

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDERSON HIROSHI OKADA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA: PROGRAMA DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017

ANDERSON HIROSHI OKADA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA: PROGRAMA DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação do Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná – UTFPR, apresentado
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Esp. José Roberto
Shimazaki

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Anderson Hiroshi Okada

Análise de viabilidade em uma indústria: programa de eficiência energética visando redução de custos

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 15:50hs do dia 23/11/2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao professor José Roberto Shimazaki, por aceitar o meu convite de orientação neste trabalho, por todos seus conselhos, apoio e instrução para o melhor desenvolvimento do trabalho proposto, que, sem suas contribuições, não seria possível tal realização.

Aos professores João César de Paula Salve e Luiz Marcelo Chiesse da Silva, por aceitarem compor banca de avaliação e pelas contribuições no trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por toda a experiência obtida tanto no desenvolvimento profissional quanto pessoal.

À minha família, que sem seu incentivo nada seria possível, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos.

A todos os amigos que estiveram presentes no decorrer dos anos de estudo, nas fases difíceis e no desenvolvimento pessoal, amizade que levarei para a vida toda.

E, agradeço também a minha amiga Roberta por me ajudar nesta etapa final do trabalho, me auxiliando sempre que possível.

The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams.
(ROOSEVELT, Eleanor).

O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.
(ROOSEVELT, Eleanor).

RESUMO

OKADA, Anderson Hiroshi. **Análise de viabilidade em uma indústria: Programa de eficiência energética visando redução de custos.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Este trabalho tem como objetivo aplicar um programa de eficiência energética em uma indústria, visando reduzir os custos de consumo de energia elétrica que a empresa possui. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica a partir de livros, artigos periódicos, dissertações, abordando métodos para realizar um programa de eficiência energética. Ao final do trabalho, uma análise de viabilidade apresentará as soluções encontradas para os problemas de desperdício de energia elétrica da indústria, bem como o investimento necessário e seu retorno financeiro. Este trabalho serve de auxílio para que a empresa realize uma gestão energética eficiente. Conclui-se que o conhecimento dos métodos de aplicação do programa de eficiência energética é utilizado no intuito de reduzir custos e, de forma adicional, colabora como uma estratégia financeira de competitividade no mercado.

Palavras-chave: Análise. Viabilidade. Indústria. Eficiência. Energética.

ABSTRACT

OKADA, Anderson Hiroshi. **Viability Analysis in an Industry: Energy efficiency program to reduce costs.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

This paper aims to achieve an energy efficiency program in an industry, to reduce the electricity consumption costs. For that, it used a literature review from books, journal articles, dissertations, covering methods for performing an energy efficiency program. At the end of the work, a viability analysis will present the solutions to the waste of electricity problems of the industry, and the necessary investment and financial return. This paper provides aid for the company to make an efficient energy management. It concludes that the knowledge of the energy efficiency implementation methods is used in order to reduce costs and, in addition to, collaborates as a competitive financial market strategy.

Keywords: Analysis. Viability. Industry. Efficiency. Energy.

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABDE | Associação Brasileira de Instituições Financeiras de Desenvolvimento |
| ABESCO | Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| COPEL | Companhia Paranaense de Energia |
| INEE | Instituto Nacional de Eficiência Energética |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Exemplo de utilização dos coeficientes de carga..... | 32 |
| Tabela 2 - Quantidade de lâmpadas por área..... | 35 |
| Tabela 3 - Relação de lâmpadas x lâmpadas LED | 36 |
| Tabela 4 - Economia de energia de cada área da empresa..... | 36 |
| Tabela 5 - Preço das lâmpadas LED..... | 37 |
| Tabela 6 - Investimento na compra de lâmpadas LED..... | 37 |
| Tabela 7 - Economia mensal de cada área..... | 38 |
| Tabela 8 - Análise de viabilidade do <i>retrofit</i> | 38 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA..... | 13 |
| 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS..... | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS | 14 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 16 |
| 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA..... | 16 |
| 2.2 ILUMINAÇÃO | 25 |
| 2.2.1 Definições | 25 |
| 3 METODOLOGIA..... | 31 |
| 3.1 LEVANTAMENTO DE TODAS AS CARGAS ELÉTRICAS E COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO | 31 |
| 3.2 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS DA EMPRESA | 32 |
| 3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE NA MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS (<i>RETROFIT</i>)..... | 33 |
| 4 RESULTADOS | 34 |
| 4.1 LEVANTAMENTO DE TODAS AS CARGAS ELÉTRICAS E COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO | 34 |
| 4.2 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS DA EMPRESA | 34 |
| 4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE NA MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS (<i>RETROFIT</i>)..... | 37 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 39 |
| REFERÊNCIAS..... | 40 |

1 INTRODUÇÃO

O ambiente industrial, que engloba diversos ramos de produção, faz parte de um mercado global com uma concorrência extremamente dinâmica, devido ao fato de que independe de quais produtos são fabricados, sempre há um concorrente competindo no mesmo ramo de mercado, sendo que muitas vezes este concorrente pode estar situado em vantagem competitiva. Com base nessa concorrência, uma empresa para se manter competitiva deve fazer algo para que seus lucros sejam reduzidos sem uma elevação no preço de seus produtos, garantindo competitividade.

Outro ponto a ser observado é a instabilidade do mercado devido à fatores como crises financeiras, por exemplo. Tais fatos afetam diretamente o setor produtivo, independentemente de seu ramo de atuação. Nestes casos, as empresas reduzem ou interrompem os investimentos em ampliações e também começam a buscar formas de reduzir gastos sem que a produção seja prejudicada.

Uma solução a ser adotada para que os lucros se mantenham em um patamar previamente delimitado, sem que haja um aumento nos preços de seus produtos é o investimento em práticas de otimização voltadas à eficiência energética.

As práticas de otimização voltadas à eficiência energética são práticas de otimização. Que buscam melhorar, otimizar, quaisquer procedimentos ou processos realizados na indústria, potencializando a utilização da energia elétrica, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência dos equipamentos, contribuindo para que a empresa reduza custos.

Na abordagem do tema de eficiência energética, muitas vezes é associado ao aumento da eficiência com a racionalização do uso de energia elétrica. Ao realizar a racionalização o usuário acaba se privando da utilização de um recurso visando reduzir seus gastos, mas esta não é uma forma de aumentar a eficiência energética da empresa. A otimização não priva o usuário do recurso existente, somente auxilia para que este recurso seja utilizado da melhor forma possível.

A eficiência energética consiste na obtenção do melhor desempenho de uma atividade, utilizando o menor gasto de energia possível. Para isso podem ser utilizados equipamentos e tecnologias modernas para auxiliar na redução do consumo de energia. Como exemplo desta prática, os motores de alto rendimento são

conhecidos por possuírem uma eficiência maior em relação aos motores comuns (que não são classificados como sendo de alto rendimento), ou seja, realizam o mesmo trabalho consumindo menos. Segundo a ABESCO (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia), os motores de alto rendimento economizam de 20 a 30% de energia, comparados aos motores comuns, apesar do investimento inicial superior.

