UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Thiago Lemes de Sá

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR LED: ESTUDO DE CASO

Panambi, RS, Brasil

2017

Thiago Lemes de Sá

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR LED: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**

Orientador: Cesar Addis Valverde Salvador

Panambi, RS, Brasil

2017

Thiago Lemes de Sá

AVALIAÇÃO DA EFICÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR LED: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**

Aprovado em 29 de julho de 2017:

_____

Cristiano José Scheuer

(Presidente/CO-orientador)

_____

Claudio Roberto Losekann

1º Avaliador

_____

Ademar Michels

2º Avaliador

_____

Geomar Machado Martins

Suplente

Panambi, RS, Brasil

2017

RESUMO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR LED: ESTUDO DE CASO

AUTOR: THIAGO LEMES DE SÁ
ORIENTADOR: CESAR ADDIS VALVERDE SALVADOR

O setor industrial é o que mais consome energia elétrica no Brasil, logo, é de grande importância realizar programas de gestão energética neste setor. Sempre visando à conservação e eficiência energética, consequentemente, reduzindo o consumo de energia e gerando uma economia financeira significativa para as empresas, e energética para o país, adiando possíveis investimentos no setor elétrico brasileiro. Em vista disso, este trabalho teve como objetivo realizar um Plano de Medição e Verificação (M&V) em um projeto piloto de iluminação LED, analisando-se sua performance após dezenove meses de operação, assim como sua real economia no consumo de energia elétrica, verificando-se também a possibilidade de utilização de um sensor de controle de luminosidade, com o intuito de ampliar o uso das luminárias LED para os demais setores de produção da empresa em questão. A metodologia abordada no trabalho foi aplicada em um projeto piloto de iluminação LED de uma indústria do ramo de embalagens metálicas, utilizando-se como base o “Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance”. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois possibilitou consolidar a utilização das luminárias de LED estudadas, para a iluminação dos demais setores de produção da empresa, uma vez que as mesmas apresentam bons índices de iluminação ao longo do tempo, pois mantém sua eficiência energética, além de reduzirem de modo expressivo o consumo de energia elétrica, aproximadamente 76,22 % para o estudo em questão, proporcionando também um ambiente mais seguro para os postos de trabalho, já que os índices mínimos de iluminação para a atividade exercida são atendidos.

Palavras-chave: Eficiência energética. Iluminação LED. Indústria.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A LED LIGHTING SYSTEM: CASE STUDY

AUTHOR: THIAGO LEMES DE SÁ

ADVISIOR: CESAR ADDIS VALVERDE SALVADOR

The industrial sector is the one that consumes most electricity in Brazil, so it is of great importance to carry out energy management programs in this sector. Always aiming at conservation and energy efficiency, consequently, reducing energy consumption and generating significant financial savings for companies, and energy for the country, delaying possible investments in the Brazilian electric sector. Therefore, the objective of this work was to carry out a Measurement and Verification Plan (M&V) in a pilot LED lighting project, analyzing its performance after nineteen months of operation, as well as its real economy in the consumption of electric energy, verifying It is also possible to use a light control sensor in order to extend the use of LED luminaires to the other production sectors of the company in question. The methodology addressed in the work was applied in a LED lighting pilot project of a metal packaging industry, using as basis the "International Protocol for Performance Measurement and Verification". The results obtained were satisfactory, since it made it possible to consolidate the use of the studied LED luminaires for the lighting of the other production sectors of the company, since they have good illumination indices over time, since it maintains its energy efficiency, in addition To significantly reduce the consumption of electricity, approximately 76.22% for the study in question, also providing a safer environment for the jobs, since the minimum illumination rates for the activity carried out are met.

Keywords: Energy efficiency. Led lightning. Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de implementação para uma gestão energética.....23
Figura 2 – Estrutura da CICE 24
Figura 3 – Setor de estamparia 29
Figura 4 – Fluxograma para aplicação da metodologia.....31
Figura 5 – Luxímetro utilizado para medições.....32
Figura 6– Analisador de energia utilizado nas medições .....**Erro! Indicador não definido.**4
Figura 7 – Resultado do comparativo de consumo entre luminárias LED e lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W .....**Erro! Indicador não definido.**5
Figura 8 – Luminária de LED com drive e sensor de luminosidade .... **Erro! Indicador não definido.**6
Figura 9 – Potência ativa absorvida pelos conjuntos de luminárias LED 37
Figura 10 – Potência ativa absorvida em um dia pelos conjuntos de luminárias LED.....37
Figura 11 – Resumo de potência ativa absorvida pelos conjuntos de luminárias LED.....37
Figura 12 – Visão dos setores de estamparia e aerossol.....41
Figura 13 – Setor de aerossol 42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Panorama das opções de M&V 26
Quadro 2 – Continuação do quadro 1 26
Quadro 3 – Parte da tabela de requisitos exigidos na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.. 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações dos PEEs no setor industrial 17
Tabela 2 – Consumo por classe (GWh) 19
Tabela 3 – Consumo de energia elétrica e eficiência elétrica 19
Tabela 4 – Consumo em iluminação artificial no Brasil 20
Tabela 5 – Níveis de iluminação logo após instalação da luminárias de LED.....30
Tabela 6 – Comparativo dos índices de iluminação do setor de estamparia 33
Tabela 7 – Comparativo dos índices de iluminação entre os conjuntos de luminárias.....38
Tabela 8 – Tempo total de operação do sistema de iluminação LED 39
Tabela 9 – Índices de iluminação do setor de aerossol.....43

LISTA DE SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCSD	Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável
BEN	Balanço Energético Nacional
BEU	Balanço de Energia Útil
Ceee	Consumo específico de energia elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGIEE	Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CONSERVE	Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCOS	Empresas de Serviço de Conservação de Energia
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FP	Fator de Potência
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ISO	Organização Internacional para Padronização
MIC	Ministério da Indústria e do Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
MPEE	Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONAF	Óleo Natural Ar Forçado
ONAN	Óleo Natural Ar Natural
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Programa de Pesquisa e Desenvolvimento
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética

PET	Programa de Expansão da Transmissão
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimento do Programa de Eficiência Energética
UGR	Índice de Ofuscamento Unificado
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 Objetivos 12
1.1.1 Objetivo Geral 12
1.1.2 Objetivos Específicos 12
1.2 Justificativa 12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1 Eficiência Energética 14
2.1.1 Conceito 14
2.1.2 Medidas tomadas pelo Brasil em relação à eficiência energética 15
2.2 Abordagem no setor industrial 18
2.2.1 Iluminação 20
2.3 Vantagens e Dificuldades 22
2.4 Gestão energética 22
2.5 Plano de Medição e Verificação (M&V) 24
3 METODOLOGIA 28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 39
5 CONCLUSÃO 44
REFERÊNCIAS 46
APÊNDICE A – COMPARATIVO E ANÁLISE FINANCEIRA 48
ANEXO A – LUMINÁRIA COM LÂMPADA VAPOR DE MERCÚRIO 250W 49
ANEXO B – LUMINÁRIA LED ESTUDADA 50

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório A Crise de Abastecimento de Energia Elétrica, elaborado pelo Congresso Nacional, com o uso da energia elétrica muitos setores tiveram seu crescimento impulsionado, gerando uma grande demanda deste recurso. Devido a este fato, o Brasil vivencia uma crise de energia elétrica que ficou evidenciada a partir de 2001 (BRASIL, 2002), e intensificada recentemente com a escassez de chuvas, resultando em baixos volumes nos reservatórios das usinas hidroelétricas do país, impulsionando ainda mais a busca por eficiência energética. (BORGES, 2015).

Ao reduzir o consumo do setor industrial, pode-se ter um número significativo de economia energética, devido ao fato de ser o setor que mais consome eletricidade no país, por isso da importância de realizar diagnósticos energéticos nos processos industriais. (BRASIL, 2014).

Em vista disto, este trabalho teve como objetivo realizar um Plano de Medição e Verificação (M&V) em um projeto piloto de iluminação LED, analisando-se sua performance após dezenove meses de operação, assim como sua real economia no consumo de energia elétrica, verificando-se também a possibilidade de utilização de um sensor de controle de luminosidade, com o intuito de ampliar o uso das luminárias LED para os demais setores de produção da empresa em questão.

De acordo com a entrevista com o Coordenador do Programa “Indústria + Eficiente”, Marco Aurélio Gianesini, ao investir em estudos, programas e projetos de eficiência e conservação energética podem-se adiar os gastos para suprimir as novas demandas do setor elétrico, seja do âmbito de geração, transmissão ou distribuição de energia. (INDÚSTRIA..., [2015?]).

Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois possibilitou consolidar a utilização das luminárias de LED estudadas, para a iluminação dos demais setores de produção da empresa, uma vez que as mesmas apresentam bons índices de iluminação ao longo do tempo, pois mantém sua eficiência energética, além de reduzirem de modo expressivo o consumo de energia elétrica, proporcionando também um ambiente mais seguro para os postos de trabalho, já que os índices mínimos de iluminação para a atividade exercida são atendidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um Plano de Medição e Verificação (M&V) em um sistema de iluminação com luminárias de LED, que substituiram lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W, em um determinado setor de produção de uma empresa do ramo de embalagens metálicas. Aliado a isso, analisar a viabilidade de se instalar um sistema de controle de luminosidade nestas luminárias de LED.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, fixou-se os seguintes objetivos específicos:

a) Realizar um M&V em um projeto piloto de retrofit de iluminação, instalado no setor de estamparia da empresa em questão, no qual foram utilizadas luminárias de LED;
b) Verificar a performance das luminárias de LED após um ano e sete meses de utilização, comparando os índices de iluminação atuais com as medições que foram realizadas logo após sua instalação;
c) Analisar a possibilidade de utilizar um sensor de luminosidade para controlar o fluxo luminoso das luminárias de LED, reduzindo o consumo de energia elétrica;
d) Consolidar a utilização de luminárias de LED para o setor industrial e aplicar esta tecnologia nas outras áreas de produção da empresa em questão.

