pequena encontre-se na indústria, onde o uso tem uma importância relativa reduzida.

Como consequência desse contexto entende-se a importância de se preocupar com a implantação de sistemas de iluminação eficiente no setor industrial, partindo do princípio de maximizar o potencial de conservação de energia elétrica existente, a começar do aprimoramento da viabilidade técnica e econômica.

3.2.3 Dispositivos de iluminação

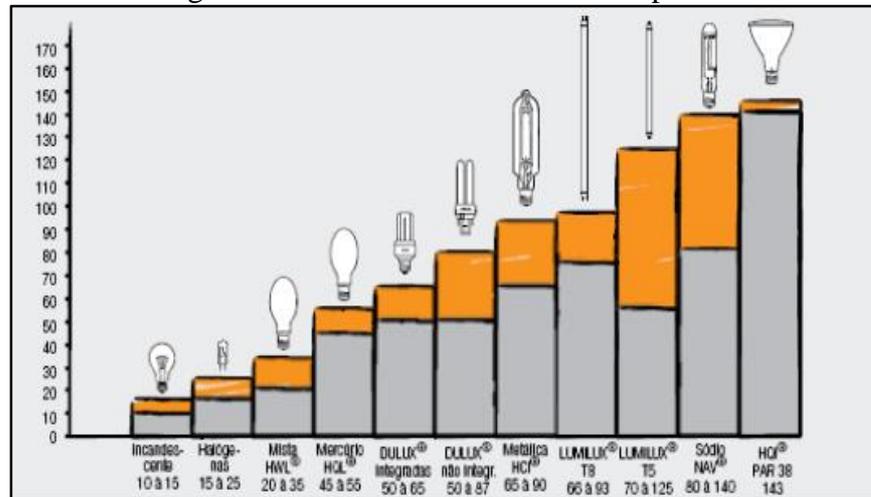
Em todos os setores, como também no industrial, uma parcela da demanda de eletricidade é para o sistema de iluminação, já que, as áreas de trabalho devem ser iluminadas suficientemente para garantir que o colaborador tenha o melhor rendimento possível na atividade executada, pois cada processo exige um nível de iluminação compatível com a sua importância e uma percepção visual mais apurada. Consequentemente é de muita importância o investimento em ações de eficiência energética nessa área, com o objetivo de se diminuir a carga instalada em sistema de iluminação ultrapassado, buscando novas tecnologias para melhorar ou equivaler a iluminação com menor consumo de energia elétrica.

Os reatores devem ser escolhidos pelo seu rendimento, fator de fluxo luminoso e serem preferencialmente de alto fator de potência com o intuito de contribuir para a elevação do fator de potência geral do sistema elétrico, segundo Galani e Cavalcanti (2005). Usar reatores com melhores rendimentos energético, como os eletrônicos, e outro fator importante na minimização da potência instalada, pois segundo Mesquita e Franco (2001) esse equipamento limita a corrente elétrica que circula pela lâmpada e eleva, quando necessário à tensão de alimentação para níveis adequados à operação do conjunto.

As lâmpadas de vapor de sódio foram desenvolvida em 1930, com o objetivo de elevar o rendimento das lâmpadas até então utilizadas e também com o intuito de melhorar a iluminação, segundo Goeking. E (2008) é nesse contexto que a EPE informa que o esforço de buscar novos equipamentos que proporcionem o mesmo ou maior índice luminotécnico, com menos perdas e menor gasto com energia elétrica, acelerou nas últimas décadas, o desenvolvimento de técnicas de iluminação voltadas a eficiência energética, principalmente no quesito lâmpadas mais eficientes.

Observa-se que a eficiência luminosa das fontes de radiação pode ser um fator importante na elaboração de projetos mais eficientes. A figura 1 mostra as lâmpadas e suas respectivas eficiências luminosas.

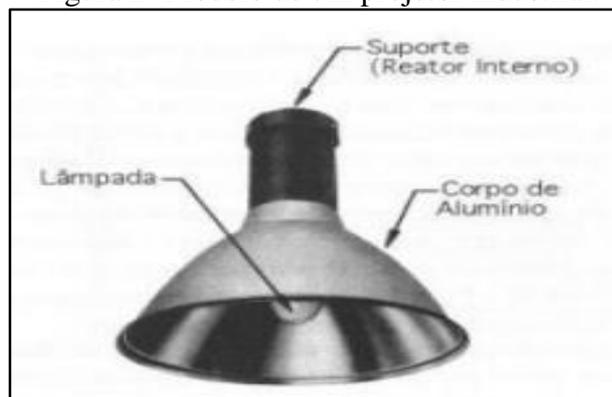
Figura 1- Eficiência luminosa das lâmpadas.



Fonte: Manual luminotécnico - OSRAM,2015.

No setor industrial, as luminárias de fecho de abertura média para lâmpadas de descarga, com predominância de lâmpadas a vapor de sódio ou lâmpadas de vapor de mercúrio, são mais encontradas. Essas luminárias são mais aplicáveis em galpões cujo pé direito seja maior ou igual a 6 metros, devido a sua faixa de abertura. A figura 2 mostra o modelo de iluminação encontrada no galpão deste estudo.

Figura 2- Modelo de um projetor industrial.



Fonte: Mamede Filho,2007.

A figura 3 mostra o reator e a lâmpada utilizada nesta luminária.

Figura 3- Modelo de lâmpada e reator utilizados atualmente.



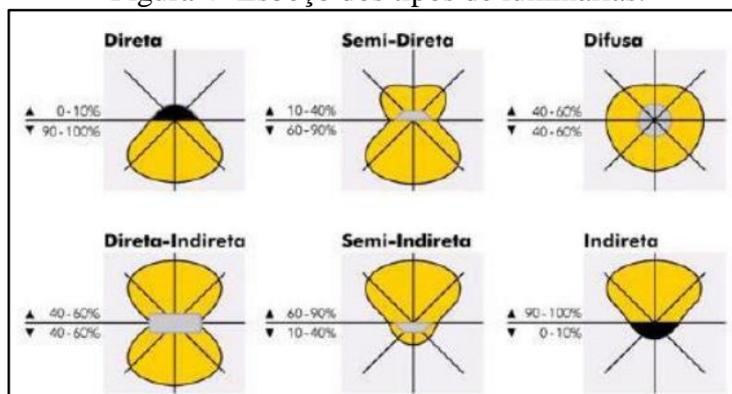
Fonte: Philips, 2013.

A compreensão de Mamede Filho indica a classificação das luminárias de acordo com as suas propriedades em modificar o fluxo luminoso:

- Absorção: característica da luminária de absorver parte do fluxo luminoso incidente na sua superfície. Quanto mais escura for a superfície interna da luminária, maior será o índice de absorção;
- Difusão: característica das luminárias de reduzir a sua luminância, diminuindo, consequentemente, os efeitos inconvenientes do ofuscamento através de uma placa de acrílico ou de vidro;
- Reflexão: característica das luminárias de modificar a distribuição do fluxo luminoso através de sua superfície interna e segundo a sua forma geométrica de construção;
- Refração: característica das luminárias de direcionar o fluxo luminoso da fonte, que é composta pela lâmpada e refletor, através de um vidro transparente de construção específica, podendo ser plano (onde não há modificação da direção do fluxo) ou prismático;

A figura 4 mostra o percentual de direcionamento do fluxo luminoso para cada classificação das luminárias:

Figura 4- Esboço dos tipos de luminárias.



Fonte: ITAIM, 2008.