De acordo com o manual de eficiência energética na indústria elaborado pela COPEL, com o uso eficiente da energia elétrica, a indústria terá uma melhor utilização das instalações e equipamentos elétricos, uma redução no consumo de energia e conseqüente economia nas despesas com eletricidade. Com o melhor aproveitamento da energia, há um aumento de produtividade e do padrão de qualidade no produto acabado, mantendo o nível de segurança e diminuindo o tempo de parada das máquinas para a realização de manutenção.

Além destas vantagens para a indústria, a sociedade em geral terá uma “redução dos investimentos para a construção de usinas e redes elétricas e conseqüente redução dos custos da eletricidade, redução dos preços de produtos e serviços e maior garantia de fornecimento de energia”. Hoje, uma redução de consumo de energia afeta toda a cadeia produtiva, incluindo os consumidores finais, que perceberão um reflexo positivo no preço do produto acabado.

Ao implementar procedimentos para a melhoria da eficiência energética, uma empresa acaba indiretamente adotando práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável, pois utiliza conceitos de consumo consciente, mudança de hábitos e utilização racional da energia. A adoção destas práticas pode ser levantada como um dos aspectos positivos da organização, analisando em um âmbito global. Muitas vezes, empresas que possuem uma política sustentável e que se preocupam com o meio ambiente são tidas como preferência em concorrência com as demais.

Diante das diversas vantagens na melhoria da eficiência energética na indústria, algumas organizações não realizam estas práticas, muitas vezes baseando-se na análise financeira destas otimizações. O procedimento de otimização demanda um custo, cujo valor deve ser avaliado para a decisão da implementação. Para auxiliar este processo, pode ser realizada uma análise de viabilidade para uma comparação custo-benefício. Esta análise de viabilidade deve apresentar os dados de custo e benefício claramente, de forma a auxiliar na tomada de decisão.

Outro incentivo para que as empresas invistam em projetos voltados a eficiência energética é o fato de alguns órgãos e instituições realizarem financiamento de projetos voltados à sustentabilidade e eficiência energética no Brasil. Dentre estes podem ser citados: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Agência de Desenvolvimento Paulista (DesenvolveSP).

O BNDES, fundado em 1952, é um dos maiores bancos de desenvolvimento do mundo, segundo o próprio *site* do órgão. Este órgão disponibiliza uma linha de crédito acima de R\$20 milhões para projetos de implantação, expansão e modernização de empreendimentos. Segundo o BNDES, qualquer investimento focado na redução do consumo de energia ou no aumento da eficiência energética pode solicitar esta linha de crédito.

A DesenvolveSP é uma instituição financeira do Governo do Estado de São Paulo, que possui alguns parceiros institucionais importantes, por exemplo, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e Associação Brasileira de Instituições Financeiras de Desenvolvimento (ABDE). As condições para solicitação de financiamento de projetos voltados à eficiência energética da DesenvolveSP se baseiam nos mesmos termos do BNDES.

Deste modo, a aplicação de práticas de otimização voltadas à eficiência energética é uma importante opção para as empresas obterem maior competitividade no mercado.

Com base nestas informações, observando que a área de eficiência energética está em constante expansão e desenvolvimento, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade em uma indústria buscando otimizar sua eficiência energética e reduzir os gastos de energia elétrica.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho aborda uma análise de viabilidade buscando otimizar a eficiência energética em uma indústria e a redução dos gastos de energia elétrica.

A motivação para a realização deste trabalho está fundamentada na busca pela redução no consumo de energia elétrica. Para isso, devemos obter maiores informações sobre como reduzir o consumo e utilizar a energia de forma eficiente. A

análise de viabilidade apresenta soluções e métodos que podem proporcionar esse aumento da eficiência energética, como consequente redução no consumo de energia. Além disso, as soluções e métodos são embasados em conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Elétrica, e que agora podem ser aplicados em um estudo de caso real focado na melhoria da eficiência energética e na redução de custos de uma planta industrial.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

As empresas enfrentam problemas com o alto consumo de energia elétrica devido as altas taxas cobradas pelas concessionárias de energia, e isso acaba influenciando nos custos de produção. Para contornar este problema algumas organizações investem na aplicação de técnicas para otimizar o consumo de energia elétrica na planta industrial, e por consequente, reduzir seus custos.

Vale salientar que otimizar o consumo de energia não significa racionar o consumo de energia, em outras palavras, muitas vezes a 'otimização' encontrada em alguns casos é criar a restrição de algumas atividades para realizar a diminuição do consumo de energia. Este tipo de procedimento afeta a produção da empresa, portanto não deve ser tomada como uma otimização do consumo de energia elétrica.

Para isto, este trabalho busca soluções que otimizem o consumo de energia em uma indústria e contribuam para redução da conta de energia elétrica paga pela empresa.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade em uma indústria buscando otimizar sua eficiência energética e reduzir os gastos com a conta de energia elétrica. Para isso, é indispensável analisar e estudar os conceitos de eficiência e energética e como eles podem ser aplicados na indústria, para que haja

maior conscientização de todos os usuários e assim, buscar uma maior economia de energia elétrica.

Além disso, esta análise de viabilidade possibilita identificar algumas formas de buscar eficiência energética em indústrias que possuem um alto consumo de energia.

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Estudar e avaliar as condições dos equipamentos e sistemas das instalações elétricas em uma planta industrial, buscando melhorar sua eficiência energética, e apresentar uma análise de viabilidade das possíveis soluções e métodos para a redução do desperdício de energia elétrica, contribuindo assim para a redução dos custos com a energia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais fatores que contribuem para o alto consumo de energia em uma empresa e quais os principais equipamentos e sistemas que contribuem para o desperdício de energia elétrica.

- Classificar as cargas elétricas de uma empresa real, de acordo com os coeficientes de utilização.

- Identificar as áreas da empresa e realizar um estudo de otimização para reduzir o consumo de energia destas áreas.

- Aplicar o programa de eficiência energética com ênfase na parte de iluminação.

- Realizar uma análise de viabilidade da aplicação do programa de eficiência energética.

- Apresentar para a empresa em quanto tempo este investimento será revertido para a empresa, em outras palavras, apresentar o *payback* do investimento para a empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) sugere a criação de uma organização nacional para promover a eficiência energética, a partir de uma ação articulada de especialistas e entidades. Segundo Fernandes et al. (2001, p.4), essas ações devem ser contempladas desde o projeto, passando pela construção até a utilização final da instalação, conforme o modelo descrito sugerido:

- a- Fase de projeto:** considerar os conceitos de eficiência energética na arquitetura; utilizar os modelos de simulação energética das edificações para estudo de prédios novos e pós-ocupados; incluir os conceitos de racionalidade bioclimáticas na orientação da edificação; escolher materiais que cumpram o papel de reter ou dispensar a energia térmica no interior da edificação; especificar equipamentos e sistemas de supervisão e controle que otimizem a eficiência energética nas áreas de transporte; iluminação; refrigeração e bombeamento; e, sistematizar informações sobre dados climáticos adequados para a elaboração dos projetos de climatização.