1.2 Justificativa

Por ser o setor industrial o maior consumidor de energia elétrica, é de grande importância desenvolver diagnósticos energéticos nas indústrias, identificando pontos de consumo que possibilitem o uso da energia de forma mais eficiente, sem comprometer e suprindo as necessidades do processo de produção. Por trabalhar no setor da indústria metalúrgica em questão, o acesso às informações foi facilitado,

e com grande possibilidade de aplicar as alterações necessárias para tornar o consumo de energia mais eficiente.

Com a aplicação de métodos mais eficientes para consumo de energia, tem-se uma economia financeira para empresa, pois os gastos com o faturamento total de energia, que atualmente geram um custo de aproximadamente R$ 250 mil mensais para a empresa, serão reduzidos, além de poder reverter parte deste valor para outros investimentos, suprindo diferentes necessidades.

Em vista disso, considerando ainda o momento de eficiência energética que o país está vivendo e a oportunidade de aprendizado, justifica-se este trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está focada em referências relacionadas à eficiência energéticas, desde seus conceitos, as dificuldades energéticas do Brasil e o que já foi realizado para amenizar estas deficiências, com o intuito de entender o cenário atual energético e como as práticas de eficiência energética e conservação de energia podem ser favoráveis. Como o trabalhado está voltado para um sistema de iluminação industrial, os estudos foram direcionados para iluminação e dados do setor industrial, é sábio que o mesmo possui diversas outras oportunidades de eficiência e conservação energética, mas que não fazem parte do escopo deste trabalho.

2.1 Eficiência Energética

Abaixo será apresentado o conceito de eficiência energética e de que forma pode-se defini-la, juntamente com as principais medidas tomadas pelo Brasil para solucionar as deficiências energéticas do país e impulsionar as práticas de eficiência energética e conservação dos recursos utilizados.

2.1.1 Conceito

Este trabalho baseia-se na redução de consumo de energia elétrica para conceituar o termo eficiência energética, de modo que isso não afete a finalidade para a qual a eletricidade é utilizada no sistema abordado, mantendo a qualidade e funcionalidade do mesmo.

Conforme o relatório A Crise de Abastecimento de Energia Elétrica, entre os anos de 1995 e 2000 o Brasil passou por uma grande reestruturação institucional e regulamentar no setor elétrico, quando seu crescimento de 4 % ao ano não foi devidamente avaliado e o déficit de geração, que já era perceptível na década de 80, resultou na crise de abastecimento vivida em 2001. (BRASIL, 2002).

A crescente demanda de energia aliada à impossibilidade de aumentar a oferta nas mesmas proporções faz com que o uso racional se torne cada vez mais necessário, a partir disto a aplicação da eficiência energética torna-se evidente.

Conforme Pereira (2009), a utilização de menos energia para prover o mesmo valor energético consiste no processo de racionalização, pode-se complementar ainda com o combate ao desperdício. Citando ainda Pereira (2009, p. 3) “Podemos dizer que eficiência energética é um conjunto de atividades sistêmicas que visam otimizar ao máximo o uso de fontes de energias não renováveis disponíveis em nosso meio ambiente”.

Já para Panesi (2006) é importante diferenciar racionamento de energia, que expressa a redução do serviço energético, com o termo eficiência energética, que é uma redução de energia para um mesmo serviço, com isso diminuindo o consumo de energia primária, independente do ponto da cadeia de energia em que tenha ocorrido esta redução.

Deve-se também tratar a eficiência energética como um produto diferenciado, em que os consumidores e demais agentes da economia possam perceber e identificar suas características próprias. Os agentes do mercado de eficiência energética devem promover produtos eficientes, que possam concorrer com os produtos ditos convencionais ou ineficientes (KOZLOFF *et al*., 2001).

O conceito de eficiência energética não está relacionado apenas a conservação da energia, eficiência em produtos e redução de perdas, mas também é imprescindível a conscientização da população. O país passa por um período de escassez energética e todos precisam entender que o uso inconsciente da energia pode gerar uma crise ainda maior. Por isso a importância da utilização de meios mais eficientes, e se possível com a racionalização da energia.

2.1.2 Medidas tomadas pelo Brasil em relação à eficiência energética

De acordo com Godoi (2008), o primeiro esforço institucional do Brasil dedicado à eficiência energética foi o Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (CONSERVE), lançado pelo Ministério da Indústria e do Comércio (MIC) por meio da Portaria nº 46, de 23 de fevereiro de 1981, ou seja, no início da década de 80, quando já se percebia um déficit de geração de energia.

Promover a redução de qualquer tipo de energia no setor industrial, incentivar a substituição de combustíveis importados por nacionais, instigar na indústria o desenvolvimento de novos processos e produtos, proporcionando maior eficiência energética, eram os objetivos que o CONSERVE deveria atingir, além de contemplar

a aprovação de recursos financeiros para projetos e estudos que visassem reduzir o consumo de combustíveis e substituir os importados (GODOI, 2008).

Seguindo a ordem cronológica dos fatos, foi criado em dezembro de 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), voltado exclusivamente para a eficiência e conservação da energia elétrica, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás. Considera-se que o PROCEL tenha acumulado no período de 1986 a 2014 uma economia total de 80,6 bilhões de kWh, o programa promove o uso eficiente da energia elétrica e combate o seu desperdício, suas ações contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, postergando assim investimentos no setor elétrico, atuando nos segmentos abaixo (PROCEL, 2015).

> Equipamentos – identificação, por meio do Selo PROCEL, dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, o que induz o desenvolvimento e o aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro.
> Edificações – promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores.
> Iluminação pública (Reluz) – apoio a prefeituras no planejamento e implementação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica.
> Poder público – ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implementação de projetos que visem ao menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento.
> Indústria e comércio – treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos.
> Conhecimentos – elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética, seja por meio de ações educacionais no ensino formal ou da divulgação de dicas, livros, software e manuais técnicos. (PROCEL, 2015, grifo do autor).

Em relação à crise de 2001, o governo através da Medida Provisória nº 2.198-5, de 24 de agosto de 2001, criou dois programas principais, um deles o Programa Emergencial de Redução de Consumo de Energia Elétrica, que tinha como objetivo evitar interrupções inapropriadas ou imprevistas do suprimento de energia, compatibilizando a demanda e oferta, estabelecendo metas de economia para os consumidores, 20 % para residenciais e de 20 % a 25 % para industriais, comerciais e prestadores de serviço, mediante o pagamento de bônus ou de punições em caso de não cumprimento das metas. O segundo foi o Programa Estratégico Emergencial

de Energia Elétrica, com o intuito de garantir o atendimento da demanda com o aumento da oferta (BRASIL, 2002).

Atualmente no Brasil, existem outros programas associados à eficiência energética além do PROCEL, como o Programa de Eficiência Energética (PEE) e o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), os quais têm suas atividades relacionadas à eficiência energética, e ambos são supervisionados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (GUARDIA et al., 2010). A ANEEL foi criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e tem como finalidade fiscalizar e regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica (BRASIL, 1996).

Os contratos firmados entre a ANEEL e as empresas concessionárias do serviço público de distribuição estabelecem algumas obrigações, como a aplicação anual do montante de, no mínimo, 0,5 % de sua receita operacional líquida em ações que tenham como meta o combate ao desperdício de energia elétrica, o que consiste nos PEE e outro montante em P&D. Os projetos do PEE, apresentados pelas distribuidoras, devem seguir o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (MPEE) e o Procedimento do Programa de Eficiência Energética (PROPEE). A Tabela 1 demonstra as aplicações e resultados dos PEEs entre 1998/99 e 2005/06 (ANEEL, 2015a).

Tabela 1 – Aplicações dos PEEs no setor industrial

Ciclos	Investimento Realizado (R$)	Energia Economizada (MWh/ano)	Demanda Evitada (kW)
CICLO 98/99	3.196.460,56	33.198,00	7.780,00
CICLO 99/00	3.493.897,91	40.336,60	4.160,10
CICLO 00/01	3.730.014,00	30.209,00	5.009,00
CICLO 01/02	14.209.072,00	69.359,00	11.630,00
CICLO 02/03	18.448.280,00	65.382,00	9.018,00
CICLO 03/04	41.722.204,00	121.928,00	15.034,00
CICLO 04/05	17.883.210,00	89.416,00	17.883,00
CICLO 05/06	43.896.747,13	141.390,40	16.771,30

Fonte: Guardia (2010 apud ANEEL, [2015?], p. 39).

Através da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, é autorizada a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que é concretizada através do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. A finalidade EPE é “[...] prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica [...], fontes energéticas renováveis e eficiência energética,

dentre outras”. Sendo mais uma medida do governo para controle de energia e eficiência energética (BRASIL, 2004).

São estudos e produtos criados pela EPE: Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), Balanço Energético Nacional (BEN), Programa de Expansão da Transmissão (PET), Anuário Estatístico de Energia Elétrica, Plano Nacional de Energia (PNE), entre outros (EPE, 2015).

O objetivo do PNE 2030 é o “[...] planejamento de longo prazo do setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas”, definindo também metas para um plano nacional de eficiência energética.

Em relação à instituição não governamental, tem-se o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE). Conforme o próprio INEE (2015), seu objetivo em benefício à economia é fomentar o aumento da eficiência na transformação e na utilização de todas as modalidades de energia e atuar para “[...] melhorar o grau de informação sobre eficiência e apoiar a criação de legislação, norma e regulamentos através da promoção de programas, projetos e eventos”.