Um projeto de iluminação de uma indústria demanda um estudo apurado para analisar as melhores soluções e mais convenientes para as atividades desenvolvidas, desde a arquitetura do prédio, os pontos de iluminação natural, os riscos de explosão, entre outros detalhes peculiares de cada ambiente segundo Mamede Filho. Também de acordo com Mamede filho alguns pontos são importantes na orientação do profissional em um projeto luminotécnico industrial, sendo eles:

- A relação entre luminância de pontos de menor e maior iluminamento, não deve ser menor que 0,70;
- Ao utilizar projetores, utilizar lâmpadas a vapor de mercúrio ou vapor de sódio;
- Em ambientes onde operam ponte-rolantes, atentar-se com o posicionamento das luminárias.
- Em prédios com pé-direito igual ou inferior a 6m é conveniente utilizar lâmpadas fluorescentes em linhas contínuas ou não;
- Não utilizar lâmpadas incandescentes na iluminação principal;
- Tornar a iluminação o mais uniforme possível;

3.2.4 Iluminação de Led

A importância da iluminação de qualidade em qualquer ação ou trabalho da sociedade é inquestionável, por essa razão existe a grande importância de se desenvolver equipamentos que diminuam as perdas de energia. No cenário nacional ainda existe uma iluminação muito ineficiente, por esse motivo, é necessário investir no desenvolvimento de projetos que objetivem a troca de lâmpadas menos eficientes, como as incandescentes, fluorescentes,

vapores metálicos, entre outras, por lâmpadas de mais eficiência, como as de LED, com o objetivo de otimizar o uso da energia.

Com essa troca pode-se maximizar a eficiência energética, obtendo como resultado uma redução da potência instalada e conseqüentemente do consumo de energia. Nos anos 60 os projetos luminotécnicos com lâmpadas de LED tiveram início, e desde então vem crescendo cada dia mais, a sua utilização, por ser uma tecnologia muito eficiente no quesito iluminação, já que tem a capacidade de emitir praticamente todos os espectros de luz. O LED é uma fonte de luz ecologicamente sustentável, por ser 100% reciclável, pois não são utilizados dentro dele substâncias perigosas e nocivas ao meio ambiente, segundo Galvani e Cavalcanti (2008).

Para compreender o funcionamento de um LED, é necessário primeiramente compreender o conceito de diodo, que segundo Harris (2013), é um composto por uma seção de material tipo-N ligado a uma seção de material tipo-P, com eletrodos em cada extremidade. Essa associação conduz eletricidade em apenas um sentido. Quando os terminais do diodo não estão energizados, os elétrons do material tipo-N preenchem os buracos do material tipo-P ao longo da junção entre camadas, formando uma zona vazia, que volta ao seu estado isolante original, ainda segundo Harris, isso é mostrado na figura 5.

Figura 5- Funcionamento do Diodo.

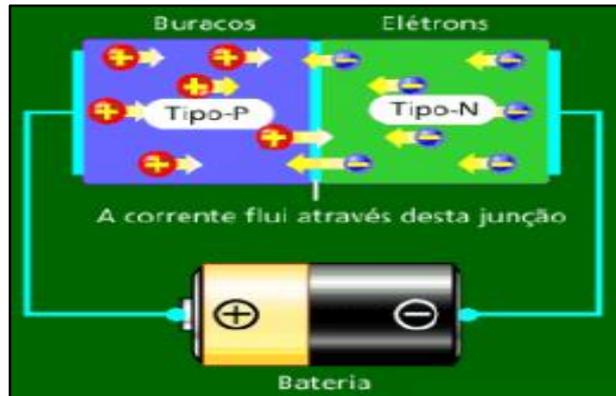


Fonte: HARRIS, 2013.

De acordo com Harris, quando o lado tipo-N do diodo é conectado ao terminal negativo do circuito e o lado tipo-P ao terminal positivo, polarização direta, os elétrons livres no material tipo-N são repelidos pelo eletrodo negativo e atraídos para o eletrodo positivo. Os buracos no material tipo-P se movem no sentido contrário. Quando a diferença de potencial entre os eletrodos é alta o suficiente, os elétrons na zona vazia são retirados de seus buracos e começam a se mover livremente novamente. A zona vazia desaparece e a carga se move através do diodo

e tem-se a circulação de corrente elétrica no diodo. (Harris, 2013, p.2). Observa-se o que foi afirmado por Harris na figura 6.

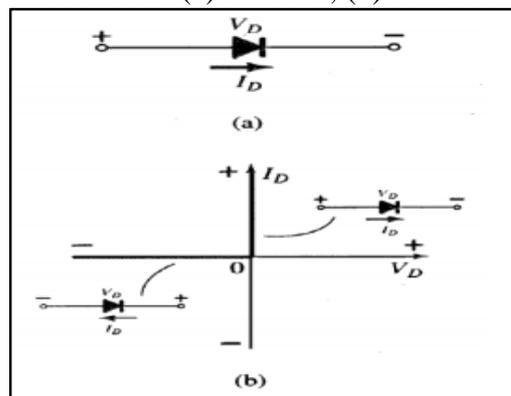
Figura 6- Polarização Direta do Diodo.



Fonte: HARRIS, 2013.

Um diodo vai conduzir corrente no sentido definido pela seta e atua como um circuito aberto para qualquer tentativa de estabelecer corrente no sentido oposto de acordo com Boylest e Nashelsky. O LED, assim como os diodos tradicionais representa um tipo de semiconductor que emite luz quando conduz corrente, possibilitando a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido. Essa polarização direta resulta na emissão de luz. Na figura 7 observa-se a curva característica do diodo.

Figura 7- Diodo ideal: (a) símbolo; (b) curva característica.

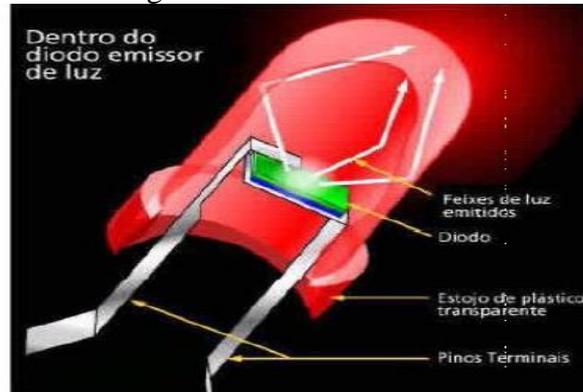


Fonte: Boylestad e Nashelsky, 1998.

Os LED's são fabricados para liberar um grande número de fótons para fora, segundo Harris. Mas também, são montados em bulbos de plástico que reúnem a luz em uma única

direção específica, de acordo com a necessidade, evitando o uso de luminárias e diminuindo as perdas que esta representa, conforme a figura 8.

Figura 8- Estrutura do LED.



Fonte: HARRIS, 2013.

A utilização das lâmpadas de LED também acarretam em um série de vantagens sobre as lâmpadas tradicionais. Alper pontua as características do LED através de algumas de suas vantagens:

- Alta resistência mecânica;
- Baixo consumo de energia;
- Baixo custo de manutenção;
- Maior eficiência do que as fontes de luz tradicionais;
- Maior tempo de vida útil;
- Menor geração de calor;
- Não emite UV (Radiação Ultravioleta);

Além destas vantagens, Alper também cita algumas vantagens ambientais das lâmpadas de LED, são elas:

- Ausência de mercúrio;
- Ausência de radiação IV (Radiação Infravermelha) ou UV (Radiação Ultravioleta) na luz visível.
- Baixo consumo de energia;
- Menor emissão de carbono;
- Uso de reciclados e materiais recicláveis resistentes à corrosão.

