



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP - Escola de
Minas - Colegiado do curso de Engenharia de Controle
e Automação - CECAU



SANDRO GERALDO ALVES SOBREIRA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A ILUMINAÇÃO

Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Ouro Preto, 2017

SANDRO GERALDO ALVES SOBREIRA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A ILUMINAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Regiane de Sousa e Silva Ramalho

Ouro Preto, 2017

S677e

Sobreira, Sandro Geraldo Alves.

Eficiência Energética Aplicada a Iluminação [manuscrito] / Sandro Geraldo Alves Sobreira. - 2017.

41f.: il.: color; tabs.

Orientador: Profa. Dra. Regiane de Sousa e Silva Ramalho.


Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Iluminação elétrica. 2. Energia elétrica - Consumo. 3. Diodos emissores de luz. 4. Sustentabilidade. I. Ramalho, Regiane de Sousa e Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Monografia defendida e aprovada, em 01 de novembro de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. M. Sc. Regiane de Sousa e Silva Ramalho - Orientadora



Prof. M. Sc. João Carlos Vilela de Castro – Professor Convidado



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

Resumo

Atualmente a utilização eficiente da energia elétrica é um tema que vem crescendo muito. No Brasil isso se deve principalmente a falta de chuvas que impacta diretamente as usinas hidrelétricas que são a maior fonte de eletricidade no país. Este trabalho estuda maneiras de reduzir o consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação através da utilização de equipamentos mais modernos e eficientes. Nos últimos anos os diodos emissores de luz (LEDs) vem revolucionando o setor de iluminação possibilitando a redução do consumo de energia com ótimos níveis de iluminação. Um estudo de caso foi realizado em um supermercado para analisar o sistema de iluminação existente e propor um mais eficiente dimensionado através de simulações utilizando o software Dialux.

Palavras-chaves: iluminação, eficiência energética, LED, sustentabilidade.

Abstract

Nowadays the efficient use of electric energy is a topic that has been growing. In Brazil this is mainly due to the lack of rain that impacts directly the hydroelectric plants that are the largest source of electricity in the country. This work studies ways to reduce the electric power consumption of the lighting systems through the use of more modern and efficient equipment. In recent years light-emitting diodes (LEDs) have been revolutionizing the light market enabling the reduction of energy consumption with lighting. A case study was carried out in a supermarket to analyze the existing lighting system and propose a more efficient one based on simulations using Dialux software.

Key-words: lighting. illumination. energy efficiency. LED. sustainability.

Lista de ilustrações

Figura 1	Capacidade Instalada e Consumo	16
Figura 2	Selo PROCEL	20
Figura 3	Selo CONPET	21
Figura 4	Etiqueta de Eficiência Energética	22
Figura 5	Lâmpada Incandescente	25
Figura 6	Lâmpada Halógena de Tungstênio	26
Figura 7	Lâmpada Fluorescente Tubular	26
Figura 8	Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão	27
Figura 9	Lâmpadas a vapor metálico	28
Figura 10	Lâmpada LED de bulbo	29
Figura 11	Lâmpada LED tubular	29
Figura 12	Foto do Supermercado	31
Figura 13	Distribuição das Luminárias no Supermercado	32
Figura 14	Vista 3D da Área de Vendas	33
Figura 15	Layout da Solução Proposta	34
Figura 16	Resultados da Simulação	36

Lista de tabelas

Tabela 1	Composição do custo médio da energia elétrica para a indústria no Brasil	12
Tabela 2	Histórico de regulamentações específicas e programas de metas	18
Tabela 3	Uso de Energia Elétrica pela Iluminação no Brasil	23
Tabela 4	Iluminâncias por classe de tarefas visuais	23
Tabela 5	Requisitos de iluminação recomendados para o varejo	24
Tabela 6	Principais características das lâmpadas elétricas	30
Tabela 7	Especificações Lâmpada TLTRS110W-ELD-NG	32
Tabela 8	Consumo Estimado do Sistema Atual	33
Tabela 9	Especificações Técnicas Luminária Low Bay Sobrepor 40W	34
Tabela 10	Consumo do Sistema Proposto	35
Tabela 11	Níveis de Iluminância da Solução Proposta	36
Tabela 12	Custo de Implantação da Solução Proposta.	37
Tabela 13	Comparativo entre o Sistema Atual e o Proposto	37

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light-Emitting Diode
Lm	Lúmen
M	Metro
MM	Milímetro
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TCU	Tribunal de Contas da União
UNID.	Unidade