Outra entidade que não está relacionada ao governo é a ABESCO, que representa as empresas inseridas no segmento de eficiência energética, chamadas de Empresa de Serviço de Conservação de Energia (ESCO), promovendo ações e projetos para estas empresas e para o crescimento do mercado energético (ABESCO, 2015b).

2.2 Abordagem no setor industrial

O setor industrial, por sua diversidade de tecnologias e sistemas utilizados no processo de produção, tem um grande potencial relacionado aos estudos que podem ser realizados nesse segmento, podendo através deles identificar pontos onde a energia pode ser utilizada de maneira mais eficiente. Outro ponto que indica que deve-se atacar o setor industrial com medidas de eficiência energética é o seu alto consumo, o que o torna o maior consumidor de energia elétrica no Brasil, que pode ser constatado na Tabela 2, retirada do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 (BRASIL, 2016a).

Tabela 2 – Consumo por classe (GWh)

	2011	2012	2013	2014	2015	delta % (2015/2014)	Part. % (2015)	
Brasil	**433.015**	**448.177**	**463.134**	**474.823**	**465.203**	**-2,0**	**100**	**Brazil**
Residencial	111.971	117.646	124.908	132.302	131.295	-0,8	28,2	Residential
Industrial	**183.576**	**183.475**	**184.685**	**179.106**	**168.854**	**-5,7**	**36,3**	**Industrial**
Comercial	73.482	79.226	83.704	89.840	90.893	1,2	19,5	Commercial
Rural	21.027	22.952	23.455	25.671	25.900	0,9	5,6	Rural
Poder Público	13.222	14.077	14.653	15.354	15.186	-1,1	3,3	Public Sector
Iluminação púb.	12.478	12.916	13.512	14.043	15.334	9,2	3,3	Public lighting
Serviço público	13.983	14.525	14.847	15.242	14.730	-3,4	3,2	Public service
Próprio	3.277	3.360	3.371	3.265	3.011	-7,8	0,6	Own use

Fonte: Brasil (2016a, p. 86).

Por ser a indústria a que mais consome energia elétrica no país, ao investir em medidas de eficiência nesse setor tem-se uma economia significativa no consumo de energia total, postergando investimentos no setor elétrico atual. (INDÚSTRIA ..., [2015?]). De acordo com Brasil (2016b) no ano de 2050 a energia conservada, através da eficiência no setor elétrico, irá representar uma economia de 17% no consumo final, sendo que o setor industrial contribuirá com uma redução de 114.841 GWh, conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de energia elétrica e eficiência elétrica

Consumo (GWh)	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Consumo potencial sem conservação	685.585	1.071.379	1.471.426	1.936.274
Energia conservada	37.507	100.184	193.375	331.408
Energia conservada (%)	**5,5**	**9,4**	**13,1**	**17,1**
Consumo final, considerando conservação	648.078	971.194	1.278.051	1.604.867
Energia conservada por setor				
Setor industrial	**16.330**	**40.199**	**72.098**	**114.841**
Setor transporte	94	787	4.795	13.733
Setor serviços	7.028	26.364	59.770	114.046
Setor residencial	13.589	31.361	54.268	85.185
Setor Agropecuário	465	1.473	2.445	3.602

Fonte: Brasil (2016b, p. 195).

Em concordância com Pereira (2009), o primeiro passo é a criação de um grupo ou comitê de eficiência energética, formado por integrantes da própria empresa (indústria), das áreas administrativas e técnicas, os quais são responsáveis

por realizar estudos e tomar ações que visem à diminuição do consumo através de métodos mais eficientes.

Conforme Brasil (2007) o potencial de conservação na indústria está relacionado aos seguimentos de força motriz, calor de processo, aquecimento direto, iluminação, eletroquímica e outros pontos de consumo em geral, demonstrados no PNE 2030. Já Guardia (2010) apresenta o ganho de eficiência com novos equipamentos, aos quais os fabricantes aplicam novas tecnologias e que podem representar novas oportunidades para o setor industrial, nas áreas de motores, compressores, ar comprimido, iluminação e sistemas de refrigeração.

2.2.1 Iluminação

De acordo com Brasil (2007) no PNE 2030, a iluminação artificial representa 17 % do consumo final de energia elétrica no Brasil, distribuído por setores, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo em iluminação artificial no Brasil

Setores	**En. total (GWh/a)**
Setor Energético	12.818,00
Setor Residencial	78.577,00
Setor Comercial	50.082,00
Setor Público	30.092,00
Setor Agropecuário	14.895,00
Setor de Transportes	1.039,00
Setor Industrial	**172.061,00**
Total	**359.564,00**

Fonte: EPE (2005 apud BRASIL, 2007, p. 34) e Brasil (2005 apud BRASIL, 2007, p. 34).

Com estes dados podemos deduzir que a iluminação industrial representa a maior parte do consumo de energia elétrica neste segmento, o que justifica a realização de estudos, com o intuito de analisar o método de iluminação utilizado e a possibilidade de substituí-lo por um mais eficiente.

Para avaliar a eficiência de uma iluminação, primeiramente deve-se ter o domínio de alguns conceitos, conforme Sá (2010) a unidade do fluxo luminoso, que é a quantidade de luz emitida por segundo, é o lúmen (lm) e seu símbolo grego Φ (phi). Já o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície é chamado de nível de

iluminação ou iluminância (E), sua unidade é o lux e pode ser determinado pela Equação 1.

$$E = \frac{\Phi(lm)}{área(m^2)}(lux) \tag{1}$$

Onde:
E = nível de iluminação (lux);
Φ = fluxo luminoso (lm);
área = área do ambiente (m^2).

Para comparar diferentes tipos de iluminação, deve-se analisar a eficiência luminosa de cada sistema, que é a razão entre fluxo luminoso gerado e a potência absorvida, o mesmo é calculado através da Equação 2 (SÁ, 2010).

$$\eta = \frac{\Phi(lm)}{P(W)}(lm/W) \tag{2}$$

Onde:
η = rendimento;
Φ = fluxo luminoso (lm);
P = potência absorvida (W).

Ao trocar qualquer sistema de iluminação, deve-se analisar o nível de iluminação atual, o mesmo deve ser mantido com o novo sistema ou redimensionado, obedecendo às exigências da norma NBR ISO/CIE 8995-1, que a partir de 21 de abril de 2013 passou a substituir a NBR 5413, assim como o Índice de Reprodução de Cor (IRC), que indica as propriedades de reprodução de cor da fonte de luz, e o Índice de Ofuscamento Unificado (UGR), que estabelece o nível de desconforto por ofuscamento, propiciando um ambiente de boa iluminação, fazendo com que as pessoas desempenhem suas tarefas com segurança e eficiência (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2013).

2.3 Vantagens e Dificuldades

Álvares (2005), no manual de boas práticas de eficiência energética do BCSD (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável), elaborado em parceria com a Universidade de Coimbra, salienta as vantagens de se aplicar medidas de eficiência energética, pois além de reduzir de modo significativo o consumo de energia e emissões de poluentes, também eleva a economia no custo do ciclo de vida dos equipamentos, reforçando a competitividade das empresas, e contribuem para a redução da fatura e da dependência energética do país. Também cita os benefícios não energéticos como, aumento de conforto e segurança, redução de ruído, aumento da produtividade do trabalho, aumento de emprego, redução de resíduos e reserva de água.

Panesi (2006, p. 29) destaca os seguintes benefícios:

- Geração de emprego;
- Aumento da produtividade e competitividade nas empresas;
- Impacto positivo na economia e macroeconomia;
- Diminui emissões e impacto ao meio ambiente;
- Aumenta a consciência contra o desperdício;
- Melhora em processos e equipamentos;
- Diminui a ponta do sistema para as concessionárias.

Mas também existem dificuldades ao se aplicar um programa de eficiência energética, como o valor mais elevado das tecnologias eficientes, o mito de a energia elétrica é abundante, falta de normas em alguns seguimentos, falta de pessoas capacitadas e especializadas em eficiência energética. (PANESI, 2006).

De acordo com Álvares (2005), o desconhecimento dos consumidores, o receio em aplicar novas tecnologias, investimento inicial, ausência de incentivo, e de que em alguns casos o retorno do investimento se dá em longo prazo, são barreiras de mercado em relação à eficiência energética.

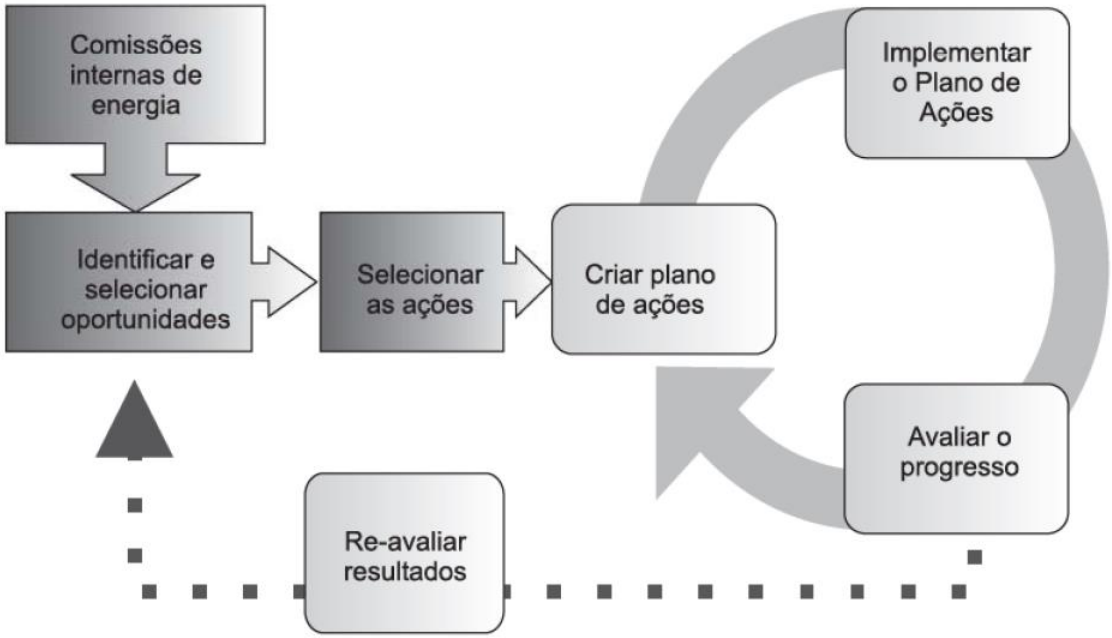
2.4 Gestão energética

Com a revisão bibliográfica, é evidente perceber que o setor industrial proporciona um amplo campo de atuação em relação à eficiência energética, devido a sua diversidade de processos. Este trabalho relata algumas das medidas que podem ser aplicadas na indústria com o intuito de reduzir o consumo de energia, e

consequentemente amortizar a fatura de energia elétrica, gerando uma economia para a empresa, tornando-a mais competitiva.