Os LED's estão em uma crescente expansão no mercado de iluminação, seu preço ainda não é tão acessível quando comparado as demais tecnologias, como as lâmpadas de vapor de

sódio, o que ainda os impede de abranger uma fatia maior do segmento de iluminação. No entanto, esse obstáculo está sendo superado devido ao desenvolvimento tecnológico desta área. Segundo Goeking os LED's podem ser aplicados em qualquer ambientes, sendo utilizados também na iluminação pública, com resultados satisfatórios, apesar de seu custo ser mais alto comparado com as demais tecnologias.

Onde a manutenção da iluminação é de difícil acesso, como na iluminação de ruas, avenidas, galpões de grande porte, entre outras situações o LED é uma ótima alternativa, devido a sua longa vida útil, ele demora mais que as outras tecnologias existentes, para apresentar defeitos e necessidade de manutenção preventiva ou corretiva. Com isso a diminuição de manutenção aliada com seu baixo consumo, o LED se torna uma excelente opção de iluminação a ser instalada e utilizada. Por exemplo, uma luminária de LED com um vida útil média de 50 mil horas se mantém acesa, quando um similar de vapor de sódio tem apenas 25 mil horas, isso ocasionaria para equivaler a lâmpada de LED uma troca de no mínimo duas vezes, gerando custos de manutenção com a mão de obra e reposição de materiais.

3.3 Motores elétricos

A indústria depende de muitos processos de movimentação de acionamentos mecânicos nas suas linhas de produção, para essa finalidade, a utilização de motores elétricos nos processos industriais é quase que unânime sendo deixado de lado apenas em sistemas de segurança, onde existe a necessidade de um sistema à prova de falhas.

Os motores elétricos mais populares são três, motores síncronos, de corrente contínua e de indução. A seguir é apresentado uma análise das aplicações, características e outros componentes necessários para a utilização de cada um dos tipos de motores elétricos.

3.3.1 Motores de indução

É o motor mais utilizado nas indústrias, sendo aplicado desde baixas potências de frações de CV até altas potências.

É um motor barato, simples e bastante robusto, no entanto dependendo da potência ele necessita da utilização de componentes adicionais. Motores de indução de baixa potência podem ser acionados por partida direta, com o aumento da potência ele requer o uso de uma partida estrela-triângulo, ou de partidas eletrônicas, com inversor de frequência ou soft-starter.

A grande desvantagem dos motores de indução é a variação da rotação frente à exigência de conjugado do eixo tornando-o aparentemente desvantajoso onde esse controle é requerido. No entanto, utilizando um inversor de frequência é possível resolver o problema da variação de rotação e também da partida tornando o economicamente atrativo mesmo com o custo adicional do inversor de frequência.

3.3.2 Motores de corrente contínua

Os motores de corrente continua são mais aplicados onde é necessário um controle rigoroso da velocidade e uma alta potência.

Devido a sua complexidade mecânica, ele se torna mais caro, mas em aplicações de elevada potência sua utilização é economicamente vantajosa, devido que os demais necessitam de um hardware adicional que acaba tornando o conjunto mais caro. O controle de velocidade é feito controlando-se a corrente do enrolamento de campo, que se encontra em um estator de polos salientes.

3.3.3 Motores síncronos

Esse motor é pouco encontrado em aplicações industriais. São mais utilizados como geradores, entretanto como motores são melhor adaptados em menores rotações e maiores potências. Motores síncronos passam a se tornar interessantes se a relação HP/RPM for maior que 1 (Beaty, 1998).

Geralmente constituído de um enrolamento de campo de corrente continua no rotor e enrolamentos de corrente alternada no estator. Consistem em um motor sincronizado com a rede elétrica. Desse sincronismo implica o fato de que, sendo a frequência da rede elétrica constante, não existe variação da rotação independente do conjugado requerido. Outra desvantagem desse tipo de motor em aplicações industriais é a partida. Partindo como motor de indução, requer baixa carga em seu eixo, o que pode ser inviável em várias aplicações.

3.3.4 Análise de substituição de motores para aumento da eficiência energética

Devido à grande quantidade de motores encontrados em plantas industriais, existem abordagens simples que podem gerar resultados relevantes, são elas:

Análise de utilização inadequada: Devido a complexibilidade dos processos, quando há mudança nas operações das máquinas, variáveis dos processos ou até nas rotinas da produção devido a necessidade de produção, algumas rotinas se mantem mesmo não interferindo no processo e acabam-se passando despercebidas. Em outras palavras, por exemplo, quando está sendo fabricado o produto A, o motor M1 é necessário, mas devido a necessidade de produção o processo vai mudar, para fabricar o produto B, e para esse processo o motor M1 não é necessário, mas em muitos casos esse motor não é desligado.

Falta de análise de substituição de motores, motores antigos, superdimensionados, ou com menor rendimentos são os principais fatores de comprometimento da eficiência na utilização da energia elétrica.

O superdimensionamento dos motores, na maior parte dos casos, é devido a inconsistências de projetos, de forma a garantir o funcionamento do sistema é escolhido um motor com potência superior a necessária. Já o rendimento dos motores antigos é explicado pelas tecnologias da época de fabricação. O departamento de energia dos Estados Unidos avalia que 44% dos motores industriais operam com 40% ou menos de fator de carga (Hurst, 2007).

No caso dos motores de indução, que são a maioria na indústria, eles podem ser considerados superdimensionados se seu fator de carga for menor que 75% de seu valor nominal. Isso ocorre porque esse tipo de motor tem seu maior rendimento com um fator de carga de 80-90% (Bortoni, 2007).

Por esses motivos, torna-se interessante a análise da possibilidade da substituição desses motores por motores de maior rendimento ou corretamente dimensionados à carga.

4 ESTUDO DE CASO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 Considerações gerais

A seguir será apresentado um estudo de caso sobre a eficiência energética de um galpão industrial, onde foi sugerida a troca do sistema atual de iluminação, para realizar o projeto foi analisadas todas as informações e dados cabíveis, como, consumo atual de energia, dados atuais da instalação, dimensões do galpão, entre outros detalhamentos necessários para os cálculos e dimensionamento da nova iluminação. Após recolher todos os dados e realizar as análises possíveis, iniciou-se o trabalho proposto, redimensionando o sistema de iluminação, com a substituição do atual sistema, que é composto por lâmpadas de 400W vapor de sódio, por

lâmpadas de LED. Também, é apresentando um comparativo entre os dois sistemas de iluminação estudados e verificar a viabilidade da substituição da iluminação.

Por fim, foi apresentado o problema encontrado para a substituição dos motores, que devido ao tempo de retorno estabelecido pela empresa de 18 meses, a falta de dados fornecidos e a constante mudança de produtos nas linhas de produção tornou inviável o estudo e a implantação de novos motores, até esse momento. Devido a esses problemas foi implantado um sistema de controle de manutenção para que em algum tempo seja possível avaliar de forma mais correta a substituição de motores que tem seu rendimento mais baixo que os motores de alto rendimento encontrados hoje no mercado.