VPL Valor Presente Líquido

W Watt

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Considerações Iniciais	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Gerais	13
1.2.2	Específicos	13
1.3	Justificativa	13
1.4	Metodologia	13
1.5	Estrutura do Trabalho	14
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Matriz Energética Brasileira	15
2.2	Crise Energética de 2001	15
2.3	Eficiência Energética	17
2.4	Eficiência Energética no Brasil	17
2.4.1	Lei da Eficiência Energética	17
2.4.2	Plano Nacional de Energia	18
2.4.3	PROCEL	19
2.4.4	CONPET	20
2.4.5	Programa Brasileiro de Etiquetagem	21
2.5	Iluminação	23
2.5.1	Lâmpadas Elétricas	24
2.5.1.1	Lâmpadas Incandescentes	24
2.5.1.2	Lâmpadas Halógenas de Tungstênio	25
2.5.1.3	Lâmpadas Fluorescentes	26
2.5.1.4	Lâmpadas a Vapor de Sódio de Alta Pressão	27
2.5.1.5	Lâmpadas a Vapor Metálico	27
2.5.1.6	Lâmpadas LED	28
2.5.1.7	Resumo	30
2.5.2	Eficiência Energética Aplicada a Iluminação	30
3	Desenvolvimento	31
3.1	Estudo de Caso	31
3.2	Situação Atual	31
3.3	Solução Proposta	33
4	Análise da Solução Proposta	36

5 Conclusões	39
Referências	40

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Atualmente a energia elétrica é uma parte fundamental na vida humana. Ela está ligada direta, ou indiretamente, a quase todas as atividades que realizamos no nosso dia a dia. Ela é utilizada como fonte de luz, calor, força, em telecomunicações e muito mais. Grande parte dos avanços tecnológicos alcançados se deve à energia elétrica. Sem ela não poderíamos utilizar internet, telefone, computador, metrô e diversos outros equipamentos que funcionam com eletricidade.

Além dos diversos benefícios que a eletricidade proporciona, ela também causa grandes impactos no meio ambiente. Para a construção de uma usina hidrelétrica, uma área muito grande tem que ser inundada, fazendo com que espécies de peixes desapareçam, que animais tenham que procurar um refúgio seco e ainda que pessoas tenham que deixar suas casas e começar uma vida em outra localidade. No caso das usinas termelétricas, que funcionam gerando energia elétrica a partir da queima de carvão, gás natural ou óleo combustível, o impacto principal é o lançamento de gases poluentes na atmosfera.

A energia elétrica no Brasil possui um custo muito elevado. Em junho de 2016 o valor médio da energia para as indústrias era de R\$ 535,28 por MWh, um aumento de 59,3% quando comparado ao valor do MW praticado em 2013. Esse alto valor da eletricidade impacta diretamente no custo de produção das indústrias brasileiras. O custo da energia no país é composto pelos seguintes itens: bandeiras tarifárias; encargos setoriais; geração, transmissão e distribuição (GTD); perdas; tributos estaduais e federais (FIRJAN, 2016). O GTD representa a maior parcela no custo da energia, com quase 57% do total, seguido pelos tributos com 27%. A tabela 1 mostra de maneira detalhada o custo de cada um dos itens no valor da energia elétrica para as indústrias brasileiras.

Tabela 1 – Composição do custo médio da energia elétrica para a indústria no Brasil. Fonte: (FIRJAN, 2016)

Item	R\$/MWh	%
GTD	302,06	56,4
Perdas	37,39	7,0
Encargos	24,26	4,5
Bandeiras	27,27	5,1
Tributos	144,27	27,0
Total	535,28	100,0

Influenciadas por questões ambientais, devido a maior conscientização sobre a degradação do meio ambiente, e financeiras, devido ao alto custo da energia brasileira, as indústrias vêm procurando por alternativas que proporcionem uma redução no consumo de energia e, conseqüentemente, uma redução no seu custo de produção. Essas alternativas estão diretamente ligadas as ações de eficiência energética que tem como principal objetivo proporcionar a redução no desperdício de energia elétrica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Gerais

Realizar um estudo sobre a eficiência do uso da energia elétrica do sistema de iluminação de um supermercado, analisando se os equipamentos utilizados são adequados para as tarefas que eles executam. Caso os equipamentos não se mostrem adequados, serão apresentadas soluções para aumentar a eficiência e será feita uma análise sobre a viabilidade econômica da solução proposta.

1.2.2 Específicos

O objetivo específico desta dissertação é:

- Analisar o sistema de iluminação de um supermercado e propor um sistema de iluminação mais eficiente.

1.3 Justificativa

Com a escassez de chuvas que o Brasil vem enfrentando nos últimos anos, a produção de energia pelas usinas hidrelétricas não tem conseguido atender a demanda energética do país. Com isso, usinas termelétricas vem sendo utilizadas para que não haja falta de energia. A principal consequência disso é que os custos da energia elétrica no país estão cada vez mais elevados.