De acordo com Venturini (2005), antes de iniciar qualquer medida de eficiência energética é necessário implantar um programa de gestão energética, que segundo Rocha e Monteiro (2005), “[...] visa otimizar a utilização de energia elétrica por meio de orientações, ações e controles sobre os recursos humanos, materiais e econômicos [...]”, reduzindo o consumo de energia, sem prejudicar os processos de produção, fazendo com que a empresa também seja reconhecida no mercado, pois para que a mesma seja certificada na Organização Internacional para Padronização (ISO) 14000 é necessário aplicar este tipo de programa. Na Figura 1 são demonstradas as etapas que devem ser seguidas ao se implementar um programa de gestão energética.

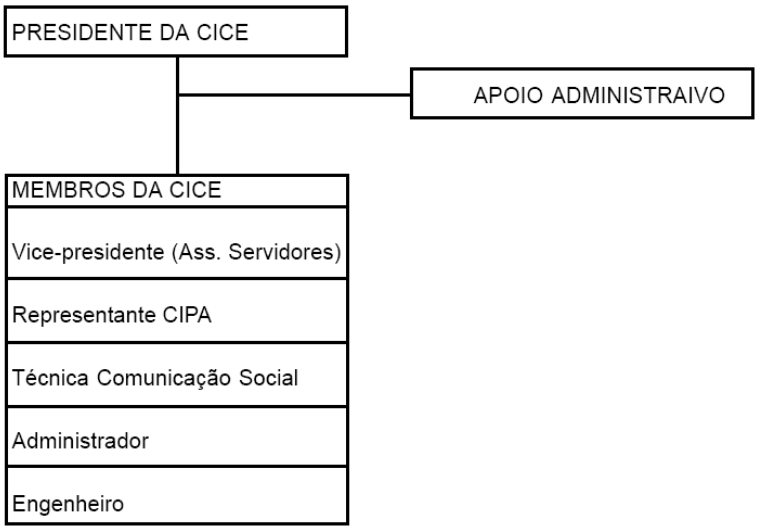
Figura 1 – Ciclo de implementação para uma gestão energética



Fonte: Venturini (2005, p. 23).

Segundo COPEL (2005), no Manual de Eficiência Energética na Indústria, deve-se criar uma CICE (Comissão Interna de Conservação de Energia) para coordenação do programa de gestão. A mesma será responsável por propor, acompanhar e implementar as medidas de conservação e eficiência energética, estabelecendo metas de redução, além de controlar e divulgar as informações relacionadas. Na Figura 2 é apresentada uma sugestão de estrutura da CICE.

Figura 2 – Estrutura da CICE



Fonte: COPEL (2005, p.124).

Conforme Viana (2012), o processo de gestão energética não é muito fácil e depende muito da complexidade das metas que são traçadas em cada situação, aliado a isso, em alguns momentos pode surgir a dificuldade da CICE de atuar com criatividade e independência, criticando processos e sistemas utilizados, por serem funcionários da própria empresa. Então se indica a terceirização através das ESCOS (Empresas de Serviço de Conservação de Energia), consideradas como consultorias especializadas, que além de oferecer experiência técnica e de gestão, podem dar a orientação necessária para o financiamento dos custos de implementação das propostas de redução.

2.5 Plano de Medição e Verificação (M&V)

Ao investir em projetos de eficiência energética, os executivos das empresas desejam saber o quanto está sendo economizado com a aplicação destes projetos, o que requer medição precisa e metodologia reprodutível, proporcionando resultados de economias mais confiáveis. A determinação das economias de energia e/ou demanda são determinadas pela comparação dos usos medidos de demanda e/ou energia antes e após a implementação de um projeto de eficiência energética, com possíveis ajustes, de maneira geral, podem ser determinadas pela equação 3 (INEE, 2001).

$$Economia = uso\,da\,energia\,no\,ano\,base - uso\,da\,energia\,pós\,retrofit \pm ajustes \qquad (3)$$

Nos Quadros 1 e 2 é possível observar as opções de M&V, de acordo com o projeto é escolhida umas das quatro opções (A, B, C ou D), e desta forma é possível identificar as economias obtidas. Estes métodos para determinação de economias no uso da energia e da água provenientes da implementação de programas de eficiência energética, assim como o auxílio no monitoramento do desempenho dos mesmos, podem ser extraídos do “Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance”, que é uma tradução realizada através do INEE, do “*International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determing Energy Savings*”, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. (INEE, 2001).

Quadro 1 – Panorama das opções de M&V

Opções de M&V	Como as Economias são Calculadas	Aplicações Típicas
A. Medição parcial de retrofit isolado		
As economias são determinadas por medições de campo parciais do uso de energia do(s) sistema(s) aos quais foi aplicada uma Ação, em separado do uso de energia do restante da instalação. As medições podem ser de curto prazo ou contínuas. Medições parciais significam que alguns mas não todo(s) o(s) parâmetro(s) podem ser estipulados, se o impacto total dos possíveis erros de estipulação não forem significativos para as economias resultantes. Uma cuidadosa revisão do projeto da Ação e instalação assegurará que os valores estipulados representam razoavelmente o valor real provável. As estipulações devem ser mostradas no Plano de M&V juntamente com a análise da importância do erro que elas podem provocar.	Cálculos de engenharia usando medições de curto prazo ou contínuas do retrofit e valores estipulados.	Retrofit de iluminação onde a carga é medida periodicamente. As horas de operação das luzes são admitidas em meia hora por dia além das horas de funcionamento da instalação.
B. Retrofit Isolado		
As economias são determinadas por medições de campo do uso de energia dos sistemas aos quais a Ação foi aplicada, em separado do uso de energia do restante da instalação. As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós-retrofit.	Cálculos de Engenharia utilizando medições de curto prazo ou contínuas.	Aplicação de controles para variar a carga numa bomba de velocidade constante usando um variador de freqüência. A eletricidade utilizada é medida por um medidor de kWh instalado no suprimento elétrico do motor da bomba. No ano-base, este medidor fica no local por uma semana para medir o uso com carga constante. O medidor fica no local durante o período pós-retrofit para registrar as variações no uso da energia.
C. Toda a Instalação		
As economias são determinadas pela medição do uso de energia em toda a instalação. As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós-retrofit.	Análise dos dados de toda a instalação com dados do medidor da concessionária ou medidor secundário utilizando técnicas que vão desde a simples comparação até a análise de regressão.	Programa de gerenciamento de energia multifacetado que afeta muitos sistemas em um prédio. O uso de energia é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária para um período de 12 meses do ano-base e durante o período pós-retrofit.

Fonte: INEE (2001, p. 26).

Quadro 2 – Continuação do quadro 1

D. Simulação Calibrada		
As economias são determinadas através da simulação do uso de energia de componentes ou de toda a instalação. As rotinas para simulação devem ser demonstradas para modular adequadamente o desempenho efetivo da emergia medida na instalação. Esta opção geralmente requer considerável habilidade em simulação calibrada.	Simulação do uso de energia calibrada com dados horários ou mensais da fatura da concessionária e/ou medidor de uso final.	Programa de gerenciamento de energia multifacetado que afeta muitos sistemas num prédio mas onde não há dados disponíveis do ano-base. O uso de energia do período pós-retrofit é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária. O uso de energia do ano-base é determinado por simulação utilizando um modelo calibrado pelos dados da concessionária no período pós-retrofit.

Fonte: INEE (2001, p. 27).

Na opção A apenas a medição parcial é utilizada, com alguns parâmetros sendo estipulados e outros sendo medidos, deve-se ter cautela nas estipulações, revisando o projeto e instalações para assegurar a veracidade dos dados. Os parâmetros podem ser medidos contínua ou periodicamente por períodos curtos, onde pode-se utilizar medidores portáteis, como por exemplo, analisadores de energia (INEE, 2001).

3 METODOLOGIA

O estudo relacionado à eficiência energética foi realizado na filial de Estrela/RS de uma empresa, do ramo industrial metalúrgico, que possui sua matriz em São Paulo/SP e outras filiais em Rio Verde/GO, Recife/PE. Em suas quatro unidades, possui uma variada linha de produtos que estão voltadas para o ramo de produtos químicos, além de contar com uma ampla linha de aerossol.

A unidade de Estrela tem uma área construída de aproximadamente 19.000m² e é composta por cerca de 350 funcionários, denominados pela empresa como inventores. Possui dois transformadores, de 1000 kVA cada, instalados em sua subestação e uma demanda aproximada de 1400 kW, atualmente a empresa está inserida no mercado livre de energia[1].