4.2 Especificação da área de estudo da iluminação

O local a ser estudado é um galpão industrial, onde seu principal foco é a produção de lâminas de madeira. Uma metade do galpão contém a linha de produção da lâmina, que se inicia no cozimento do bloco, depois segue para a faqueadeira, onde cortam as lâminas, seguindo então para o secador, para retirar a umidade da mesma, e por fim é feito o selecionamento e classificação das mesmas para empacotamento. O restante do galpão é de estocagem e expedição. Os dados coletados na empresa, mostram que o galpão possui 100 metros de comprimento por 40 de largura de dimensão, com o pé direito de 7,5 metros, sendo que o atual sistema de iluminação possui 72 lâmpadas do tipo vapor de sódio de 400 Watts de potência distribuídas como mostra a figura 9:

Figura 9- Interior do galpão da empresa JJ THOMAZI.



Fonte: Autoria própria.

Neste galpão, encontra-se uma potência instalada de 32,00 kW, pois o mesmo possui 72 lâmpadas de 400 Watts cada, com fluxo luminoso equivalente a 21.500 lumens, que resulta em 28,8 kW, mais 3,2kW de perdas nos reatores, que segundo o catalogo do fabricante, os mesmos tem 44,5 Watts de perda por unidade. Na figura 10 segue o layout do sistema de iluminação atual.

Figura 10- Iluminação atual do galpão.



Fonte: Autoria própria.

Através das informações coletadas e na fundamentação teórica, será apresentada uma análise geral do projeto atual, considerando dados como: valor a ser pago, consumo, eficiência, entre outros dados necessários. Com a finalidade de calcular a eficiência luminosa (E) do atual sistema, divide o fluxo luminoso emitido em lumens (lm), pela potência consumida em watts (W), como é mostrado nas equações 2 a 4.

$$E = \frac{\text{Fluxo luminoso (lm)}}{\text{Potência (W)}} \quad (2)$$

$$E = \frac{21.500 (lm)}{444,5 (W)} \quad (3)$$

$$E = 48,37 \text{ lm/W} \quad (4)$$

Sabendo que o consumo diário da iluminação na instalação é de 24 horas por dia e dessas, 3 horas estão no horários de pico, pois segundo a ANEEL, o horário de ponta ou de pico corresponde a 3 horas do dia no intervalo entre as 19:00 horas e 22:00 horas, com exceção de sábados, domingos e feriados. Considerando que as 3 horas de ponta por dia, nos 5 dias de semana, ou por volta de 22 dias uteis no mês, atinge o total em horas que as lâmpadas funcionam no horário de ponta no ano.

$$Total\ em\ ponta = horas \times dias \times meses \quad (5)$$

$$Total\ em\ ponta = 3 \times 22 \times 12 \quad (6)$$

$$Total\ em\ ponta = 792\ horas \quad (7)$$

Já fora do horário de ponta temos:

$$Total\ fora\ de\ ponta = horas \times dias \times meses \quad (8)$$

$$Total\ fora\ de\ ponta = 21 \times 22 \times 12 \quad (9)$$

$$Total\ fora\ de\ ponta = 5.544\ horas \quad (10)$$

A somatória das potências individuais de cada luminária (lâmpada mais reator) multiplicado pelo número de luminárias nos dá o total de 32,00 kW como já mostrado acima, que corresponde ao consumo total da potência do atual sistema de iluminação. Tendo essa potência total instalada e agora sabendo a quantidade de horas utilizadas por ano, podemos calcular o consumo total de quilowatts por ano, conforme as equações 11 a 16.

$$Consumo\ Total = Potência\ Total \times Tempo\ Ponta \quad (11)$$

$$Consumo\ Total = 32\ kW \times 792\ h / ano \quad (12)$$

$$Consumo\ Total = 25.344\ kWh / ano\ no\ horário\ de\ ponta \quad (13)$$

$$Consumo\ Total = Potência\ Total \times Tempo\ Fora\ de\ Ponta \quad (14)$$

$$Consumo\ Total = 32\ kW \times 5.544\ h \quad (15)$$

$$Consumo\ Total = 177.408\ kWh / ano\ no\ horário\ fora\ de\ ponta \quad (16)$$

A partir dos consumos no horário de ponta e fora de ponta obtemos o consumo total anual pelas equações abaixo:

$$Con.\ Tot.\ no\ Ano = Cons.\ total\ hor.\ de\ ponta + Cons.\ total\ hor.\ fora\ de\ ponta \quad (17)$$

$$Consumo\ Total\ no\ Ano = 25.344\ kWh / ano + 177.408\ kWh / ano \quad (18)$$

$$Consumo\ Total\ no\ Ano = 202.752\ kWh / ano \quad (19)$$

Tendo agora o consumo anual de energia elétrica consumida pela iluminação do galpão, irá ser calculado o valor anual a ser pago em reais pelo atual sistema. Segundo os dados

fornecidos pela empresa, que é integrante do sistema de consumidor livre, possui entrada de tensão de 23,1 kV encontramos após realizar os cálculos o valor do kW/h.

Figura 11- Consumo de energia

Nº DA UNIDADE CONSUMIDORA 26864895		VENCIMENTO 02/10/2018	
ATENDIMENTO AO CLIENTE LIGUE 0800 480120		CONSUMO TOTAL FATURADO 250.658 kWh	
		VALOR ATÉ O VENCIMENTO R\$ 40.852,74	
Dados do Faturamento			
	Faturado	Tarifa (R\$)	Valor (R\$)
Tusd-Energia Ponta	15.168	0,074664	1.132,47
Tusd-Energia F.Ponta	235.491	0,074665	17.582,94
Energia Rest Exc Fp	1.690	0,405316	684,92
Subtotal (R\$)			19.400,33
Lançamentos e Serviços			
Devolucao de Ajuste de Faturamento			-4,64
Cosip			631,53
Valor do Icms - Subst.Tributaria			20.826,52
Subtotal (R\$)			21.452,41

Fonte: Celesc, 2018.

Pela figura 11 conseguimos observar que a concessionária CELESC cobra o valor de R\$ 0,074664 pela distribuição da energia. A energia é comprada pelo mercado livre, e o custo do MWh é de R\$245,11.

$$\text{Custo da Energia} = \text{R\$ } 245,11 \text{ MWh} \quad (20)$$

$$\text{Custo da Energia} = \text{R\$ } \frac{245,11 \text{ MWh}}{1000} \quad (21)$$

$$\text{Custo da Energia} = \text{R\$ } 0,245 \text{ kWh} \quad (22)$$

Conforme dados analisados acima, conclui-se na expressão a seguir o valor médio do kWh pago pela empresa.

$$\text{Custo da Energia} = \text{R\$ } 0,245 \text{ kWh} \quad (23)$$

$$\text{Custo da Distribuição} = \text{R\$ } 0,074664 \text{ kWh} \quad (24)$$

$$\text{Custo do kWh} = \text{R\$ } 0,319664 \text{ kWh} \quad (25)$$

Para saber o valor total a ser pago, necessariamente o cálculo deverá ser feito em duas partes, uma parte se trata do consumo fora de ponta e a outra do consumo de ponta. De acordo com os dados calculados acima o valor de ponta e fora de ponta hoje é o mesmo, que varia em

torno de R\$ 0,319664 kWh. Para fins de cálculo utilizarei o valor de R\$ 0,32 e realizarei o cálculo para horário de ponta e fora de ponta. Com esses dados é possível encontrar o valor em reais do atual sistema de iluminação, pelas equações 26 a 34:

$$\text{Valor Fora de Ponta} = kW h / \text{ano} \times R\$ \quad (26)$$

$$\text{Valor Fora de Ponta} = 177.408 \times 0,32 \quad (27)$$

$$\text{Valor Fora de Ponta} = \mathbf{R\$ 56.770,76} \quad (28)$$

$$\text{Valor de Ponta} = kW h / \text{ano} \times R\$ \quad (29)$$

$$\text{Valor de Ponta} = 25.344 \times 0,32 \quad (30)$$

$$\text{Valor de Ponta} = \mathbf{R\$ 8.110,08} \quad (31)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = \text{Valor Fora de Ponta} + \text{Valor de Ponta} \quad (32)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = 56.770,76 + 8110,08 \quad (33)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = \mathbf{R\$ 64.880,84} \quad (34)$$