- b- Fase de construção:** utilizar técnicas construtivas e equipamentos que possam reduzir o consumo de energia durante o período da construção, com o aumento da segurança e redução do prazo.

- c- Fase de uso das instalações:** estudar possibilidades de melhoria na operação dos equipamentos existentes; viabilizar a substituição de equipamentos ineficientes pelos de maior eficiência; identificar comportamentos inconscientes ou desinformações dos usuários sobre o uso racional de energia; procurar aproveitar a energia renovável originária do sol sob a forma de calor, luz e vento, disponibilizada pela natureza local.

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), qualquer atividade em uma sociedade moderna só é possível com o uso intensivo de uma ou mais formas de energia. Dentre as diversas formas de energia interessam, em particular, aquelas que são processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores onde e quando necessárias, tais como a eletricidade, a gasolina, o álcool, gás natural, etc.

A energia é utilizada em diversos tipos de sistemas, dos mais simples (lâmpada, resistência de chuveiro) aos mais complexos (motores elétricos, refrigeradores, automóvel, linhas de produção). Estes equipamentos basicamente funcionam como transformadores de energia. Por exemplo, uma lâmpada ela transforma a energia elétrica em luz, porém existe uma perda nessa geração de luz, proveniente do calor gerado por essa emissão de luz. Nesse caso, para obter a eficiência da lâmpada, divide-se a energia da luz pela energia elétrica consumida por ela, encontrando assim a eficiência da lâmpada.

O caso anterior descreve uma fonte de desperdício na lâmpada devido a geração de calor, porém, outra forma de desperdício encontrado é a utilização inadequada dos equipamentos e sistemas existentes. Por exemplo, um aparelho de ar condicionado ligado em uma sala que não está sendo utilizada é um desperdício, pois o equipamento está resfriando uma sala vazia.

Ao parar para pensar, notamos que existe um grande desperdício de energia proveniente da utilização inadequada de equipamentos, seja no setor industrial ou residencial. É necessário realizar alguns cálculos para tomar decisões na escolha de equipamentos mais eficientes ou troca de equipamentos antigos por novas tecnologias, porém estes cálculos nem sempre são de fácil resolução e algumas vezes exigem o conhecimento de ferramentas matemáticas para equacionar a melhor decisão do ponto de vista econômico. Vale salientar que quanto mais complexos são os sistemas, o equacionamento da solução pode se tornar mais difícil ainda. Esta dificuldade é a razão para que alguns consumidores usem a energia de forma inadequada.

Para auxiliar na busca por eficiência energética, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) listou alguns itens que podem ser aplicados pelos consumidores. Segundo a COPEL (2005):

a- Instalações elétricas:

- Evite sobrecarregar os circuitos de distribuição e mantenha bem balanceadas as redes trifásicas. O condutor superaquecido é, normalmente, um sinal de sobrecarga. Deve-se substituir este condutor por outro de maior bitola ou redistribuir a sua carga para outros circuitos.
- Verifique as emendas ou conexões.
- Para potências elevadas, dê preferência ao transporte de energia em alta tensão.
- Realize um estudo técnico-econômico, verificando a possibilidade de instalação de transformadores próximos às cargas solicitantes.
- Verifique o fator de potência da instalação.

b- Motores:

- Os motores devem funcionar entre 60 e 90% de sua potência nominal.
- Se a máquina necessitar de 2 ou 3 velocidades diferentes, pode-se utilizar um motor assíncrono com 2 ou 3 velocidades.
- Adotar, sempre que possível, variadores eletrônicos de velocidade (inversores estáticos para corrente alternada).
- Desligar os motores das máquinas em períodos ociosos (quando estas não estiverem operando), desde que isto não provoque problemas ao equipamento ou à instalação elétrica.
- Verificar se as características do motor são adequadas às condições do ambiente onde está instalado (temperatura, atmosfera corrosível, etc.).
- Verificar a possibilidade de instalar os motores em locais com melhor ventilação e em ambientes menos agressivos.
- Evitar utilizar motores superdimensionados. Por ocasião de uma troca, instalar um novo motor com potência adequada.
- Considerar a utilização dos motores de alto rendimento, que apresentam perdas reduzidas e maior vida útil.
- Na compra de motores novos, dar preferência ao uso de motores com o Selo PROCEL/INMETRO de economia de energia.

c- Iluminação:

- Ligar a luz elétrica somente onde não existir iluminação natural suficiente para o desenvolvimento das atividades.
- Desligar as lâmpadas de dependências desocupadas, salvo aquelas que contribuem para a segurança.
- Evitar pintar os tetos e paredes com cores escuras as quais exigem lâmpadas de maior potência para iluminação do ambiente.
- Conservar limpas as janelas e luminárias.
- Utilizar telhas transparentes para aproveitamento da iluminação natural.
- Dividir os circuitos de iluminação, permitindo a sua utilização parcial sem prejudicar o conforto.
- Percorrer os diversos setores da indústria, a fim de verificar se há luminárias operando desnecessariamente ou locais com excesso de iluminância.
- Fazer a limpeza preferencialmente durante o dia. Caso seja realizada à noite, deve ser iluminado apenas o setor em que o serviço esteja sendo efetuado.
- Substituir lâmpadas incandescentes e mistas por lâmpadas mais eficientes.
- Dar preferência ao uso de lâmpadas fluorescentes compactas com o Selo PROCEL/INMETRO.

d- Sistemas de refrigeração:

- Em câmaras frigoríficas, regule sempre o termostato de acordo com a temperatura de armazenamento relativa aos produtos armazenados e período de armazenamento.
- Procure sempre armazenar na mesma câmara produtos que necessitem a mesma temperatura, percentual de umidade e mesmo período de armazenagem.
- Mantenha sempre em bom funcionamento o termostato e a resistência de aquecimento das unidades evaporadoras que operem em faixas de congelamento, pois o gelo é isolante e dificulta a troca de calor.
- Mantenha, sempre que possível, as portas das câmaras frigoríficas fechadas e vedadas, inclusive as portas das antecâmaras.