O Plano de Medição e Verificação baseou-se no “Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance”, e foi desenvolvido em um projeto piloto de iluminação de LED instalado em outubro de 2015 no setor de estamparia da empresa. Por se tratar de um *retrofit* de iluminação, a opção de M&V escolhida foi a do tipo A, conforme demonstrada no Quadro 1 da revisão bibliográfica, através deste plano identificou-se a real quantidade de economia, que no projeto piloto só havia sido definida a partir de cálculos e especificações dos fabricantes, evidenciou-se a performance das luminárias de LED, após um ano e sete meses de uso, e analisou-se a possibilidade de utilização de sensor para controle de luminosidade.

O projeto piloto contemplava a troca do sistema de iluminação do setor de estamparia (Figura 3), que anteriormente utilizava trinta e cinco luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W (Anexo A), com uma eficiência de 52 lumens/W, ao todo a fábrica tinha trezentos e uma unidades destas luminárias. Após análise e projeto de luminotécnica com luminárias de LED de mais de um fabricante, instalou-se vinte e oito luminárias de LED de 79 W cada (Anexo B), com uma eficiência de 116,46 lumens/W.

[1] Informações concedidas pelos profissionais responsáveis da empresa Brasilata.

Figura 3 – Setor de estamparia

Fonte: Registrado pelo autor.

Conforme norma NBR ISSO/CIE 8995-1, que recomenda para diversos ambientes e atividades os índices necessários para projetar os sistemas de iluminação, as áreas de produção da empresa se enquadram no ambiente 14 da norma, o que pode ser constatado no Quadro, onde a primeira coluna se refere ao tipo de ambiente, tarefa ou atividade onde será projetado o sistema de iluminação, na última coluna consta recomendações e notas para execução e aplicação dos projetos. A segunda coluna se refere ao índice mínimo do nível de iluminação exigido para o ambiente, na terceira coluna consta o índice limite de ofuscamento unificado e na quarta coluna o índice mínimo de reprodução de cor.

Quadro 3 – Parte da tabela de requisitos exigidos na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	**lux**	**UGRL**	**Ra**	**Observações**
Trabalho em folha de metal < 5 mm	300	22	60	

Fonte: ABNT (2013, p. 23).

Foi realizada medição dos níveis de iluminação em vinte e quatro pontos da área de estamparia, com a utilização de lâmpadas de vapor de mercúrio onde 58 % dos pontos estavam abaixo dos 300 lux exigidos e uma iluminação média de 283, 09 lux, o índice de reprodução de cor era de 46, estando abaixo das exigências da norma também. Após a instalação das luminárias de LED também foi realizada a

medição dos índices de iluminação nos mesmos pontos, resultando em uma iluminação média de 365,13 lux e um índice de reprodução de cor de 80, para ambos os casos não foi necessário calcular o índice de ofuscamento devido à altura de montagem das luminárias ser de 6m, fazendo que a mesma seja visível ao observador em pequenos ângulos, conforme descrito na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), na Tabela 5 pode-se observar o níveis de iluminação medidos logo após a instalação das luminárias de LED, vale ressaltar que todas a medições foram realizadas no turno da noite, com o intuito de se analisar a pior situação, já que não haveria uma parcela de iluminação natural nas medições.

Tabela 5 – Níveis de iluminação logo após instalação da luminárias de LED

Ponto	Nível de iluminação (lux)
A	360
B	328
C	380
D	356
E	330
F	430
G	303
H	353
I	396
J	380
K	340
L	388
M	376
N	377
O	330
P	356
Q	351
R	415
S	405
T	341
U	322
V	328
X	397
Z	421
Média	365,13

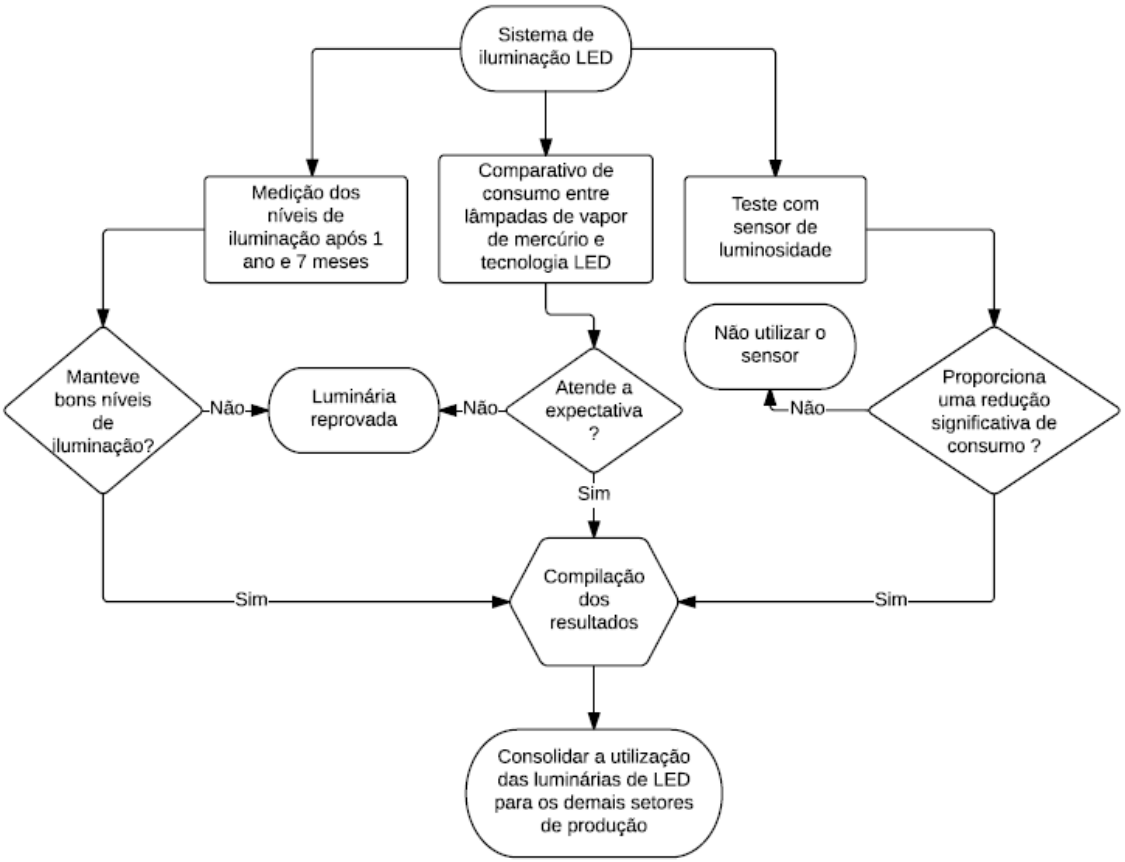
Fonte: Elaborada pelo autor.

Com esta aplicação obteve-se diversos resultados positivos, o consumo de energia elétrica foi reduzido em aproximadamente 79 %, com 8,3 kW de redução de demanda, proporcionando uma redução financeira para a empresa na fatura de

energia elétrica de aproximadamente R$ 2.230,00 mensais, estes dados foram coletados na época a partir de informações dos fabricantes, cálculos de engenharia e análise financeira. A iluminação dos postos de trabalho melhorou com o novo sistema, que passou a atender as exigências da norma vigente, em relação ao nível de iluminação e reprodução de cor, trazendo melhores condições de trabalho e segurança para os trabalhadores.

Todos estes dados demonstrados acima serviram para efeitos comparativos, indo de encontro aos objetivos, para orientar a metodologia criou-se o fluxograma demonstrado na Figura 4, onde pode-se observar as etapas deste trabalho e de que forma tomou-se as decisões de acordo com a análise dos resultados.

Figura 4 – Fluxograma para aplicação da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro passo foi realizar nova medição dos índices de iluminação dos mesmos vinte e quatro pontos do setor de estamparia, para verificar o desempenho das luminárias de LED ao longo do tempo, com o auxilio do mesmo aparelho

utilizado nas medições anteriores, um luxímetro EZA EZ-100+, ilustrado na Figura 5. As medições foram realizadas no turno da noite e considerando altura de trabalho padrão, estabelecida pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), que é de 0,8m, mesma altura das medições realizadas logo após instalação das luminárias.

Figura 5 – Luxímetro utilizado para medições

Fonte: Registrado pelo autor.

Na Tabela 6 pode-se verificar os novos índices de medição, realizados no mês de maio de 2017, um ano e sete meses após a instalação das luminárias LED.

Tabela 6 – Comparativo dos índices de iluminação do setor de estamparia

Medição após instalação		Medição após 19 meses	
Ponto	Nível de iluminação (lux)	Ponto	Nível de iluminação (lux)
A	360	A	367
B	328	B	325
C	380	C	383
D	356	D	352
E	330	E	328
F	430	F	432
G	303	G	305
H	353	H	348
I	396	I	395
J	380	J	382
K	340	K	340
L	388	L	387
M	376	M	375
N	377	N	377
O	330	O	330
P	356	P	352
Q	351	Q	352
R	415	R	413
S	405	S	405
T	341	T	339
U	322	U	324
V	328	V	330
X	397	X	396
Z	421	Z	421
Média	365,13	Média	364,92

Fonte: Elaborado pelo autor.