Outro dado muito importante a ser lembrado é a vida útil das lâmpadas, que de acordo com a fabricante Philips, a vida útil das lâmpadas de vapor de sódio chegam a 24 mil horas de uso, assim sendo, para uma análise mais correta, foi calculado a quantidade de meses que a iluminação em questão deve resistir, conforme as equações 35 a 37:

$$\text{Meses} = \frac{\text{Vida util (h)}}{\text{Horas (horas no mes)}} \quad (35)$$

$$\text{Meses} = \frac{24.000 (h)}{528 (horas no mes)} \quad (36)$$

$$\text{Meses} = \mathbf{45,45} \quad (37)$$

Esse dado nos mostra que o atual sistema tem uma vida útil de aproximadamente 4 anos. Desconsiderando o fato de que a atual iluminação foi comprada usada, a cada 4 anos no mínimo deverá ser feita a substituição das lâmpadas, desconsiderando problemas com reatores.

4.3 Metodologia proposta para iluminação

Será apresentado numericamente, a viabilidade da troca do sistema atual de iluminação do galpão que é composto pelas lâmpadas de vapor de sódio de 400 Watts com o uso de reatores,

por uma nova iluminação composta por lâmpadas de LED e mais adiantes mostrarei o comparativo entre os dois sistemas de iluminação, a fim de comprar ambos e comprovar a eficácia da metodologia proposta. Inicialmente, para a substituição do atual sistema de iluminação, foi proposto um conjunto de refletores de LED, o qual sua potência é de 200 Watts e seu fluxo luminoso é de 20.000 lúmens, ilustrado na figura 12 e seus dados técnicos na tabela 3.

Figura 12- Refletores de LED 200 Watts.



Fonte: Iluminim, 2017.

Tabela 3- Dados da luminária proposta.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potência	200w
Tipo	Super LED
Modelo	2018
Cor da Luz	Branco Frio
Luminosidade	20.000 lúmens
Ângulo de Luz	120 graus
Índice Reprodução Cor	> 70
Vida Útil	40.000 horas
Voltagem	Bivolt Automático (110v - 220v)
Material	Alumínio - Cor Cinza
Proteção	IP66 - Máximo Nível de Proteção
Certificação	CEE, RohS
Dimensões	 41cm x 33cm x 20,8cm
Peso	 4 kg

Fonte: Iluminim, 2017.

4.4 Projeto luminotécnico

Com base nas informações da tabela 3, a eficiência luminosa do sistema proposto é de:

$$E = \frac{\text{Fluxo luminoso (lm)}}{\text{Potência (W)}} \quad (35)$$

$$E = \frac{20.000 (lm)}{200 (W)} \quad (36)$$

$$E = 100 \text{ lm/W} \quad (37)$$

Observando que o sistema atual ficará ligado a mesma quantidade de horas anual que o sistema proposto, ou seja de 792 horas no horário de ponta e 5544 horas no horário fora de ponta. O consumo do sistema proposto é a somatória das potências das luminárias de cada lâmpada, portanto:

$$Pot. Total Sist. Proposto = Potência Luminaria \times \text{Número de Luminarias} \quad (38)$$

$$Potência Total Sistema Proposto = 200 W \times 72 \quad (39)$$

$$Potência Total Sistema Proposto = 14.400 \text{ Watts} \quad (40)$$

Conhecendo a quantidade de horas de utilização no ano e a potência total instalada, podemos então calcular o consumo total em quilowatts por ano do sistema proposto, novamente separando o consumo em horário fora de ponta e de ponta.

$$Consumo Total = Potência Total \times \text{Tempo Ponta} \quad (41)$$

$$Consumo Total = 14,4 \text{ kW} \times 792 \text{ h / ano} \quad (42)$$

$$Consumo Total = 11.404,8 \text{ kWh / ano no horário de ponta} \quad (43)$$

$$Consumo Total = Potência Total \times \text{Tempo Fora de Ponta} \quad (44)$$

$$Consumo Total = 14,4 \text{ kW} \times 5544 \text{ h} \quad (45)$$

$$Consumo Total = 79.833,6 \text{ kWh / ano no horário fora de ponta} \quad (46)$$

A partir dos consumos no horário de ponta e fora de ponta obtemos o consumo total anual pelas equações 47 a 49:

$$Con. Tot. no Ano = Cons. total hor. de ponta + Cons. total hor. fora de ponta \quad (47)$$

$$Consumo Total no Ano = 11.404,8 \text{ kWh / ano} + 79.833,6 \text{ kWh / ano} \quad (48)$$

$$Consumo Total no Ano = 91.238,4 \text{ kWh / ano} \quad (49)$$

Da mesma forma calculada, pode-se encontrar o valor a ser pago por ano em reais para o sistema de iluminação proposto:

$$\text{Valor de Ponta} = kW h / \text{ano} \times R\$ \quad (50)$$

$$\text{Valor de Ponta} = 11.404,8 \times 0,32 \quad (51)$$

$$\text{Valor de Ponta} = R\$ 3.649,536 \quad (52)$$

$$\text{Valor Fora de Ponta} = kW h / \text{ano} \times R\$ \quad (53)$$

$$\text{Valor Fora de Ponta} = 79.833,6 \times 0,32 \quad (54)$$

$$\text{Valor Fora de Ponta} = R\$ 25.546,752 \quad (55)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = \text{Valor Fora de Ponta} + \text{Valor de Ponta} \quad (56)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = 25.546,752 + 3.649,536 \quad (57)$$

$$\text{Valor total a ser pago anualmente} = R\$ 29.196,288 \quad (58)$$

É importante evidenciar que o tempo de vida útil do refletor de LED, de acordo com o fabricante é de 40.000 horas. A partir deste dado também foi calculado o quantitativo de meses de utilização do novo projeto de iluminação, conforme as equações 59 a 61:

$$\text{Meses} = \frac{\text{Vida util (h)}}{\text{Horas (horas no mes)}} \quad (59)$$

$$\text{Meses} = \frac{40.000 (h)}{528 (horas no mes)} \quad (60)$$

$$\text{Meses} = 75,75 \quad (61)$$

Esse dado nos mostra que o novo sistema de iluminação tem uma vida útil de aproximadamente 6,3 anos. A Tabela 4 demonstra os dados acima mencionados:

Tabela 4- Dados obtidos para o atual sistema de iluminação.

Dados obtidos do sistema proposto	
Eficiência	100lm/w
Potência total	14.400 W
Consumo no horário de ponta	11.404,8 kWh/ano
Consumo no horário fora de ponta	79.833,6 kWh/ano
Consumo total no ano	91.238,4 kWh / ano
Valor a ser pago no horário de ponta	R\$ 3.649,536
Valor a ser pago no horário fora de ponta	R\$ 25.546,752
Valor pago no ano	R\$ 29.196,288
Vida útil	40.000 horas
Tempo de utilização em meses	75,75
Quantidade de troca de lâmpadas em 5 anos	0

Fonte: Autoria própria.