- Mantenha sempre em bom funcionamento e limpos os termostatos que operam com válvulas de três vias e/ou com válvulas de expansão.
- Use, nas câmaras frigoríficas, somente lâmpadas mais eficientes, preferencialmente frias, mantendo o nível de iluminância adequado (200 lux).
- Evite, sempre que possível, instalar condensadores ao alcance de raios solares ou próximos a fornos, estufas, ou quaisquer equipamentos que irradiem calor.
- Utilize cortina de ar, quando não houver antecâmara.
- Recupere, sempre que houver simultaneidade ou possibilidade de acumulação, o calor rejeitado em torres de resfriamento para aquecimento ou pré-aquecimento de fluídos envolvidos em outros processos. Esta recuperação pode ser realizada por trocadores ou bombas de calor.
- Estude a possibilidade de termo-acumulação em gelo ou água gelada para os sistemas de refrigeração de expansão indireta de médio ou grande porte, que utilizem a água gelada como volante térmico e operem nas faixas de temperatura compatíveis.

e- Sistema de ar comprimido:

- Verificar periodicamente as condições físicas dos compressores e realizar limpeza periódica ou troca dos filtros de ar.
- Fazer a limpeza de filtros separadores de óleo no caso de compressores de parafuso.
- Manter as correias de acionamento adequadamente ajustadas, trocando-as quando desgastadas.
- Sempre que possível, fazer as tomadas de ar de admissão fora da casa de máquinas.
- Eliminar todos os vazamentos existentes no trajeto entre a geração e o reservatório central e na rede de distribuição de ar. O valor máximo admissível para vazamentos é de 5% para indústrias de médio porte que não possuem ferramentas como marteletes, esmeris, etc. Para indústrias como as de caldeirarias pesada e construção civil é admissível um valor máximo de 10%.

- Realizar, periodicamente, drenagem do reservatório central.
- Manter limpas as superfícies dos trocadores de calor (intercoolers).
- Efetuar a distribuição do ar comprimido evitando trajetos complexos e curvas. A perda de pressão máxima admissível entre o reservatório central e o ponto de utilização mais distante é de 0,3 kg/cm². Acima deste valor, a rede de distribuição deve sofrer alterações para a simplificação de trajetos.
- Retirar da rede de distribuição todos os ramais secundários desativados ou inoperantes. Isto evita acúmulos de condensado, perda de carga excessiva e vazamentos.
- Utilizar os diversos tipos de válvulas de acordo com a sua aplicação específica. Evitar, por exemplo, o uso de registro de bloqueio para regulagem de fluxo e vice-versa.
- Efetuar a drenagem de condensados dos pontos de menor cota em redes sem óleo e aplicar o sistema de purga em redes com óleo. Uma inclinação de 5 a 10 mm por metro linear de rede facilita o funcionamento do sistema de purga de condensado.

f- Condicionamento de ar:

- Regule o termostato do aparelho para uma temperatura ambiente que proporcione conforto.
- Limpe periodicamente os filtros, trocando-os quando necessário.
- Verifique se as correias dos ventiladores estão ajustadas e perfeitas.
- Utilize cortinas e persianas para evitar a incidência de raios solares nos ambientes com condicionares de ar.
- Sempre que possível ligue o condicionador de ar uma hora após o início do expediente e desligue uma hora antes do seu término.
- Mantenha fechadas as portas e janelas nos ambientes com condicionadores de ar.
- Mantenha desobstruídas as grelhas de circulação de ar.
- Verifique se o tratamento de água gelada e de condensação está sendo adequado.
- Utilize, preferencialmente, lâmpadas fluorescentes em ambientes climatizados.

- Desligue o aparelho ao se ausentar do ambiente por longo tempo.
- Dê preferência ao uso de condicionadores de ar que possuem o Selo PROCEL/INMETRO de economia de energia.

g- Bombeamento de água:

- Faça a manutenção periódica do sistema, eliminando vazamentos e efetuando a limpeza dos filtros.
- Verifique se o sistema está dimensionado corretamente, isto é, se a vazão da bomba é adequada para as necessidades do sistema, se o diâmetro da tubulação é apropriado (a economia na tubulação reflete em maior custo de energia) e se a potência do motor elétrico é compatível com a bomba (a sobra excessiva de potência ocasiona um baixo fator de potência).
- Evite curvas acentuadas, reduções e ampliações bruscas. Isto ocasiona um considerável aumento na perda de carga das instalações.
- Evite a entrada de ar na tubulação de sucção. Isto ocorre pelo estado precário da tubulação ou intencionalmente, com o ajuste da vazão e, conseqüentemente, da carga do motor. Apesar de ser uma maneira de redução da carga solicitada, esta atitude é condenável pela redução da eficiência e vida útil da bomba. O procedimento correto seria, ao invés da entrada de ar, o redimensionamento do conjunto motor-bomba através do rotor ou jogo de polias.
- Evite grandes alturas de sucção. A ocorrência de alturas demasiadas de sucção, além de diminuir o rendimento, pode provocar "cavitação", diminuindo a vida útil do rotor da bomba.
- Verifique a altura de despejo necessária. Quando a saída da tubulação se encontra numa altura muito superior ao ponto de despejo, provoca um gasto desnecessário de energia por superdimensionamento da instalação.
- Deve-se evitar que as instalações sejam compostas por um único conjunto motor-bomba. O correto seria dividir a carga hidráulica em dois (ou mais) conjuntos motrizes.

Para explicar melhor o que é o fenômeno da cavitação e demonstrar a grandeza de sua gravidade nas instalações, Macintyre (2010, p.206) cita que quando

essas partículas formadas pela condensação se chocam rapidamente com a superfície da tubulação ela provoca pequenos orifícios, que dão à superfície um aspecto esponjoso, corroído. Caso não seja erradicado o problema, esta erosão provocada pela cavitação pode causar quebra de equipamentos e tubulações.

h- Aquecimento solar (Coletores solares):

- Procure instalar coletor solar com Selo PROCEL/INMETRO classificados como "A".
- Procure instalar as placas de aquecimento solar sempre voltadas para o Norte geográfico. Entre o Norte Geográfico e o Norte Magnético há uma declinação, para a região Sul do Brasil, em média varia de 16° (Rio Grande do Sul) a 18° (Paraná)
- Para a região Sul do Brasil, a inclinação dos coletores solares deve ficar entre 35° (Curitiba) e 40° (Porto Alegre).
- Para regiões onde a temperatura mínima média no inverno seja inferior a 9°C é aconselhável a instalação de sistema anti-congelamento.

i- Reservatórios térmicos:

- Procure instalar os reservatórios com Selo PROCEL/INMETRO classificados como "A".
- O dimensionamento do reservatório deve ser adequado ao consumo de água quente da unidade consumidora.
- A instalação do reservatório térmico deve ser, preferencialmente, acima dos coletores solares, desnível mínimo de 30 cm e distância máxima de 5 m.

j- Sistema auxiliar de aquecimento: em geral é necessária a instalação de um sistema auxiliar de aquecimento; o sistema auxiliar, geralmente, é elétrico e deve ser calculado conforme as recomendações do fabricante do reservatório térmico.

k- Manutenção: em geral os coletores solares possuem uma placa de vidro na superfície coletora, no caso de quebra deve ser substituída; sempre que for fazer qualquer manutenção no sistema de aquecimento solar e, desligue a rede elétrica.

Vale salientar o que é o selo PROCEL/INMETRO que a COPEL cita nos tópicos anteriores. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) criaram o selo de Eficiência Energética PROCEL/INMETRO. Este Selo apresenta o desempenho energético do equipamento inspecionado. Segundo o INMETRO, o Selo foi instituído por meio de Decreto Presidencial em 1993, com objetivo de orientar o consumidor ao comprar equipamentos, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Incentivando também a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais.