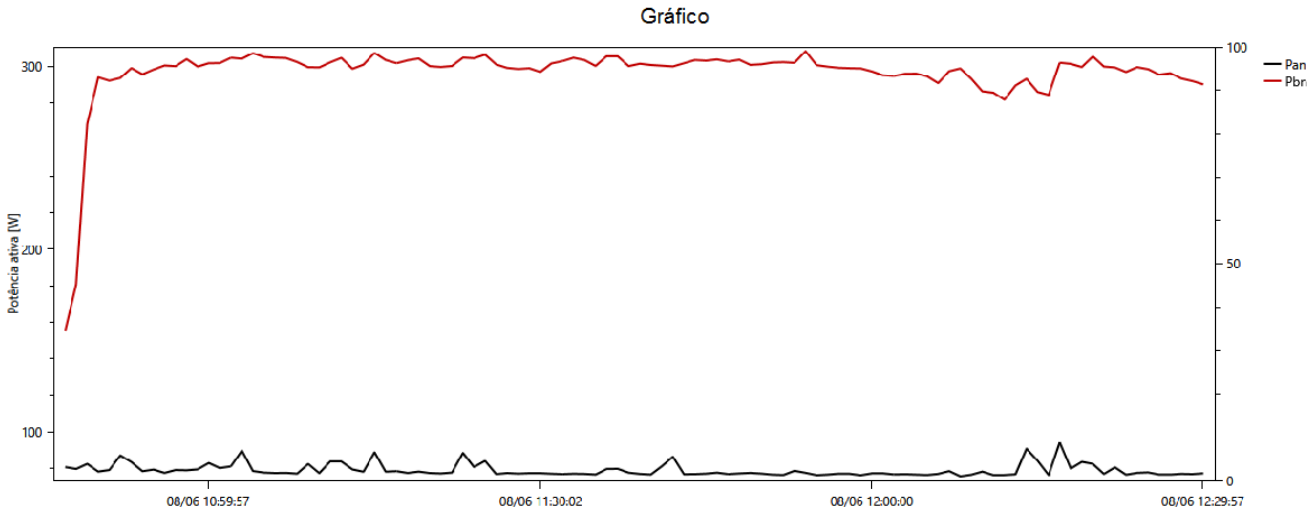
Seguindo as recomendações do “Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance”, na segunda análise a ser realizada, para comparativo de consumo entre as luminárias LED e lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W, utilizou-se o analisador de energia PQ-600 (Figura 6) da empresa IMS para evidenciar a real economia de energia, juntamente com seu *software* de análise o “PowerMANGER Desktop Standard”.

Figura 6 – Analisador de energia utilizado nas medições

Fonte: Registrado pelo autor.

A medição foi realizada em um curto intervalo de tempo, em torno de uma hora e trinta minutos, pois se trata de uma carga que não varia no tempo, o que torna seu consumo constante aos longo do tempo. Na Figura 7 pode-se verificar os resultados desta medição, gerados pelo próprio software no analisador, no gráfico temos como Pbn, em vermelho, a potência absorvida pela lâmpada de vapor de mercúrio e o reator, já Pan, em preto, a potência absorvida pela luminária de LED, e nos dados extraídos em um resumo da medição, percebe-se que a luminária de LED estava conectada na fase A com uma potência ativa média de 79,07 W e a lâmpada de vapor de mercúrio mais o reator, estavam conectados na fase B com uma potência ativa média de 296,64 W.

Figura 7 – Resultado do comparativo de consumo entre luminárias LED e lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W



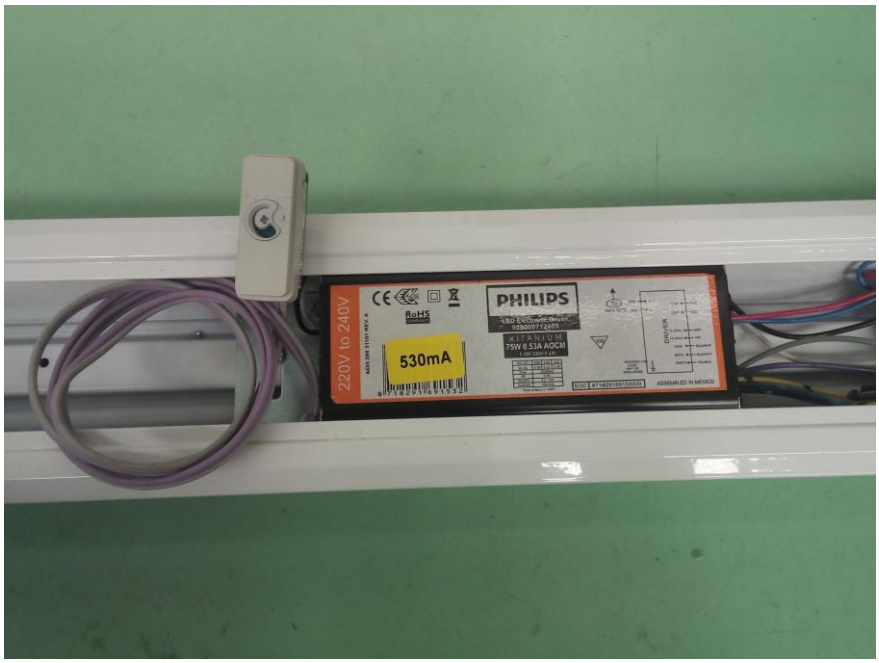
Resumo da medição

* Potência ativa fase A [W]			* Potência ativa fase B [W]		
Mínimos	75,73	08/06/2017 12:08:00	**Mínimos**	155,05	08/06/2017 10:47:00
	76,30	08/06/2017 11:59:00		180,73	08/06/2017 10:48:00
	76,34	08/06/2017 11:55:00		268,70	08/06/2017 10:49:00
Máximos	94,28	08/06/2017 12:17:00	**Máximos**	308,39	08/06/2017 11:54:00
	90,85	08/06/2017 12:14:00		307,41	08/06/2017 11:15:00
	89,81	08/06/2017 11:03:00		307,27	08/06/2017 11:04:00
Média	79,07		**Média**	296,64	

Fonte: Extraído do software *PowerMANAGER Desktop Standard*.

As luminárias de LED possuem um drive, que em um entendimento mais básico, podem ser considerados como a fonte de alimentação dos LEDs da luminária, este drive com o auxílio de um sensor de luminosidade, tem a capacidade de regular o fluxo luminoso das luminárias de acordo com um nível de ajuste e consequentemente alterar o consumo de energia das mesmas. Na Figura 8 é possível identificar uma luminária com este drive, assim como o sensor de luminosidade.

Figura 8 – Luminária de LED com drive e sensor de luminosidade



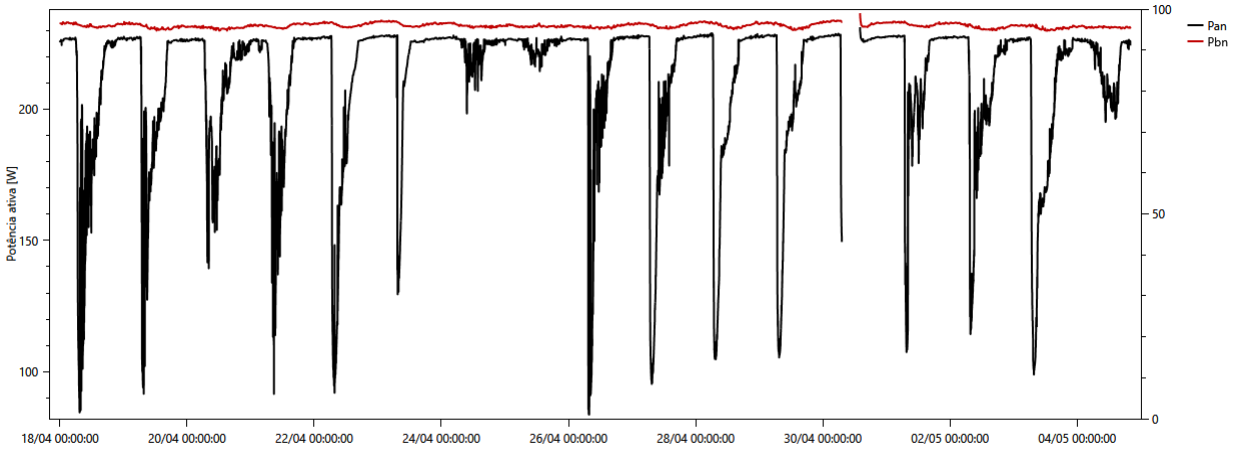
Fonte: Registrado pelo autor.

Também com o auxílio do analisador de energia foi realizada uma medição para comparar o consumo de luminárias de LED com e sem sensor de luminosidade para controlar o fluxo luminoso das luminárias, os testes foram realizados de 18 de abril até 4 de maio, com seis luminárias, onde três tinham o sensor de luminosidade instalado e outras três não tinham, o sensor de luminosidade foi regulado para um índice de iluminação de 300 a 400 lux, o resultado de potência absorvida por estes dois conjuntos de luminárias (com e sem sensor) pode-se analisar nas figuras abaixo.