4.5 Estudo dos motores

4.5.1 Superdimensionamento

Apesar de o superdimensionamento de motores seja comum na indústria, essa condição não possui fácil diagnóstico no caso da empresa analisada neste trabalho. Isso se deve porque há mudança constante dos produtos que estão sendo fabricados na mesma linha de produção, por exemplo, em momentos e fabricado um produto com dimensões e massa A, em outro muda para as dimensões e massa B, conseqüentemente, as variáveis de processo tem grande variação. Devido à esse fato são necessária medições durante um intervalo que abranja todos os tipos de produção de modo que um motor específico não seja considerado mal dimensionado por ter sido amostrado em um momento em que ele não é muito exigido. Além disso, a grande maioria dos motores de maior potência e funcionamento contínuo são acionados por inversores de frequência que já promovem a operação em um ponto mais adequado ao motor por meio do controle de tensão e frequência.

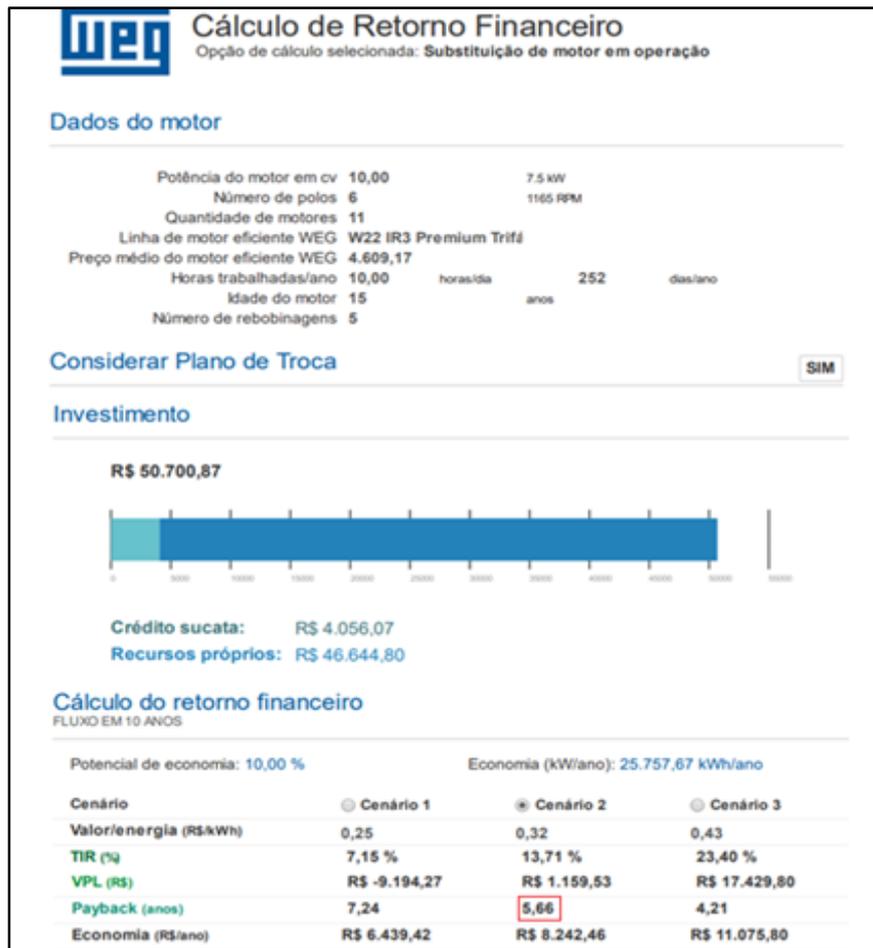
Baseado nessas situações é notado que um estudo de dimensionamento de motores seria bastante complexo, de alto custo, devido aos equipamentos a serem utilizados e a mão de obra necessária para isso, além de demandar muito tempo devido a quantidade de máquinas a serem analisadas.

4.5.2 Substituição dos motores

Como a empresa não tem um controle de manutenção dos motores, não foi possível realizar um estudo profundo, e que se mostrou viável para substituição dos mesmos, pois o

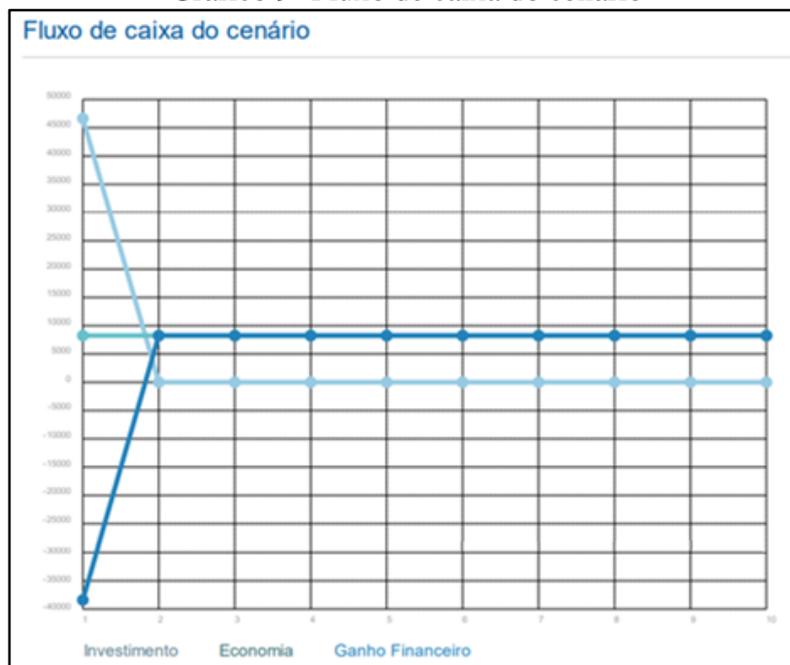
custo de um motor de auto rendimento, por esse único fato, leva um tempo superior aos 18 meses para começar a dar lucro. Usando o aplicativo SEE+ da WEG, é possível calcular o retorno do investimento com a substituição de motores. Para exemplificar usei um dos equipamentos que mais apresenta defeitos nos motores da empresa, o secador de lâminas.

Figura 13-Cálculo de Retorno Financeiro



Fonte: Weg SEE+

Gráfico 9- Fluxo de caixa do cenário



Fonte: Weg SEE+

O secador de lâminas possui 11 motores de 10 CV, 6 polos, tem mais de 15 anos de utilização e no mínimo cada um dos 11 já queimaram 5 vezes, e foram rebobinados, mas como já citado, a empresa não possui um controle de manutenção e por isso utilizei 5 rebobinagens para o cálculo mostrado acima.

Com isso observamos que o tempo de retorno do investimento passa de 5 anos e meio, tornando-o inviável hoje para o que a empresa pede.

Devido a isso foi implantado um sistema que foi chamado de Plano de Manutenção Elétrica de Motores (P.M.E.M), que através dele, as atividades de manutenção são definidas, analisadas, e controladas dentro de um processo de gerencia capaz de evidenciar problemas ocorridos, quantidade de queima de cada motor, com a finalidade principal de conseguir mensurar a verdadeira eficiência do mesmo.