Diante deste cenário, cada vez mais ações de sustentabilidade vem sendo implementadas com o objetivo de incentivar o uso racional da energia e proporcionar uma redução do consumo. A eficiência energética tem um papel fundamental para combater o mau uso da energia.

1.4 Metodologia

Para um estudo de eficiência energética aplicado à iluminação é necessário um referencial teórico que aborde a atual situação energética do Brasil e também as novas

tecnologias disponíveis na área de iluminação.

Nesse sentido é realizado um estudo de caso em um supermercado localizado na cidade de Belo Horizonte - MG. Nele foi levantado a situação atual do sistema de iluminação e uma posterior estimativa dos custos da energia elétrica utilizada pelo sistema.

Por fim propões-se a substituição do sistema atual por um mais eficiente baseado em luminárias LED. Foi realizado um estudo de viabilidade econômica comparando o sistema antigo com o sistema proposto.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esta monografia é composta por cinco capítulos.

O capítulo 1, Introdução, apresenta um conteúdo introdutório sobre os assuntos do trabalho desenvolvido. O capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta um estudo teórico sobre a situação energética brasileira, sobre os programas de eficiência energética implementados no país e sobre os equipamentos que serão alvo das ações de eficiência energética propostos por este estudo. O capítulo 3, Desenvolvimento, apresenta as atividades que foram desenvolvidas para melhorar a eficiência dos sistemas estudados. O capítulo 4, Análise da Solução Proposta, analisa se a solução é viável financeiramente e se ela está de acordo com as normas técnicas aplicáveis. O capítulo 5, Conclusões, apresenta as considerações finais sobre o trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Matriz Energética Brasileira

O Brasil possui uma matriz energética muito diversificada, com grande participação de fontes renováveis. Em 2014, 74,6% da energia consumida no Brasil foi proveniente de fontes renováveis contra apenas 23,3% no resto do mundo. Dentre as fontes renováveis, a de maior destaque é a hidrelétrica, que foi responsável por 87,5% da energia proveniente de fontes renováveis, o que corresponde a 65,2% da energia consumida no Brasil (MME, 2016).

O setor industrial é o responsável pela maior parte do consumo de energia no Brasil, sendo o responsável por 33,9% de toda a energia consumida em 2014. Esse percentual se manteve estável quando comparado ao ano de 2013. O segundo maior consumidor é o setor de transportes, responsável por 32,5% do consumo em 2014, contra 32% em 2013. O setor residencial foi o responsável por 9,3% do consumo em 2014, contra 9,1% em 2013 (MME, 2016).

Atualmente o setor elétrico brasileiro está apto para atender a demanda, mas esse fato se deve, principalmente, à crise político financeira que o país atravessa e que freou os planos de expansão de muitas indústrias e, conseqüentemente, seu consumo energético. Se não houvesse crise, a demanda por energia seria ainda maior e o país correria um grande risco de enfrentar problemas no setor elétrico e racionamento de energia como em 2001 e 2002 (MME, 2016).

2.2 Crise Energética de 2001

No ano de 2001 o Brasil enfrentou sua crise energética mais grave. Devido ao risco eminente do corte de energia, as empresas e a população brasileira tiveram que reduzir seu consumo de energia. Essa redução deveria atingir 20% do consumo e era obrigatória para clientes que consumiam mais do que 100 kWh por mês. Caso a redução não fosse atingida os consumidores seriam punidos. Entre as punições estavam o corte de energia por 3 dias, 6 dias em caso de reincidência, e ainda uma sobretaxa de 50% sobre a quantidade do consumo que excedesse 200 kWh por mês. Para o consumo que excedesse 500 kWh haveria uma sobretaxa de 200%. Essas regras valeram entre 04 de junho de 2001 e 28 de fevereiro de 2002.

Mesmo com grande participação de fontes renováveis em sua matriz energética, o Brasil ainda carece de investimentos para a expansão do setor elétrico. Analisando os dados sobre a capacidade instalada de produção de energia elétrica é possível perceber que um dos principais motivos para a crise energética ocorrida em 2001 foi que nas décadas de 1980 e 1990 foi o crescimento da capacidade de geração foi menor que o crescimento do consumo de energia elétrica no país (BARDELIN, 2004). Isso pode ser visto na figura 1.