Para realizar um estudo de eficiência energética numa instalação industrial, é necessário avaliar todos os tipos de carga que a indústria possui e verificar o seu potencial de desperdício. Para auxiliar o entendimento, Mamede (2012) lista alguns segmentos que devem ser analisados neste estudo:

- Iluminação;
- Condutores elétricos;
- Fator de potência;
- Motores elétricos;
- Consumo de água;
- Climatização;
- Ventilação natural;
- Refrigeração;
- Aquecimento de água;
- Elevadores e escadas rolantes;
- Ar comprimido;
- Carregamento de transformadores;
- Instalação elétrica;
- Administração do consumo de energia elétrica (Gestão energética);
- Controle de demanda.

Nota-se, com base na lista apresentada que um estudo de eficiência energética é algo complexo visto que possui diversos segmentos distintos a serem analisados. Para isso, o programa de eficiência energética deve realizar uma seleção dos segmentos que serão tomados como prioritários. Esta seleção é baseada no

desperdício de energia elétrica que o segmento possui, sendo classificado como prioritário o setor com maior desperdício. Com isso a empresa nota financeiramente as melhorias que o programa pode trazer logo nas primeiras etapas do programa.

Um dos segmentos que na maior parte das vezes é tratado como prioritário é a iluminação. Acompanhado de refrigeração, ar comprimido, climatização, motores elétricos. Por se tratar com maior ênfase, a iluminação será tratada como um tópico a seguir.

2.2 ILUMINAÇÃO

A iluminação faz parte de uma importante parcela do consumo de energia elétrica nas empresas. Devido a este fato é interessante conhecermos um pouco mais sobre alguns conceitos e definições relacionadas a este tema.

2.2.1 Definições

Área projetada: A área projetada de uma luminária, numa dada direção, é a área de projeção ortogonal da superfície luminosa, num plano perpendicular à direção específica. Unidade – m^2

Campo visual: O campo visual do olho humano é a extensão angular do espaço no qual um objeto pode ser percebido, é dado por: 50° para cima, 60° para baixo e 80° horizontalmente para cada lado.

Controlador de luz: É a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas; podendo ser do tipo refletor, refrator, difusor, lente e colméia.

Depreciação do Fluxo Luminoso: É a diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias, e também, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas.

Difusor: Dispositivo colocado em frente à fonte de luz com a finalidade de diminuir sua luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento.

Eficiência Luminosa de uma fonte: É o quociente do fluxo luminoso total emitido por uma fonte de luz em lúmens e a potência por ela consumida em Watts. Por exemplo, para uma lâmpada incandescente de 100 W que produz um fluxo luminoso de 1.470 lúmens, possui uma EL de 14,7 lm/W; por outro lado, uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W, que produz um fluxo luminoso de 1500 lúmens, possui uma EL de 65,2 lm/W.

Fator de Manutenção (FM): É a razão da iluminância média no plano de trabalho, após um período de uso, pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova. Este fator depende do período de uso sem limpeza e do tipo de ambiente (limpo, médio ou sujo).

Fator de Utilização (FU): É a razão do fluxo utilizado pelo fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É um índice da luminária e influi no rendimento desta. Por exemplo, uma luminária para lâmpada fluorescente com fator de utilização de 0,82, com uma lâmpada que produz um fluxo luminoso de 3.100 lúmens, fornecerá um fluxo utilizado de 2.542 lúmens.

Fluxo Luminoso (Φ): Quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida em todas as direções, que pode produzir estímulo visual. Unidade: lúmen - lm.

Iluminância (E): A iluminância é definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda, em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido. A unidade de medida usual é o lux, definido como sendo a iluminância de uma superfície plana, de área igual a 1 m², que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lm, uniformemente distribuído.

Índice de Reprodução de Cor (IRC): O IRC, no sistema internacional de medidas, é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da

mesma temperatura de cor. O IRC identifica a aparência como as cores dos objetos e pessoas serão percebidas quando iluminados pela fonte de luz em questão. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio entre as cores.

Luxímetro: Instrumento utilizado para medição de iluminâncias em ambientes com iluminação natural e/ou artificial.

Reator: Equipamento que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e também fornece a tensão adequada para dar partida na lâmpada. Pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico, com partida rápida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência.

Existem diversos tipos de lâmpadas, dentre elas as Incandescentes, Halógenas, Fluorescentes, Diodos Emissores de Luz (LEDs), entre outros.

Lâmpadas Incandescentes

A iluminação incandescente resulta da incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este é colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado.

Uma lâmpada incandescente é composta pelos seguintes elementos:

- **Bulbo:** Serve para isolar o filamento do meio externo, proteger o conjunto interno, alterar a iluminância da fonte de luz e também como decoração para o ambiente. As lâmpadas incandescentes são construídas normalmente de vidro-cal, tipo de vidro macio e com baixa temperatura de amolecimento, de vidro boro-silicato, tipo duro que resiste a altas temperaturas, ou ainda de vidro pirex que resiste a choques térmicos.

- **Filamento:** para que o filamento possa emitir luz através da passagem da corrente elétrica, deverá possuir um elevado ponto de fusão e baixa evaporação. Os filamentos são, atualmente, construídos de tungstênio trefilado pois apresentam um ponto de fusão de 3.655 K, além de possuírem uma boa resistência mecânica e ductilidade.

- **Meio interno:** para diminuir a evaporação e a oxidação do filamento das lâmpadas incandescentes, são utilizados gases inertes como meio interno, como por exemplo, uma mistura de argônio e nitrogênio e em alguns casos criptônio.

- **Base:** têm como função fixar a lâmpada mecanicamente ao seu suporte e fazer a ligação elétrica desta com seu circuito de alimentação.

Vida mediana: 1000 horas.

Eficiência luminosa: considerando que uma lâmpada incandescente de 200 W possui um fluxo luminoso de aproximadamente 3.400 lm, a mesma irá apresentar uma eficiência luminosa de 17 lm/W. A eficiência luminosa da lâmpada incandescente é baixa pois a maior parte da energia consumida é transformada em calor.

Lâmpadas Halógenas

As lâmpadas halógenas pertencem à família das lâmpadas incandescentes de construção especial, pois contêm halogênio adicionado ao gás criptônio dentro do bulbo, e funcionam sob o princípio de um ciclo regenerativo que tem como funções evitar o escurecimento, aumentar a vida mediana e a eficiência luminosa da lâmpada.

Em uma lâmpada incandescente normal, a alta temperatura do filamento causa evaporação das partículas de tungstênio, que se condensam nas paredes internas do bulbo e causam seu escurecimento. Nas lâmpadas halógenas, a temperatura do bulbo é suficientemente alta para evitar a condensação do tungstênio evaporado.

A lâmpada halógena possui uma vida mediana e uma eficiência luminosa um pouco maior do que a incandescente comum. Devido ao fato de apresentar um fluxo luminoso maior e uma boa reprodução de cores, é utilizada em iluminação de fachadas, áreas de lazer, artes gráficas, teatros, estúdios de TV, faróis de automóveis, entre outras.