Nas figuras 9 e 10, o conjunto de luminárias LED que não possuem o sensor de luminosidade esta representado por Pbn, na cor vermelha, já o conjunto de luminárias que possuem o sensor de luminosidade estão representadas por Pba, na cor preta, percebe-se que em ambos os casos a potência do conjunto que possui o sensor sofre alterações ao longo do dia, devido ao ajuste de luminosidade, que durante o turno da manhã e boa parte da tarde recebe uma parcela de iluminação natural fazendo com que as luminárias possam funcionar com um fluxo luminoso e consumo reduzido, o que não ocorre no conjunto que não possui o sensor. Já na Figura 11 é possível identificar que o conjunto que possui sensor de luminosidade têm uma potência ativa média de 211,62 W, ou seja, cada luminária representa

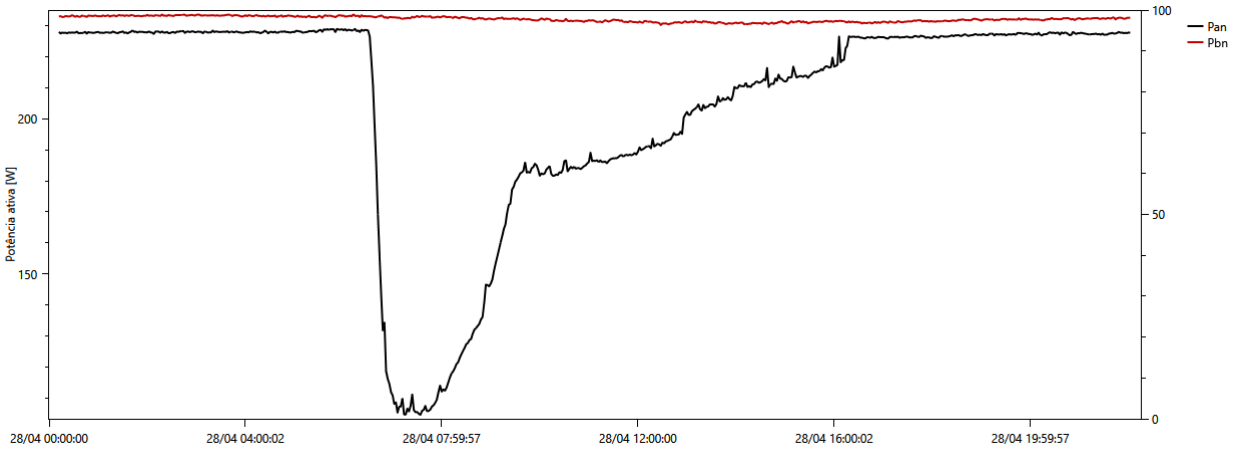
70,54 W, já para o conjunto que não possui sensor a potência ativa média de cada luminária é de 77,26 W, totalizando uma potência ativa média de 231,78 W.

Figura 9 – Potência ativa absorvida pelos conjuntos de luminárias LED



Fonte: Extraído do software PowerMANAGER Desktop Standard.

Figura 10 – Potência ativa absorvida em um dia pelos conjuntos de luminárias LED



Fonte: Extraído do software PowerMANAGER Desktop Standard.

Figura 11 – Resumo de potência ativa absorvida pelos conjuntos de luminárias LED

* Potência ativa fase A [W]			* Potência ativa fase B [W]		
Mínimos	83,67	26/04/2017 07:46:00	**Mínimos**	229,57	19/04/2017 13:38:00
	83,69	26/04/2017 07:44:00		229,62	03/05/2017 12:10:00
	83,75	26/04/2017 07:40:00		229,65	03/05/2017 12:20:00
Máximos	231,21	30/04/2017 14:00:00	**Máximos**	236,56	30/04/2017 14:00:00
	229,95	30/04/2017 14:02:00		235,91	30/04/2017 14:02:00
	229,80	30/04/2017 14:04:00		235,37	30/04/2017 14:04:00
Média	211,62		**Média**	231,78	

Fonte: Extraído do software PowerMANAGER Desktop Standard.

Em paralelo as medições de potência absorvida, também foram realizadas as medições dos níveis de iluminação em intervalos de duas horas, entre as 6:00 e as 22:00 horas, para garantir que os níveis de iluminação não ficariam abaixo dos exigidos por norma, as medições foram realizadas com o luxímetro EZA EZ-100+, abaixo do conjunto de luminárias com sensor de luminosidade e do conjunto de luminárias sem o sensor, em ambos os conjuntos inspecionou-se cinco pontos de medição, na Tabela 7 pode-se observar os índices médios de iluminação destes pontos e uma média geral para cada ponto.

Tabela 7 – Comparativo dos índices de iluminação entre os conjuntos de luminárias

Comparativo dos índices médios de iluminação										
Horário	Pontos do conjunto que possuía sensor					Pontos do conjunto que não possuía sensor				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
06:00	311	426	344	438	317	307	460	343	401	318
08:00	366	417	320	419	330	520	670	515	640	446
10:00	365	418	401	438	400	483	621	472	647	484
12:00	328	399	367	419	314	339	461	379	490	364
14:00	341	421	376	442	365	350	492	389	489	355
16:00	346	426	385	446	388	374	458	404	478	398
18:00	305	409	350	433	329	319	459	374	405	320
20:00	308	413	349	431	333	324	445	369	408	315
22:00	308	420	347	428	322	327	418	339	379	307
Média	331	416	360	433	344	371	498	398	482	368
Média total			377					423		

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar a medição dos índices de iluminação do setor de estamparia após dezenove meses de utilização, desde a instalação das luminárias, pode-se avaliar o desempenho das mesmas ao longo do tempo, para cálculo de tempo total de operação considerou-se o perfil de produção do setor, que em média é de vinte e dois dias por mês durante vinte quatro horas por dia, além disso, acrescentou-se meia hora a mais por dia, conforme orientação do “Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance” para M&V do tipo A, descrito na terceira coluna do Quadro 1 da revisão bibliográfica. O resumo deste cálculo está demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Tempo total de operação do sistema de iluminação LED

Padrão de consumo				
Dias de utilização no mês	Horas por dia	Meses de utilização	Adicional de horas por dia	Total de horas
22	24	19	0,5	10241

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando informações disponibilizadas pelo fabricante das luminárias LED a vida útil das mesmas é de sessenta mil horas, pode-se concluir que as dez mil duzentos e quarenta e uma horas de uso, até o momento da medição dos índices de iluminação, representam em torno de 17,06 % da vida útil total das luminárias, ou seja, as mesmas ainda devem funcionar de forma eficiente e mantendo suas características iniciais. O que percebe-se através do comparativo demonstrado na Tabela 6, onde a variação da média dos índices de iluminação após dezenove meses de uso foi de aproximadamente 0,06 % para menos, com isso pode-se constatar que as luminárias não tiveram perdas significativas e que mantém bom fluxo luminoso.

Com o intuito de reduzir ainda mais o consumo de energia elétrica com o sistema de iluminação, neste trabalho também realizou-se uma análise para utilização de um sensor de luminosidade que controla a intensidade do fluxo luminoso das luminárias, juntamente com um drive de alimentação. Pode-se perceber através das Figura 9 e 10 que o controle de luminosidade funcionou ao longo dos dias de medição, pois a potência absorvida pelas luminárias que tinham o

sensor variou ao longo do tempo, na Figura 10 pode-se observar que para um dia ensolarado as luminárias tiveram um controle de luminosidade entre o intervalo das sete horas da manhã até as dezesseis horas da tarde.

Ao analisar a Figura 11 tem-se que, ao longo de toda a medição, o conjunto que tinha o sensor de luminosidade teve uma potência ativa média absorvida de 211,62 W, enquanto o conjunto que não possuía o sensor teve uma potência ativa média absorvida de 231,78 W, o que representa uma economia de aproximadamente 8,67 % no consumo de energia elétrica. É importante salientar que os níveis de iluminação exigidos por norma não foram afetados como pode-se perceber na Tabela 7, onde o conjunto que possui o sensor manteve uma média do índice de iluminação superior a 300 lux, nota-se também que a média dos índices de iluminação do conjunto que não possuía o sensor é mais alta devido ao fato de o mesmo não possuir o controle de luminosidade e em dias ensolarados as medições tinham parcela de iluminação natural e o fluxo total das luminárias, elevando os índices de iluminação, o que não acontecia no conjunto que possuía o sensor, pois tendo uma parcela de iluminação natural o fluxo de luminosidade da luminária era reduzido para manter um índice de iluminação entre 300 e 400 lux, reduzindo assim o consumo de energia elétrica.

Através dos dados expostos na Figura 7, pode-se afirmar que as luminárias LED realmente têm uma potência ativa média de 79,07 W, se aproximando muito dos dados fornecidos pelo próprio fabricante, isso só pode ser comprovado com a utilização do analisador de energia. Já as luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio mais o reator têm uma potência ativa média de 296,64 W, logo, a substituição por luminárias LED representa uma economia de energia elétrica de aproximadamente 73,3 %, e se considerar ainda a utilização do sensor de luminosidade a potência ativa média absorvida por cada luminária LED é de 70,54 W, tendo como base o estudo realizado com três luminárias que possuíam o controle de luminosidade, obtendo-se assim, uma redução 76,2 % no consumo de energia elétrica comparando a substituição de uma unidade de luminária com lâmpada de vapor de mercúrio pela luminária LED analisada.

A partir destes dados, que foram gerados com a aplicação do M&V, pode-se estimar de forma mais real a economia gerada com a substituição das luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, dos demais setores de produção da empresa,

por luminárias LED, dando continuidade ao projeto piloto realizado no setor de estamparia em outubro de 2015.

No Apêndice A visualiza-se, de forma resumida, esta estimativa de economia de energia elétrica assim como a análise financeira do investimento, com um custo de aproximadamente R$ 203.855,00 a empresa poderá gerar uma economia mensal aproximada de R$ 10.589,43, com a redução mensal de aproximadamente 32.416,86 kWh no consumo de energia elétrica. Para chegar nesses valores, considerou-se a redução de potência absorvida com a utilização de luminárias LED e sensor de luminosidade, o padrão de operação do sistema de iluminação de acordo com a produção da empresa, além de um acréscimo de meia hora de uso diário e o custo do kWh em R$ 0,327, devido ao fato de a empresa estar inserida no mercado livre de energia. De acordo com o padrão de operação do sistema de iluminação, as luminárias levarão nove anos para alcançar sua vida útil, por este fato, a analise financeira foi realizada considerando este período.