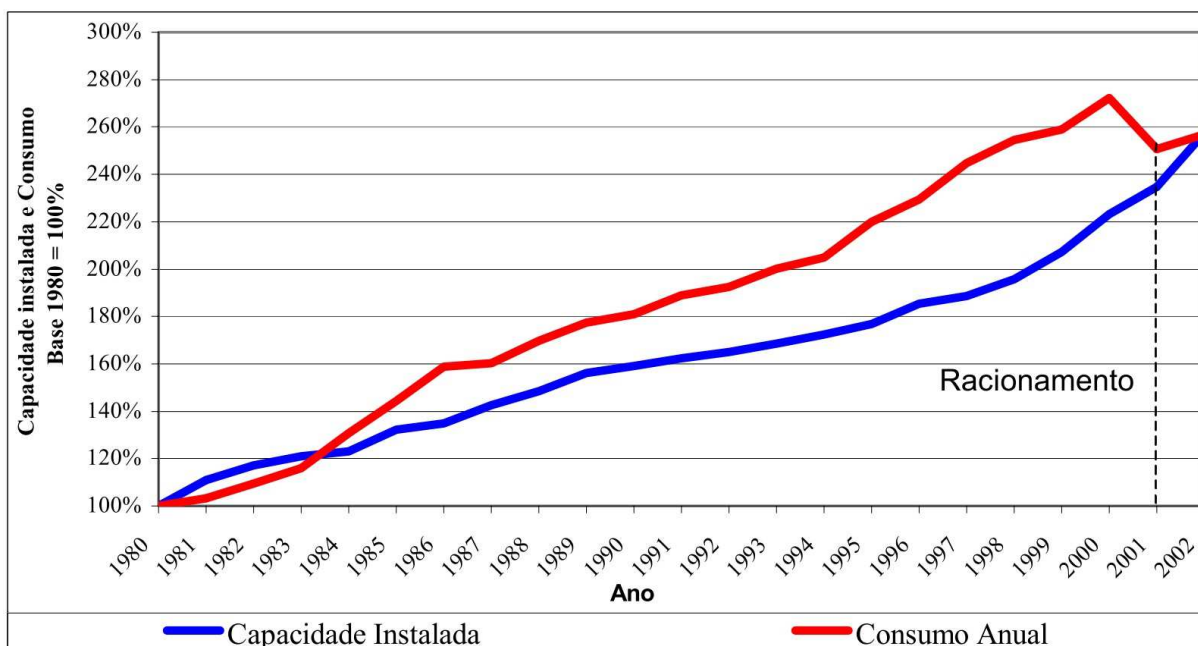


Figura 1 – Capacidade Instalada e Consumo. Fonte: (BARDELIN, 2004)

No ano de 2009 uma auditoria do Tribunal de Contas da União avaliou que os custos diretos da crise de 2001 chegaram a R\$ 45,2 bilhões, valores atualizados até o ano de 2009. Cerca de 60% destes custos foram pagos diretamente pelos consumidores, por meio de aumentos nas tarifas, os outros 40% foram pagos pelo Tesouro Nacional. Como os recursos do Tesouro Nacional vem principalmente de impostos, todos os custos diretos da crise de 2001 foram pagos pela população brasileira (TCU, 2009).

Considerando ainda os custos indiretos da crise de 2001, os prejuízos foram ainda maiores. Entre as consequências indiretas da crise pode-se destacar o aumento do desemprego, a perda de competitividade em razão do aumento dos custos da energia elétrica, a diminuição da arrecadação dos impostos, a diminuição dos investimentos por parte das empresas e, ainda, a retração da atividade econômica, verificada por uma redução no PIB brasileiro (TCU, 2009).

2.3 Eficiência Energética

O conceito de eficiência energética pode ser definido como a otimização da utilização de energia. Isso quer dizer que a eficiência energética visa a realização do trabalho consumindo a menor quantidade de energia possível.

Todos os equipamentos elétricos funcionam transformando a energia elétrica em outro tipo de energia. Por exemplo, uma lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa, um motor elétrico utiliza energia elétrica para produzir energia mecânica, entre outros. Nenhuma transformação de energia é perfeita, ou seja, sempre ocorrem perdas durante o processo. Um equipamento considerado eficiente energeticamente será capaz de transformar a maior parte da energia consumida em trabalho quando comparado com um equipamento que não é considerado eficiente.

2.4 Eficiência Energética no Brasil

2.4.1 Lei da Eficiência Energética

Uma consequência direta da crise energética de 2001 e 2002 foi a criação da Lei nº 10.295, que é mais conhecida como a Lei da Eficiência Energética. Ela dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2001).

A Lei da Eficiência Energética estabeleceu que todas as máquinas e equipamentos que consomem energia – seja ela elétrica, derivada do petróleo, ou de outros insumos energéticos – fabricados ou comercializados no Brasil, devem ter um nível mínimo de eficiência energética (PROCEL, 2014). Esses níveis de eficiência energética foram definidos arbitrariamente pelo governo com base em indicadores técnicos. A tabela 2 mostra o histórico de regulamentações e os programas de metas para alguns equipamentos.