Pois na recuperação de um motor danificado, a introdução de novos fatores irão aumentar consideravelmente as perdas em relação ao projeto original, tais como:

Aquecimento excessivo do núcleo de ferro para retirada do enrolamento defeituoso, provocando o rompimento do isolamento interlaminar e, como consequência, aumento das perdas por correntes parasitas (correntes de Foucault);

Rebobinagem em desacordo com os dados de projeto do fabricante (número de espiras a menos, bitola do fio menor, etc.);

Reparos no rotor, como a usinagem no diâmetro externo, provocam um grande aumento na corrente de magnetização e, conseqüentemente, das perdas.

O P.M.E.M já possui todos os 293 motores existentes na indústria, na tabela 5 é mostrado o sistema de controle.

Tabela 5- P.M.E.M - Dados cadastrados dos motores.

Nº Motor	Marca	Modelo	Potencia (CV)	Rotaçao (rpm)	Nº Polos	Eixo (mm)	Area de Instalação	Atual Nº Motor	Historico
JJ1	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ2	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ3	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ4	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ5	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ6	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ7	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 04	-	SIM
JJ8	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ9	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ10	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ11	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ12	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ13	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ14	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ15	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 07	-	SIM
JJ16	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 09	-	SIM
JJ17	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 09	JJ17	SIM
JJ18	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 09	18	SIM
JJ19	WEG	132M	5.0	1170	6	38	Estufa 09	-	SIM

Fonte: Autoria própria.

Ao clicar em qualquer TAG do motor (Nº Motor), como por tabela 6, motor JJ9, é mostrado o histórico do motor.

Tabela 6- P.M.E.M - Exemplo de manutenção – Motor TAG JJ9

LISTA DE MOTORES						
JJ9						
Aonde Esta	Status	Quem Retirou	Quem Instalou	Motivo da Manutenção	Data	
Estufa 07	ATIVO	-	-		02/08/2018	

Fonte: Autoria própria.

Na figura 14 é demonstrado como foi feita a marcação dos motores para o controle com o P.M.E.M.

Figura 14-Exemplo de Motor com TAG – JJ122



Fonte: Autoria própria.

Com esse banco de dados será possível em pouco tempo, evidenciar os motores que tem o seu rendimento reduzido, devido a quantidade de rebobinagens feitas, sabido que a cada rebobinagem o motor tende a perder entre 1 a 5% de rendimento, pelos motivos citados acima.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Cálculos da iluminação

Todas as lâmpadas das luminárias instaladas atualmente são da marca Philips, são de vapor de sódio de 400 W de potência e seu fluxo luminoso de acordo com a Philips é de 48.000 lumens aproximadamente. Segundo LED Depot (2011), um ponto negativo das lâmpadas de vapor de sódio é o fato de que nas luminárias usadas ocorre de saída o efeito conhecido como perda de reflexão na ordem de 30 a 50%, além das perdas nos reatores que também influenciam no fluxo luminoso final. Devido a eficiência da luminária, o sistema atual possui um fluxo luminoso próximo de 24.000 lumens, se considerarmos também as perdas do reator chegamos a um fluxo luminoso que pode ser estimado em 21.500 lumens.

Tabela 7-Dados obtidos para o atual sistema de iluminação.

Dados obtidos do sistema atual	
Eficiência	48,37 <u>lm/W</u>
Potência total	32.000 W
Consumo no horário de ponta	25.344 kWh / ano
Consumo no horário fora de ponta	177.408 kWh / ano
Consumo total no ano	202.752 kWh / ano
Valor a ser pago no horário de ponta	R\$ 8.110,08
Valor a ser pago no horário fora de ponta	R\$ 56.770,76
Valor pago no ano	R\$ 64.880,84
Vida útil	24.000 horas
Tempo de utilização em meses	45,45
Quantidade de troca de lâmpadas em 5 anos	1

Fonte: Autoria própria.

A escolha dessa lâmpada inicialmente é um boa opção devido a sua eficiência de iluminação e custo de aquisição, porem ela e uma iluminação quente, e com isso ela proporciona mais aconchego e conforto visual, o que acabada tirando a atenção e até mesmo tirando um pouco a disposição, causando sono, já a iluminação proposta será de luz fria, que colabora para que os colaboradores mantenham-se atentos e dispostos.

5.2 Resultados da economia com iluminação

A características das luminárias propostas, segundo LED Depot (2013) uma luminária em LED é projetada para dispersar a luz de forma dirigida diretamente para onde se quer iluminar. Já em uma luminária padrão para lâmpadas de vapor de sódio, ocorre de saída o efeito conhecido como “perda de reflexão”, na ordem de 30 a 50%. Esse é um dos motivos, mas não é só por ele que a iluminação de LED consegue entregar menos lumens e ser mais eficiente que a lâmpada de vapor de sódio. Analisando agora o consumo de energia atual, no galpão a iluminação possui 32kW de carga instalada, já a iluminação proposta de LED terá apenas 14,4 kW, gerando uma economia de 55% no consumo de energia elétrica. Já se tratando de consumo de energia anual, no sistema atual o consumo é de 202,75 MWh, já no sistema proposto o consumo seria de apenas 91,23 MWh, o que acarretaria em um redução de 111,52 MWh no consumo de energia anual, é o que mostra a tabela 8:

Tabela 8- Comparativo de Potência e Consumo de energia.

	Iluminação atual	Iluminação proposta	Economia
Potência instalada	32 kW	14,4 kW	55%
Consumo de energia	202,75 MWh	91,23 MWh	111,52 MWh

Fonte: Autoria própria.

Analisando o custo de aquisição dos refletores, que custa na faixa de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 cada refletor, o valor total para comprar as 72 unidades, pegando a média dos valores seria de R\$ 18.000,00, o que aparentemente é um custo elevado acaba sendo pago rapidamente com o consumo de energia, como mostra a tabela 9:

Tabela 9- Comparativo de valores pagos: LED X Sódio.

	Iluminação atual	Iluminação Proposta	Economia
Valor a ser pago com consumo de energia anualmente	R\$ 64.880,84	R\$ 29.196,288	R\$ 35.684,552

Fonte: Autoria própria.

Analisando a economia que o sistema proposto irá gerar anualmente podemos calcular com as expressões 62 a 64 a economia mensal:

$$Economia Mensal = \frac{Economia\ anual\ (R\$)}{Meses\ do\ ano} \quad (62)$$

$$Economia Mensal = \frac{R\$ 35.684,552}{12} \quad (63)$$

$$Economia Mensal = R\$ 2.973,71 \quad (64)$$

Com esse dado foi possível calcular com quantos meses após a instalação do sistema proposto obteremos o retorno do investimento, pela tabela 10:

Tabela 10- Retorno do investimento da iluminação

	Taxa mínima de atratividade pedido pela empresa						
	2% a.m						
	0,02						
	26,82% a.a						
	0,2682						
Meses	1	2	3	4	5	6	7
Economia total sem descontos	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71	R\$ 2.973,71
Economia com desconto de 2% a.m	R\$ 2.915,40	R\$ 2.858,24	R\$ 2.802,19	R\$ 2.747,25	R\$ 2.693,38	R\$ 2.640,57	R\$ 2.588,79
Lucro com o investimento em 7 meses	R\$ 19.245,82						
Valor do Investimento	-R\$ 18.000,00						
RETORNO DO INVESTIMENTO	6 meses e 15 dias						

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que com esse investimento a empresa terá o retorno do investimento em 6 meses e 15 dias, e a longo prazo, devido a iluminação ter uma vida útil de 6 anos, a empresa terá um lucro considerável, conforme observa-se na tabela 11.