Antes do término deste trabalho ainda foi possível registrar a continuação do projeto de substituição do sistema de iluminação, tendo como base o projeto piloto, onde em sua primeira fase, ocorreu a instalação das luminárias LED no setor de aerossol, na Figura 12 tem-se uma visão parcial do setor de estamparia e uma visão do setor de aerossol, o qual na imagem da esquerda possui luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio e na imagem da direita com luminárias LED.

Figura 12 – Visão dos setores de estamparia e aerossol

Antes Depois

Fonte: Registrado pelo autor.

Também foi possível adquirir dados dos índices de iluminação antes e depois da instalação das luminárias de LED, conforme demonstra-se na Tabela 9, assim como no setor de estamparia os índices de iluminação tiveram um melhora significativa, pois com as luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio a média dos índices de iluminação estava em 207 lux e com muitos pontos abaixo dos 300 lux exigidos por norma, já com a instalação das luminárias LED, a média dos índices de iluminação subiu para 448 lux e todos os pontos ficaram com índice acima dos 300 lux. Esta melhora dos índices de iluminação pode ser percebida visualizando-se a Figura 13, onde a metade do setor que já possuía luminárias LED tem uma iluminação muito melhor que a outra metade que ainda não possuía as luminárias LED.

Figura 13 – Setor de aerossol

Fonte: Registrado pelo autor.

Tabela 9 – Índices de iluminação do setor de aerossol

Antes		Depois	
Ponto	Nível de iluminação (lux)	Ponto	Nível de iluminação (lux)
1	306	1	505
2	285	2	360
3	308	3	450
4	190	4	320
5	42	5	470
6	120	6	342
7	115	7	340
8	64	8	460
9	127	9	468
10	78	10	426
11	238	11	506
12	170	12	520
13	82	13	515
14	140	14	417
15	125	15	495
16	194	16	452
17	354	17	470
18	200	18	420
19	157	19	442
20	180	20	480
21	206	21	406
22	263	22	540
23	200	23	494
24	284	24	456
25	240	25	520
26	315	26	419
27	222	27	374
28	203	28	380
29	254	29	349
30	180	30	480
31	220	31	420
32	200	32	509
33	180	33	495
34	170	34	430
35	390	35	440
36	325	36	506
37	350	37	495
Média	207	Média	448

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi de realizar um Plano de Medição e Verificação (M&V) em um projeto piloto de iluminação LED, analisando-se sua performance após dezenove meses de operação, assim como sua real economia no consumo de energia elétrica, verificando-se também a possibilidade de utilização de um sensor de controle de luminosidade, com o intuito de ampliar o uso das luminárias LED para os demais setores de produção da empresa em questão.

Ao realizar nova medição dos índices de iluminação do setor de estamparia após dezenove meses de operação das luminárias de LED, constatou-se que os índices de iluminação não obtiveram mudanças significativas, já que o índice médio de iluminação teve apenas uma alteração de 0,06 % para menos. Isto representa que com aproximadamente 17,06 % de utilização da vida útil das luminárias, as mesmas mantiveram suas características e fluxo luminoso iniciais.

A utilização de um analisador de energia para realização deste trabalho foi de grande importância, pois possibilitou a constatação real dos valores de redução de energia, confirmando a potência ativa média de 79,07 W para as luminárias de LED estudadas e de 296,64 W para as luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, o que representa uma redução de 73,3 % no consumo de energia elétrica.

Foi possível evidenciar que com a utilização de sensor de luminosidade para controle de fluxo luminoso das luminárias LED essa redução de consumo de energia pode aumentar para 76,2 %, já que com a redução do fluxo luminoso, devido a parcelas de iluminação natural, as luminárias irão absorver menor potência do sistema elétrico. Sabe-se também que esse valor de economia pode se intensificar ainda mais, pois o estudo com sensor luminosidade foi realizado em um período de poucos dias ensolarados, o que se constata através da Figura 9, ou seja, em períodos com maior incidência de dias claros a economia pode ser ainda maior, lembrando que mesmo com a utilização do sensor, os índices de iluminação permaneceram acima dos 300 lux exigidos por norma, estas conclusões mais precisas em relação à economia e níveis de iluminação só puderam ser tomadas devido à utilização de analisador de energia e medições constantes dos índices de iluminação.

A partir da análise destes dados possibilita-se consolidar a utilização das luminárias de LED estudadas, para a iluminação dos demais setores de produção da

empresa, uma vez que as mesmas apresentam bons índices de iluminação ao longo do tempo, pois mantém sua eficiência energética, além de reduzirem de modo expressivo o consumo de energia elétrica, proporcionando também um ambiente mais seguro para os postos de trabalho, já que os índices mínimos de iluminação para a atividade exercida são atendidos.

Por fim conclui-se que com um investimento aproximado de R$ 203.855,00 para instalação das luminárias de LED nos demais setor de produção e utilização de sensor de luminosidade, a empresa pode ter uma economia mensal de aproximadamente R$ 10.589,43 na fatura de energia, o que representa uma economia anual de R$ 127.073,16, com a redução de aproximadamente 76,22 % no consumo de energia elétrica para o sistema de iluminação do setor de produção, com a redução mensal de aproximadamente 32.416,86 kWh. Através de análise financeira para o período de nove anos pode-se fazer o levantamento de alguns dados, estima-se que o retorno do investimento ocorra em aproximadamente vinte e dois meses, considerando uma taxa de desconto de 10 % o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto seria de R$ 527.962,38, além de uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 62%.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras tarifárias**. Brasília, DF, 2015b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>. Acesso em: 26 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Eficiência energética**. Brasília, DF, 2015a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>. Acesso em: 13 maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (ABESCO). **Quem somos**. São Paulo, 2015b. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 15 maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BORGES, André. **Crise de energia deve piorar em 2015**. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,crise-de-energia-deve-piorar-em-2015-imp-,1614066>. Acesso em: 4 jun. 2015.

BRASIL. Congresso Nacional. **A crise de abastecimento de energia elétrica**: relatório. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. **Lei nº 10847, de 15 de março de 2004**. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.847.htm>. Acesso em: 25 abr. 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.** Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm>. Acesso em: 25 abr. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016**. Rio de Janeiro, 2016a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf >. Acesso em: 15 abr. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de energia 2050**. Brasília, DF, 2016b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

EQUIPE DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Destaques de planos e balanços**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 13 maio 2015.

GODOI, José Maria Alves. **Metodologia para gestão da eficiência energética de sistemas industriais sob condicionantes socioambientais sustentáveis**. São Paulo, 2008. Monografia (Graduação), conclusão do curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2008/Monografias/Godoi-Monografia.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2015.

GUARDIA, Eduardo. et al. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria**: histórico de programas. Brasília, DF: CNI, 2010.

"INDÚSTRIA + eficiente" é exemplo para o setor nacional. Entrevista com Marco Aurélio Gianesini. In: CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA (CELESC). **Indústria + eficiente**. Santa Catarina, [2015?]. p. 11-17. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/peecelesc/imagens/arquivos/projetos/CARTILHA_INDUSTRIA_MAIS_EFICIENTE_-_WEG.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). **Quem somos**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.inee.org.br/sobre_quem.asp?Cat=sobre>. Acesso em: 15 maio 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.inee.org.br/down_loads/escos/PIMVP_2001_Portugues.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

KOZLOFF, Keith. et al. **Energia recomendações para uma estratégia nacional de combate ao desperdício**. Campinas: Grafcamp, 2001.

PANESI, André R, Quinteros. **Fundamentos de eficiência energética**. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

PEREIRA, Mário Jorge. **Energia**: eficiência e alternativas. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **O programa**: áreas de atuação do Procel. Rio de janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>. Acesso em: 12 maio 2015.

APÊNDICE A – COMPARARTIVO E ANÁLISE FINANCEIRA

Comparativo Financeiro													
Luminária	Potência (W)	Quantidade	Dias por mês	Horas por dia	Adicional de horas por dia	Consumo mensal (kWh)	Percentual de redução	Custo/mês (R$)	Economia/mês (R$)	Valor unitário (R$)	Custo adicional com sensores (R$)	Custo adicional com materiais (R$)	Investimento (R$)
vapor mercúrio	296,64	266	22	24	0,5	42530,46	0,00%	13.893,18					
LED	70,54	266	22	24	0,5	10113,6	76,22%	3.303,75	10.589,43	739,00	2.781,00	4.500,00	203.855,00

Análise Finaceira											
período (anos)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Luminária LED	investimento	-R$ 203.855,00									
	economia		R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16	R$ 127.073,16
	economia (-10%a.a)		R$ 115.521,06	R$ 105.019,14	R$ 95.471,95	R$ 86.792,68	R$ 78.902,44	R$ 71.729,49	R$ 65.208,63	R$ 59.280,57	R$ 53.891,43
	Acumulado		-R$ 88.333,94	R$ 16.685,20	R$ 112.157,15	R$ 198.949,83	R$ 277.852,27	R$ 349.581,76	R$ 414.790,39	R$ 474.070,96	R$ 527.962,38
	VPL	**R$ 527.962,38**									
	Payback (meses)	**22,09**									
	TIR	**62%**									

ANEXO A – LUMINÁRIA COM LÂMPADA VAPOR DE MERCÚRIO 250W

	Temp. de Cor	IRC Índice de reprod.	W Potência	lm Fluxo Luminoso	l max. [mm] Compr. l máx.	d [mm] Diâmetro	Base	No. Figura
HQL® STANDARD - Lâmpada de vapor mercúrio, bulbo elipsoidal								
HQL® 80	4200K	54	80	3800	155	71	E27	1
HQL® 125	4200K	54	125	6300	168	76	E27	1
HQL® 250	4000K	46	250	13000	226	91	E40	2
HQL® 400	4000K	44	400	22000	285	122	E40	2

ANEXO B – LUMINÁRIA LED ESTUDADA