Tabela 2 – Histórico de regulamentações específicas e programas de metas. Fonte: (PROCEL, 2014)

Equipamento	Regulamentação Específica		Programa de Metas	
	Documento	Data	Documento	Data
Motores Elétricos Trifásicos	Decreto n° 4.508	11 de dezembro de 2002	Portaria Interministerial n° 553	08 de dezembro de 2005
Lâmpadas Fluorescentes Compactas	Portaria Interministerial n° 132	12 de junho de 2006	Portaria Interministerial n° 1.008	31 de dezembro de 2010
Refrigeradores e freezers	Portaria Interministerial n° 362	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial n° 326	26 de maio de 2011
Fogões e Fornos a Gás	Portaria Interministerial n° 363	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial n° 325	26 de maio de 2011
Condicionadores de Ar	Portaria Interministerial n° 364	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial n° 323	26 de maio de 2011
Aquecedores de Água a Gás	Portaria Interministerial n° 298	10 de setembro de 2008	Portaria Interministerial n° 324	26 de maio de 2011
Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas a Vapor de Sódio e a Vapor Metálico	Portaria Interministerial n° 959	09 de dezembro de 2010	-	-
Lâmpadas Incandescentes	Portaria Interministerial n° 1.007	31 de dezembro de 2010	-	-
Transformadores de Distribuição em Líquido Isolante	Portaria Interministerial n° 104	22 de março de 2013	-	-

Os fabricantes e os importadores que não cumprissem as medidas estabelecidas pela lei e comercializassem aparelhos fora das especificações legais estavam sujeitos a punições. Todos os aparelhos que não estavam de acordo com as normas deveriam ser recolhidos num prazo de 30 dias. Após esse prazo os fabricantes e importadores estariam sujeitos a multa por unidade dos aparelhos, que poderia atingir 100% (cem por cento) do valor de venda praticado (BRASIL, 2001).

2.4.2 Plano Nacional de Energia

O Plano Nacional de Energia, PNE 2030, é um documento lançado em 2007 pelo Ministério de Minas e Energia. Ele aborda a situação do setor energético brasileiro e tem como principal objetivo proporcionar informações para que seja possível traçar estratégias e definir políticas de segurança e qualidade do suprimento energético para as próximas décadas (PORTAL, 2011).

Entre 2005 e 2007 foram realizados diversos estudos que deram origem ao PNE 2030. Esses estudos foram divididos em 12 volumes, que tratam sobre diversos assuntos relacionados ao setor energético. O volume 11 tem como tema a Eficiência Energética.

Nele, são apresentados os equipamentos que mais fazem uso de energia e também diversas estratégias para a disseminação da eficiência energética no Brasil.

2.4.3 PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica foi criado pelo governo federal em 1985 para combater o desperdício de energia elétrica incentivando que ela seja consumida de maneira mais eficiente. O PROCEL possui diversos subprogramas para incentivar a eficiência energética, com destaque para:

- Procel Educação – Informação e Cidadania – Disponibiliza para a população informações sobre eficiência energética;
- Procel Indústria – Eficiência Energética Industrial – Oferece ferramentas e treinamentos para incentivar as indústrias a utilizarem a energia elétrica de modo mais eficiente;
- Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações – Disponibiliza simuladores e informações para promover o uso eficiente de energia na construção civil;
- Procel EPP – Eficiência Energética nos Prédios Públicos – Auxilia no planejamento e na execução de projetos que visam a diminuição do consumo de energia no setor público;
- Procel Reluz – Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica – Auxilia as prefeituras na substituição de equipamentos de iluminação pública por outros mais eficientes;
- Selo Procel – Eficiência Energética em Equipamentos – Identifica os equipamentos mais eficientes da categoria;
- Procel Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – Produz material informativo sobre eficiência energética e promove ações educacionais para a população.

O subprograma mais conhecido pela população é o Selo Procel de Economia de Energia. Ele foi criado em 1993 para promover a eficiência energética em equipamentos e incentivar o desenvolvimento tecnológico dos produtos disponíveis. Através do selo o consumidor pode identificar facilmente quais os equipamentos que apresentam os maiores níveis de eficiência energética em sua categoria. A figura 2 mostra o Selo Procel.



Figura 2 – Selo PROCEL. Fonte: (PROCEL, 2017)

Todas as ações da PROCEL proporcionaram uma economia de mais de 92 bilhões de kWh entre 1986 e 2015. Apenas no ano de 2015 a economia gerada por suas ações gerou uma economia de 11,68 bilhões de kWh, energia suficiente para abastecer mais de 6 milhões de residências durante 1 ano. Essas ações evitaram que, em 2015, 1,453 milhão de toneladas de CO_2 fossem lançadas na atmosfera (PROCEL, 2016).