Lâmpadas Fluorescentes

São lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por pós fluorescentes que são ativados pela radiação ultravioleta da descarga. A lâmpada possui, normalmente, o formato do bulbo tubular longo com um filamento em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma quantidade de gás inerte para facilitar a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que, compostos, determinam a quantidade e a temperatura de cor da luz emitida.

As lâmpadas fluorescentes podem ainda possuir os eletrodos (catodos) quentes com ou sem pré-aquecimento. No caso do catodo quente com pré-aquecimento, a lâmpada necessita de um *reator* e de um *starter*. Na de catodo quente sem pré-aquecimento, é necessário um reator de construção especial. O reator é constituído por uma bobina de fio de cobre esmaltado e por um núcleo de lâminas de material ferromagnético prensadas. Existem, atualmente, reatores eletrônicos que proporcionam maior economia de energia e menor manutenção, além de serem mais leves e de pequenas dimensões. As lâmpadas fluorescentes de catodo quente e partida rápida diferem das de catodo quente com pré-aquecimento por terem eletrodos de construção especial, que são aquecidos continuamente, desde a partida, por bobinas de baixa tensão que são incorporadas ao reator.

Lâmpadas fluorescentes compactas

São lâmpadas fluorescentes de tamanho reduzidas, criadas para substituir com vantagens as lâmpadas incandescentes em várias aplicações. Estão disponíveis em várias formas e tamanhos, podendo vir com o conjunto de controle incorporado ou não, e ainda com bases tipo rosca ou pino. Suas vantagens, em relação às incandescentes, estão, principalmente, no fato de apresentarem o mesmo fluxo luminoso com potências menores, o que gera uma economia de energia de até 80%, uma vida mediana maior, além de possuírem uma boa definição de cores.

Vida mediana e eficiência luminosa

A eficiência luminosa de uma lâmpada fluorescente compacta é maior em comparação com as incandescentes, comparando uma incandescente de 100 W e fluorescente compacta de 23 W, que produzem respectivamente 1.470 e 1.520

lúmens, tem se: 66 lm/W para a fluorescente compacta e 15 lm/W para a incandescente.

A vida mediana das lâmpadas fluorescentes é considerada em função de seu tipo, ou seja:

- Lâmpadas de catodo quente = 5.000 a 15.000 horas
- Lâmpadas compactas = 3.000 a 12.000 horas

Diodos Emissores de Luz (LEDs)

Os diodos emissores de luz (LEDs) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com tamanho reduzido, o LED oferece vantagens através de seu desenvolvimento tecnológico, tornando-o uma alternativa real na substituição das lâmpadas convencionais.

Diferentemente do que ocorre com a lâmpada incandescente, que abrange todo espectro de cores, o LED gera apenas uma única cor, que depende do tipo de material utilizado, como por exemplo, galênio, arsênio e fósforo.

Os LEDs estão disponíveis em encapsulamentos comerciais de 3mm, 5mm e 10mm nas cores vermelho, verde, laranja, azul, branco entre outros. Os LEDs de alto brilho mais encontrados no mercado são azul, branco, vermelho e verde. A eficiência luminosa do LED tem aumentado consideravelmente nos tempos atuais devido às melhorias no processo produtivo e ao avanço tecnológico.

A tecnologia LED está sendo produzida com custos cada vez menores e está sendo utilizada em iluminação para diversas aplicações, como por exemplo, sinalização e orientação (degraus e escadas), letreiros luminosos, iluminação de piso, balizamento, segmento automotivo, etc.

Os LEDs apresentam alguns benefícios, como por exemplo: longa durabilidade (pode-se obter até 25.000 horas de funcionamento); alta eficiência luminosa; variedade de cores; dimensões reduzidas; alta resistência a choques e vibrações; não gera radiação ultravioleta e infravermelha; baixo consumo de energia e pouca dissipação de calor; redução nos gastos de manutenção, permitindo a sua utilização em locais de difícil acesso; possibilidade de utilização com sistemas fotovoltaicos em locais isolados; etc.

Hoje em dia, as lâmpadas antigas estão sendo substituídas por lâmpadas LED, devido à alta eficiência e durabilidade das mesmas.

3 METODOLOGIA

O trabalho será dividido basicamente em três principais etapas:

- 1- Levantamento de todas as cargas elétricas e coeficientes de utilização;
- 2- Identificação e estudo de otimização das diferentes áreas da empresa;
- 3- Análise de viabilidade na modernização dos sistemas (*retrofit*).

3.1 LEVANTAMENTO DE TODAS AS CARGAS ELÉTRICAS E COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO

Nesta primeira etapa do trabalho deve ser efetuado um levantamento de todos os equipamentos elétricos da empresa para criar uma planilha com todas as cargas elétricas utilizadas. O período de execução deste procedimento varia de acordo com a complexidade dos equipamentos instalados, bem como o tamanho da planta da indústria. Os valores destas cargas elétricas serão avaliados de acordo com três coeficientes: Coeficiente de Utilização (UTL), Fator de Carga do Equipamento (FCE) e Fator de Permanência (PERM).

UTL – COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

Define a parcela da potência nominal efetivamente consumida pelo equipamento.

FCE – FATOR DE CARGA DO EQUIPAMENTO

É a razão entre a demanda média, durante um intervalo de tempo e a demanda máxima registrada no mesmo período.

PERM – FATOR DE PERMANÊNCIA

Define através de critérios estatísticos o percentual de permanência do equipamento em funcionamento ao longo de um período, neste caso, mensal. Este fator está correlacionado com o número de horas de funcionamento dos equipamentos cujo consumo de energia está selecionado dentro das cargas improdutivas.

Estes três coeficientes são utilizados porque as cargas elétricas medidas na planilha são as cargas de projeto. Porém, os equipamentos não consomem o valor inteiro de sua potência. Para que o valor da planilha seja fiel ao valor real de consumo, estes coeficientes multiplicam as cargas de acordo com suas características particulares e assim, os valores das cargas ficam próximas às cargas reais consumidas.

De forma a esclarecer a utilização destes coeficientes, um exemplo será demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo de utilização dos coeficientes de carga

| Carga | Potência | Período | UTL | FCE | PERM | Consumo |
|--------------|-----------------|-------------------|------------|------------|-------------|----------------|
| | (kW) | (mensal em horas) | (%) | (%) | (%) | (kWh) |
| Lâmpada | 0,040 | 720 | 100 | 100 | 50 | 14,4 |

Fonte: Autoria própria

Neste exemplo foi utilizada uma lâmpada de 40 W de potência, com utilização diária de 12 horas. Por isso utilizou-se o Fator de Permanência (PERM) igual a 50%. O período foi calculado de acordo com um período de 30 dias.