Tabela 11- Lucro final com o investimento da iluminação

Taxa mínima de atratividade pedido pela empresa	2% a.m		0,02		26,82% a.a		0,2682
Anos	1	2	3	4	5	6	
Economia total sem descontos	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55	R\$ 35.684,55
Economia com desconto de 2% a.m	R\$ 28.137,95	R\$ 22.187,31	R\$ 17.495,12	R\$ 13.795,24	R\$ 10.877,81	R\$ 8.577,36	
Lucro com o investimento em 6 anos	R\$ 101.070,80						
Valor do Investimento	-R\$ 18.000,00						
LUCRO DO INVESTIMENTO EM 6 ANOS	R\$ 83.070,80						

Fonte: Autoria própria.

5.3 Resultado com os motores

Não foi possível obter resultado esperados até o presente momento com os motores devido aos problemas encontrados, mas mesmo assim a empresa teve uma eficiência, não com energia, mas sim na parte de gerência, e futuramente certamente será possível realizar cálculos mais aprofundados para viabilizar a troca dos motores de baixo rendimento e muitas rebobinagens.

6 CONCLUSÃO

A indústria é o maior consumidor de energia comprando direto dos geradores a preços mais acessíveis, o que acaba gerando menos interesse na racionalização do consumo. Entretanto essa é a área que apresenta não só o maior número de oportunidades como também as oportunidades que geram os maiores resultados devido aos elevados consumos envolvidos.

Da fundamentação teórica nota-se que, para os fins de uma quantização aproximada de perdas, como as efetuadas nesse trabalho, uma abordagem preciosa e aprofundada é desnecessária tendo em vista cálculos simples são suficientes para identificação de pontos onde as perdas são mais críticas. Isso se justifica pelo fato de que as oportunidades na área industrial são muitas sendo então a parte mais importante do estudo a identificação dessas oportunidades. Além disso, não foi objetivo do presente estudo uma modelagem complexa dos processos até mesmo porque esse tipo de abordagem iria contra o tema desse trabalho sendo um desperdício de energia analisar processos tão a fundo quando são tantas as oportunidades resultado sem necessidade de tal aprofundamento.

Os resultados com a iluminação obtidos demonstram que a substituição de lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED no sistema de iluminação, são muito viáveis, o estudo foi apresentado para a empresa, que irá substituir gradativamente a iluminação atual pela proposta. Instalando iluminações de LED as indústrias conseguem uma redução do desperdício e conseqüentemente, uma diminuição com gastos devido a um custo benefício promissor. Além de ser mais viável, é muito vantajoso para os consumidores de modo geral, implementar a tecnologia LED em seu sistema de iluminação. Diante disso, pode-se verificar que o aumento da demanda de tal tecnologia, torna o mercado mais competitivo no campo da iluminação, contribuindo para o aperfeiçoamento da tecnologia LED e reduzindo custos com a produção dos mesmos, tornado assim as lâmpadas LED cada vez mais acessíveis aos consumidores de modo geral.

Em relação à motores elétricos a oportunidade mais favorável é a análise do resultado do P.M.E.M. daqui a um tempo, para conseguir apresentar para a empresa o retorno do investimento dentro do prazo máximo exigido. Já em relação ao mal dimensionamento de alguns equipamentos, estudos mais completos devem ser

desenvolvidos levando-se em conta as características produtivas.

Por fim, a eficiência energética não é um tema para se analisar em um único estudo, deve ser um conjunto de análises a ser revistos constantemente. O dinamismo e as alterações em equipamentos requer que o processo de efficientização do consumo seja iterativo. Deve-se, inicialmente, identificar os pontos onde ocorrem perdas críticas, seguido de uma análise de viabilidade técnica das alterações para então quantizar as perdas de modo a se obter um resultado economicamente atrativo para o melhoramento e finalmente implementando as soluções propostas verificando, então, os resultados das alterações.

REFERÊNCIAS

ALVES, S.S. **Tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética: a experiência mundial e o cenário nacional.** 2007, 187 p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ANEEL. PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Modulo 8. 2017. 66.

ANEEL - Resolução Homologatória Nº 1.507, DE 5 DE ABRIL DE 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh20131507.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995. Iluminação em Ambientes de Trabalho - Parte 1. 1ª ed. 21 Mar. 2013. Acesso em: 27 de setembro de 2018.

BAJAY, S. V., Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria, Brasília, DF, Brasil, 2016. Disponível em:

<<http://www.cni.org.br/portal/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=FF8080812C8533A0012C988A67675A74>>. Acesso em 02 setembro 2018, 23:44:00.

BRIGHTLUX. Produtos LED, linha alta performance. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/document/291781050/Brightlux-Catalogo>. Acesso em: 04 de outubro de 2018.

CELESC. O mercado de Energia. Acesso em: 15 de outubro de 2018.

DECKMANN, S.; POMILIO, J. Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica. Campinas: [s.n.], 2016. Universidade Estadual de Campinas. 12, 62.

EMBAIXADA DA REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA, Energias Renováveis e Eficiência Energética, Brasília, DF, Brasil, 2013. Disponível em:

<http://www.brasil.diplo.de/contentblob/2715424/Daten/3343286/Folha_5_Energias_Renovaveis.pdf>. Acesso em 05 setembro 2018, 15:45:00.

EPE. Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024). Rio de Janeiro, 2015. 25.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física Volume 2.**

INEE, O que é eficiência energética? Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em 25 outubro 2018, 09:20:00.

LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 528p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas industriais** - 4ª edição – lançada em 1995 no rio de janeiro RJ – editora LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S/A – 656 páginas.

Manual Técnico de Motores Elétricos. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pdf>. Acesso em 07 de novembro de 2018.

MARTINS, Maria Paula de Souza. Inovação Tecnológica e Eficiência Energética. 1999, 43 p. Monografia (Pós-Graduação). Instituto de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MUNDOSOL - Linha UPS – Innovation. Disponível em: http://www.mundosol.com.br/refletores_industriais_smd.html. Acesso em: 01 de novembro de 2018.

NATURESA, J.S., Eficiência Energética, Política Industrial e Inovação Tecnológica, Campinas, SP, Brasil, 2017. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000795336>. Acesso em 22 outubro 2018, 21:50:00.

PASTERNAK, A.D., Global Energy Futures and Human Deveploment: A Framework for Analysis, Springfield, VA, EUA: U.S. Department of Commerce: 2014. Disponível em: <<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>>. Acesso em 16 setembro 2018, 14:30:00.

PROCEL (1), Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissa e Diretrizes Básicas, Brasília, DF, Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnerg> >. Acesso em: 01 setembro 2018, 21:36:00.

PROCEL (2), Programas: Procel, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em 20 novembro 2018, 19:20:00.

SCHOEPS, C.A. **Conservação de energia elétrica na indústria: faça você mesmo.** 3.ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 1993.

SPEYER, Robert F. **Thermal Analysis of Materials**, Atlanta: CRC Press, 1994. 298p.

TONIM, Gilberto. A gestão da Energia Elétrica na Indústria – Seu Suprimento e Uso Eficiente. 2009. 112f. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Acesso em 09 de setembro de 2018.

US DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Washington, DC, EUA, 2013. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>>. Acesso em 05 setembro 2018, 15:30:00.

TONIM, Gilberto. A gestão da Energia Elétrica na Indústria – Seu Suprimento e Uso Eficiente. 2009. 112f. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Acesso em 09 de setembro de 2018.

WEG SEE + - <https://www.weg.net/see+/pages/regua.jsp>. Acesso em 15 de setembro de 2018.