2.4.4 CONPET

O Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET – é um programa criado pelo Governo Federal em 1991 para estimular o uso mais eficiente dos recursos naturais não renováveis, como o petróleo e o gás natural. Ele é vinculado ao Ministério de Minas e Energia e conta com o apoio da Petrobras (CONPET, 2017).

Os principais objetivos do CONPET são promover o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, fornecer suporte técnico para o desenvolvimento da eficiência energética no país, reduzir a emissão de poluentes, conscientizar os consumidores sobre o uso racional dos derivados de petróleo e gás natural. Ele é o responsável pela regulamentação da Lei 10.295/2001 para os aparelhos que são energizados por derivados dos combustíveis fósseis

(CONPET, 2017).

Entre suas ações, é possível destacar a parceria com o INMETRO no PBE e o Selo CONPET que é fruto da parceria com a Petrobras. O Selo CONPET é concedido anualmente aos equipamentos mais eficientes movidos por derivados de petróleo e gás natural, como fogões e fornos a gás, veículos leves e aquecedores de água a gás. A figura 3 mostra o selo CONPET.



Figura 3 – Selo CONPET. Fonte: (CONPET, 2017)

2.4.5 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é um programa de conservação de energia elétrica que tem como objetivo informar o nível de eficiência energética dos equipamentos comercializados no Brasil. Com as informações do PBE os consumidores podem optar por produtos mais econômicos e, conseqüentemente, incentivar a fabricação de produtos mais eficientes. O programa é gerenciado pelo INMETRO e funciona de forma integrada com o selo CONPET e com o selo PROCEL (INMETRO, 2017).

O PBE funciona fornecendo etiquetas com faixas coloridas que variam de acordo com o desempenho dos produtos em diversos quesitos, como o ruído e a eficiência energética. Os níveis de classificação para a eficiência energética vão de A na cor verde, o mais eficiente,

até G na cor vermelha, o menos eficiente como pode ser visto na figura 4. Os níveis intermediários são indicados por tonalidades de verde e por outras cores como o amarelo e o laranja. Dependendo do tipo de produto o número de faixas de classificação pode variar.

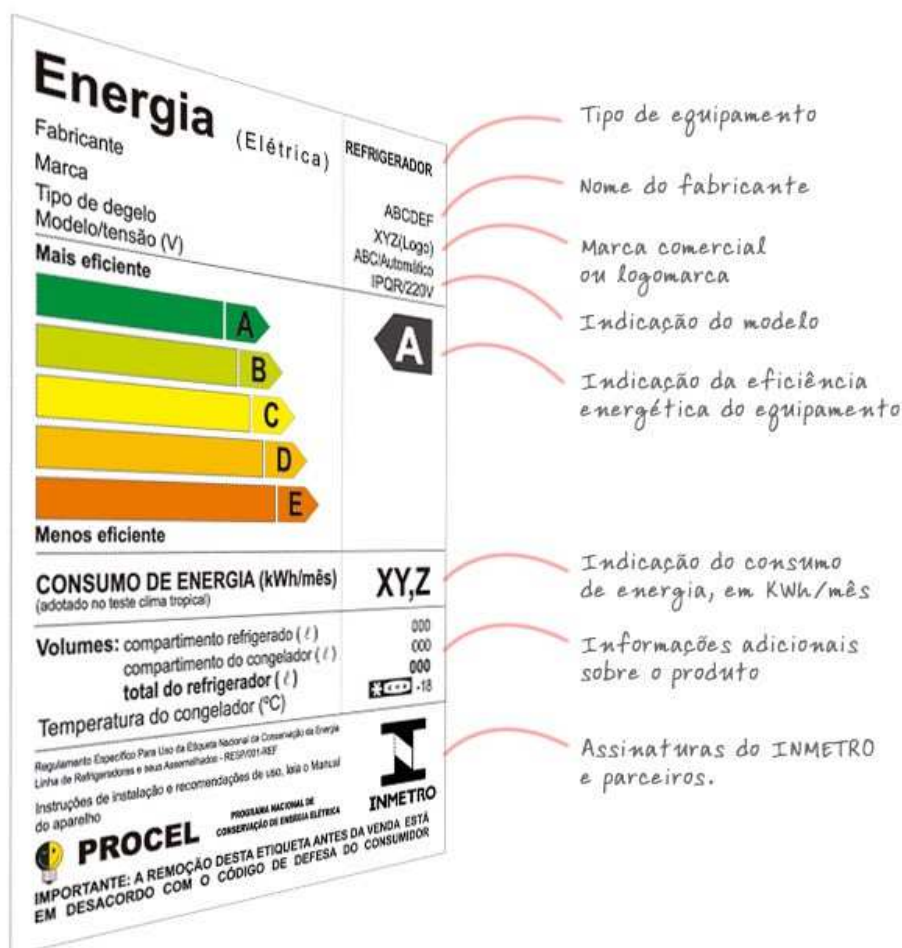


Figura 4 – Etiqueta de Eficiência Energética. Fonte: (INMETRO, 2017)