3.2 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS DA EMPRESA

Após o levantamento dos equipamentos instalados, deve-se identificar as áreas da empresa para uma avaliação por setores, como por exemplo, área de produção, área de estacionamento, área administrativa. A identificação das áreas e a correta separação facilitam a segunda etapa do trabalho: o estudo de otimização de cada área. Nesta segunda etapa deve-se escolher quais tecnologias e sistemas serão utilizados para realizar a otimização de cada área, bem como uma pesquisa de mercado para criar um plano de investimentos e averiguar quais áreas devem ser priorizadas.

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE NA MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS (*RETROFIT*)

Após a escolha do método de otimização da área, bem como seu plano de investimento, a última etapa do estudo de viabilidade consiste na análise de viabilidade na modernização dos sistemas (*retrofit*).

Nesta última etapa serão apresentados os valores de investimento necessários para a modernização dos sistemas, bem como uma comparação do custo-benefício para avaliar se as soluções apresentadas são viáveis economicamente e respectiva economia resultante. Também será apresentado uma tabela de *payback* para empresa, ou seja, em quanto tempo esta redução de consumo compensará o próprio investimento.

4 RESULTADOS

A empresa onde foi realizado o estudo de caso é uma empresa multinacional de grande porte, que possui um consumo médio de 10 GW/h e trabalha em três turnos de 8 horas. Durante a troca de turnos, a produção realiza uma parada de 1 hora para procedimentos de manutenção preventiva e limpeza das linhas de produção.

4.1 LEVANTAMENTO DE TODAS AS CARGAS ELÉTRICAS E COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO

Devido à sua grande estrutura, foram necessários dois meses para realizar o levantamento das cargas elétricas da empresa. Durante este período de levantamento, as planilhas de carga foram montadas e complementadas com os três coeficientes de utilização mencionados na Metodologia. As cargas foram avaliadas individualmente, e de acordo com suas características individuais, os coeficientes UTL, FCE e PERM são valores limitados de 0 a 100% no cálculo do consumo total. Os cálculos foram realizados conforme exemplificação da Tabela 1.

Após a realização de todas as medições necessárias e da coleta de todos os dados, finalizou-se a primeira etapa do trabalho.

4.2 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS DA EMPRESA

Nesta segunda etapa do trabalho, realizou-se um estudo para analisar a melhor forma de separação das áreas da empresa, para que a aplicação do programa de eficiência energética tenha um bom resultado.

Como a empresa possui uma grande área, dividiu-se a planta da empresa em seis áreas menores, levando em consideração as características particulares de cada.

As áreas foram identificadas como: área administrativa, área de produção 01, área de produção 02, área de produção 03, área de produção 04 e área de produção 05. Cada uma destas áreas engloba a produção de um diferente produto da empresa, facilitando a avaliação dos produtos que consomem mais energia para serem produzidos ou quais produtos conseguiram reduzir o consumo de energia na sua produção. A área administrativa é composta pelos setores de Recursos Humanos, recepção, auditório, banheiros, cozinha, refeitório, salas de treinamento, gerência e salas de reuniões que estão instaladas em um mesmo prédio. Esta divisão foi efetuada para auxiliar uma futura avaliação individual de cada setor.

Após a separação e identificação das áreas, um estudo de otimização foi realizado para analisar a prioridade de alguns pontos. O principal ponto de análise consistiu na iluminação. Por se tratar de uma infraestrutura já instalada, o maior problema apresentado para a otimização foi a possibilidade do reaproveitamento da estrutura de iluminação existente.

Uma pesquisa de mercado foi realizada para verificar as melhores opções de produtos em substituição às lâmpadas existentes. Analisando o melhor custo x benefício, as lâmpadas de LED foram escolhidas para substituir a iluminação que anteriormente era predominantemente fluorescente. Vale salientar que as lâmpadas de 160 W são lâmpadas de vapor metálico e as de 250 W e 400 W são refletores.

Para determinar a quantidade de lâmpadas necessárias por área, realizou-se o levantamento da quantidade de lâmpadas instaladas, cujos dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de lâmpadas por área

| Área | Lâmpadas | | | | | | Total de lâmpadas |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| | 16W | 40W | 54W | 160W | 250W | 400W | |
| <u>Administrativa</u> | 487 | 298 | - | 8 | 25 | 11 | 829 |
| <u>Produção 01</u> | 250 | 896 | 122 | - | - | 26 | 1294 |
| <u>Produção 02</u> | 914 | 648 | 181 | 72 | 96 | 51 | 1962 |
| <u>Produção 03</u> | 44 | 817 | 7021 | - | - | 114 | 7996 |
| <u>Produção 04</u> | 165 | 184 | 2953 | 13 | 31 | 9 | 3355 |
| <u>Produção 05</u> | 186 | - | 4100 | - | 89 | 36 | 4411 |

Fonte: Autoria própria

Para realizar a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, foram obtidas lâmpadas LED com quantidade de fluxo luminoso (lúmens) equivalente às instaladas anteriormente. As lâmpadas LED equivalentes estão demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação de lâmpadas x lâmpadas LED

| <u>Lâmpadas</u> | <u>Lâmpadas LED</u> |
|-----------------|---------------------|
| 16 W | 9 W |
| 40 W | 18 W |
| 54 W | 22 W |
| 160 W | 50 W |
| 250 W | 120 W |
| 400 W | 200 W |

Fonte: Autoria própria

Após a substituição das lâmpadas, para avaliar a economia de energia, calculou-se novamente o consumo de energia utilizando as lâmpadas LED. A economia de energia por área está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Economia de energia de cada área da empresa

| <u>Área</u> | <u>Economia de energia (kW/h)</u> |
|------------------------------|-----------------------------------|
| <u>Administrativa</u> | 6.023,2 |
| <u>Produção 01</u> | 17.139,6 |
| <u>Produção 02</u> | 18.270,02 |
| <u>Produção 03</u> | 206.253,22 |
| <u>Produção 04</u> | 68.292,43 |
| <u>Produção 05</u> | 107.264,05 |
| <u>Economia total</u> | 423.242,52 |

Fonte: Autoria própria

Com a substituição das lâmpadas, a economia de energia estimada é de 423.242,52 kW/h.

Para certificar a viabilidade da substituição das lâmpadas, deve-se realizar a terceira e última etapa da metodologia que consiste na análise de viabilidade.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE NA MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS (*RETROFIT*)

Com base nos dados obtidos das etapas anteriores deste trabalho, é possível realizar a análise de viabilidade deste *retrofit* na empresa.

Esta análise é realizada baseando-se no valor pago pela empresa à concessionária de energia por kW/h consumido. Cada área será analisada separadamente, para uma análise individual de viabilidade.

O custo médio de cada tipo de lâmpada de LED está demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - preço das lâmpadas LED

| <u>Lâmpadas LED</u> | <u>Custo unitário (R\$)</u> |
|---------------------|-----------------------------|
| 9 W | R\$ 9,00 |
| 18 W | R\$ 14,00 |
| 22 W | R\$ 18,00 |
| 50 W | R\$ 38,00 |
| 120 W | R\$ 100,00 |
| 200 W | R\$ 180,00 |

Fonte: Autoria própria

O investimento para adquirir a quantidade de lâmpadas necessárias no processo de *retrofit* é dado na Tabela 6.