Para a obtenção das etiquetas, todos os produtos passam por ensaios e testes em laboratório para que os níveis de eficiência energética sejam medidos. Em seguida, os resultados são comparados com níveis estabelecidos pelo Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) definindo o nível de eficiência de cada aparelho.

Atualmente o PBE conta com 38 programas, os quais se encontram em diferentes estágios de implementação. Existem categorias que começaram a ser avaliadas recentemente como coletores solares, televisores, chuveiros elétricos, etc. Outras já são avaliadas há mais de 20 anos, como os refrigeradores.

2.5 Iluminação

No ano de 2004, a iluminação artificial foi responsável por quase 17% de todo o consumo final de energia elétrica no Brasil (EPE, 2007). A tabela 3 mostra o consumo de energia elétrica por iluminação em diversos setores da economia brasileira.

Tabela 3 – Uso de Energia Elétrica pela Iluminação no Brasil. Fonte: (EPE, 2007)

Setores	En. total GWh/a	Destinação [1]	En. final GWh/a	Coef. EE [1]	Coef. Ref. [1]	En. Útil GWh/a	Potencial GWh/a
Setor Energético	12.818,00	0,068	871,6	0,245	0,29	213,5	135,3
Setor Residencial	78.577,00	0,24	18.858,50	0,09	0,172	1.697,30	8.990,70
Setor Comercial	50.082,00	0,418	20.949,80	0,24	0,28	5.028,00	2.992,80
Setor Público	30.092,00	0,497	14.961,70	0,25	0,3	3.740,40	2.493,60
Setor Agropecuário	14.895,00	0,037	551,1	0,09	0,172	49,6	262,7
Setor de Transportes	1.039,00	0	0	-	-	0	0
Setor Industrial	172.061,00	0,021	3.594,40	0,243	0,286	873,6	540,6
Total	359.564,00	0,166	59.787,20	0,194	0,261	11.602,40	15.415,70

O objetivo de todo sistema de iluminação em ambientes profissionais é proporcionar um ambiente visual adequado que forneça a intensidade luminosa necessária à realização de tarefas visuais executadas por ocupantes de postos de trabalho, ou seja, a luz deve ser fornecida e direcionada à superfície de trabalho para que os ocupantes do posto consigam desenvolver suas atividades. Esta iluminação deve atender às exigências do usuário apenas nos momentos em que se realiza a tarefa visual, normalmente determinado pelo período de ocupação do ambiente construído.

A norma NBR 5413 define os níveis de iluminância mínimos para a iluminação artificial para os locais onde se realizam as atividades de comércio, ensino, esporte, indústria, etc. 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 $1 m^2$, que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lm, uniformemente distribuído (VIANA, 2012). A tabela 4 mostra os níveis definidos para algumas atividades.

Tabela 4 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais. Fonte: (ABNT, 1992)

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Em 2013 foi publicada uma nova norma, a NBR ISO/CIE 8995-1, que substituiu a NBR 5413. A norma contém os requisitos para os sistemas de iluminação artificiais para os ambientes de realização de trabalhos internos. Esses requisitos visam proporcionar a iluminação adequada para que as pessoas possam desempenhar as tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança (ABNT, 2013). Os níveis de iluminância mantida para as áreas de varejo definidos pela NBR ISO/CIE 8995-1 podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Requisitos de iluminação recomendados para o varejo. Fonte: (ABNT, 2013)

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m (lux)
23. Varejo	
Área de vendas pequena	300
Área de vendas grande	500
Área da caixa registradora	500
Mesa do empacotador	500

2.5.1 Lâmpadas Elétricas

As lâmpadas elétricas utilizam energia elétrica para gerar energia luminosa tornando possível a realização de trabalhos em ambientes com pouca iluminação natural ou no período noturno. No ambiente industrial diversos tipos de lâmpadas são utilizados, dentre os quais podemos destacar as lâmpadas incandescentes, as fluorescentes, as de vapor de sódio, as de vapor metálico e as de LED.