Tabela 6 - Investimento na compra de lâmpadas LED

| <u>Área da empresa</u> | <u>Investimento (R\$)</u> |
|----------------------------------|---------------------------|
| <u>Administrativa</u> | R\$ 13.339,00 |
| <u>Produção 01</u> | R\$ 21.670,00 |
| <u>Produção 02</u> | R\$ 42.072,00 |
| <u>Produção 03</u> | R\$ 158.732,00 |
| <u>Produção 04</u> | R\$ 62.429,00 |
| <u>Produção 05</u> | R\$ 90.854,00 |
| <u>Investimento total</u> | R\$ 389.096,00 |

Fonte: Autoria própria

A empresa paga um valor de R\$ 0,1119/kW/h consumido, sendo este dado referente ao mês de dezembro de 2016. Sendo assim, calcula-se com base na economia de energia de cada área (Tabela 4), quanto a empresa estará

economizando por mês, utilizando lâmpadas LED. Os dados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Economia mensal de cada área

| <u>Área</u> | <u>Economia mensal (R\$)</u> |
|------------------------------|------------------------------|
| <u>Administrativa</u> | R\$ 674,00 |
| <u>Produção 01</u> | R\$ 1.917,92 |
| <u>Produção 02</u> | R\$ 2.044,42 |
| <u>Produção 03</u> | R\$ 23.079,74 |
| <u>Produção 04</u> | R\$ 7.641,92 |
| <u>Produção 05</u> | R\$ 12.002,85 |
| <u>Economia total</u> | R\$ 47.360,84 |

Fonte: Autoria própria

A análise de viabilidade tem por objetivo demonstrar em quantos meses, o investimento realizado em cada área será amortecido pela economia de energia, em outras palavras, em quanto tempo será realizado o *payback* deste *retrofit*. O resultado da análise está demonstrado na Tabela 8, apresentando o retorno individual de cada área.

Tabela 8 - Análise de viabilidade do *retrofit*

| <u>Área</u> | <u>Tempo de retorno do investimento</u> |
|---|---|
| <u>Administrativa</u> | 20 meses |
| <u>Produção 01</u> | 12 meses |
| <u>Produção 02</u> | 21 meses |
| <u>Produção 03</u> | 6 meses |
| <u>Produção 04</u> | 9 meses |
| <u>Produção 05</u> | 8 meses |
| <u>Retorno do investimento total</u> | 9 meses |

Fonte: Autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram identificados os principais fatores que contribuem para o alto consumo de energia em uma empresa, objeto do estudo de caso deste trabalho, e quais os principais equipamentos e sistemas que contribuem para o desperdício de energia elétrica. Sabendo quais sistemas consumiam mais energia na empresa, realizou-se o levantamento e classificação de todas as cargas elétricas presentes de acordo com os três coeficientes de utilização. O estudo de otimização das diferentes áreas em que foram divididos os ambientes, para reduzir o consumo de energia aplicando-se o programa de eficiência energética com ênfase na iluminação. A aplicação do programa de eficiência energética focada na área de iluminação foi uma solicitação da empresa. Para analisar a viabilidade da aplicação, realizou-se uma análise de viabilidade da substituição da iluminação já instalada por um sistema mais moderno. Para que a empresa pudesse avaliar a viabilidade desta mudança, foi apresentada uma tabela que ilustrasse o tempo de retorno deste investimento, em outras palavras, o *payback* deste projeto. Com base nos resultados obtidos do trabalho, pode-se ver que com apenas nove (9) meses de uso após as modificações na iluminação a empresa já consegue uma economia de quase R\$ 48.000,00. Sabendo que a vida útil das lâmpadas LED é de pelo menos cinco (5) anos, a empresa irá economizar um total de cinquenta (50) meses de energia, ou R\$ 2.368.042,00, antes que as lâmpadas apresentem defeitos. Conclui-se que a aplicação de um programa de eficiência energética em uma empresa é algo realmente viável pois a economia de energia resultante paga os investimentos realizados. Neste trabalho não foi possível realizar a aplicação completa do programa de eficiência energética devido a sua complexidade e pelo fato da empresa mostrar interesse em aplicar inicialmente no sistema de iluminação. A aplicação de um programa de eficiência energética auxilia consideravelmente na redução de custos de uma empresa. Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se aplicar o programa de eficiência energética focando em outros tópicos, como por exemplo, refrigeração, climatização, aquecimento de água, ar comprimido, controle de demanda.

REFERÊNCIAS

BNDES Finem. Disponível em
<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/eficiencia_energetica.html>. Acesso em: 08 de set. 2016.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. **Manual de eficiência energética na indústria.** Curitiba, 2005.

COPEL - Dicas de Eficiência Energética. Disponível em
<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F2821db171aad77db032573fb005d4b41>>. Acesso em: 25 de set 2016.

ELEKTRO, FUPAI, EXCEN. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações.** Campinas: FUPAI, 2012.

ELETROBRÁS. **Gestão Energética.** Rio de Janeiro: FUPAI, 2005.

EMPALUX – CATÁLOGO 2017. Disponível em
<http://www.empalux.com.br/catalogo_empalux.pdf>. Acesso em: 10 de out 2017.

FERNANDES, A. et al. **Eficiência Energética das edificações.** Rio de Janeiro: INEE, 2001.

GE – CATÁLOGO DE PRODUTOS 2015. Disponível em
<http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/images/catalogo-produtos-2015_tcm388-90024.pdf>. Acesso em: 10 de out 2017.

Lâmpada LED. Disponível em
<<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>>. Acesso em: 10 de out 2017.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento.** Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MAMEDE, João Filho. **Instalações Elétricas Industriais.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Manual de Iluminação. Disponível em
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf>. Acesso em: 10 de out 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – PROCEL/ELETROBRÁS. **Manual de Iluminação Eficiente.** Brasil,2002.

MOREIRA, V.A. **Iluminação Elétrica.** 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1999.

O que é Eficiência Energética? Disponível em
< <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 26 de set 2016.

POLIQUEZI, Augusto. **Eficiência Energética – CREA-PR.** Paraná, 2016.

Projetos de Eficiência Energética. Disponível em
<http://www.desenvolvesp.com.br/empresas/opcoes-credito/projetos-sustentaveis/projetos_eficiencia_energetica>. Acesso em: 08 de set. 2016.

SANTOS, A. H. M., et all. **Eficiência Energética Teoria & Prática.** 1.ed. Minas Gerais: PROCEL Educação, Universidade Federal de Itajubá, 2007.

Selo Procel de Eficiência Energética. Disponível em
< <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeselo.asp>>. Acesso em: 26 de set 2016.

Soluções em LED OSRAM 2015. Disponível em
<<https://www.ledvance.com.br/media/resource/HIRES/544800/catalog-osram-led-lamp-and-luminaire--2015-br-pt.pdf>>. Acesso em 10 de out 2017.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos.** Curitiba: UTFPR, 2009.