2.5.1.1 Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes são formadas por um filamento de tungstênio que emite luz visível ao ser aquecido pela passagem de uma corrente elétrica. O filamento fica envolto por um bulbo de vidro transparente que previne a oxidação do mesmo (MAMEDE FILHO, 2010). Como a emissão de luz depende diretamente da corrente que passa pelo filamento, as lâmpadas com potências maiores emitem mais luz. Nos ambientes industriais seu uso fica restrito em dependências administrativas e em banheiros sociais.

Suas principais características são:

- Vida útil: aproximadamente 1000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 15 lm/W;
- Geração de calor: alta;

A figura 5 mostra uma lâmpada incandescente.



Figura 5 – Lâmpada Incandescente. Fonte: (VIANA, 2012)

Desde o ano de 2012 as lâmpadas incandescentes foram gradativamente retiradas do mercado, já que não era viável a fabricação de lâmpadas com os níveis mínimos de eficiência estabelecidos. Em 30/06/2012 as lâmpadas incandescentes com potência maior que 150 W foram as primeiras a serem descontinuadas. As últimas foram as com potência menor que 40 W, que não são mais comercializadas desde 30/06/2016 (MME, 2010).

2.5.1.2 Lâmpadas Halógenas de Tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio é um tipo especial de lâmpada incandescente. No interior do bulbo de quartzo estão um filamento de tungstênio, iodo e um gás inerte. Durante seu funcionamento parte do tungstênio evapora e é combinado com o gás inerte, formando o iodeto de tungstênio. Devido às altas temperaturas, parte do tungstênio se deposita novamente no filamento regenerando-o num processo cíclico (MAMEDE FILHO, 2010).

Suas principais características são:

- Vida útil: aproximadamente 2000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 20 lm/W;
- Geração de calor: alta;

A figura 6 mostra uma lâmpada halógena de tungstênio.

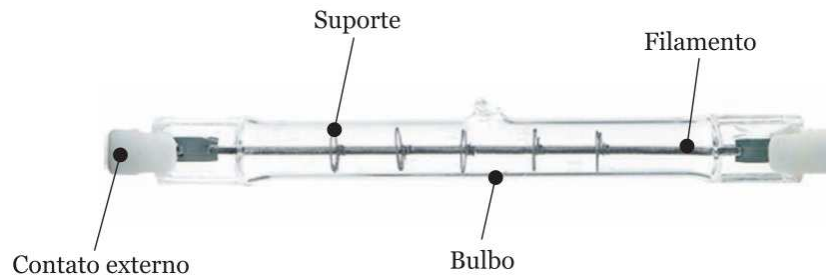


Figura 6 – Lâmpada Halógena de Tungstênio. Fonte: (VIANA, 2012)

2.5.1.3 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são formadas por um cilindro de vidro o qual o interior é revestido por uma camada de fósforo que emite luz quando atingido por radiação ultravioleta. Para seu funcionamento, elas necessitam de um reator que pode ser externo ou integrado à lâmpada. Na maioria dos casos o reator é utilizado apenas para limitar a corrente que passa pela lâmpada, mas em alguns modelos ele faz uso de um transformador para elevar a tensão (MAMEDE FILHO, 2010). Seu custo de implementação é elevado quando comparado à uma lâmpada incandescente.

Suas principais características são:

- Vida útil: aproximadamente 7500 horas;
- Eficiência luminosa: em média 70 lm/W;
- Geração de calor: baixa;
- Principais aplicações: escritórios, indústrias, lojas, etc.

A figura 7 mostra uma lâmpada fluorescente tubular.



Figura 7 – Lâmpada Fluorescente Tubular. Fonte: (VIANA, 2012)

2.5.1.4 Lâmpadas a Vapor de Sódio de Alta Pressão

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão são formadas por um tubo estreito contendo sódio que se transforma em vapor quando aquecido. Para resistir às altas temperaturas o tubo geralmente é feito de óxido de alumínio sinterizado translúcido. Para a partida é necessária uma tensão alta e por conta disso é utilizado um ignitor, elas demoram cerca de 3 minutos para atingir o brilho máximo. Para a redução da tensão de ignição, um gás inerte de alta pressão, geralmente o xenônio, é colocado dentro do tubo. Por sua vez, o tubo interno é colocado dentro de um bulbo onde é produzido o vácuo, aumentando a pressão interna e reduzindo as perdas de calor externo (VIANA, 2012).

Suas principais características são:

- Vida útil: aproximadamente 18000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 130 lm/W;
- Geração de calor: alta;
- Principais aplicações: vias públicas, ferrovias, áreas de estacionamento, etc.

A figura 8 mostra uma lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.



Figura 8 – Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão. Fonte: (VIANA, 2012)

2.5.1.5 Lâmpadas a Vapor Metálico

As lâmpadas a vapor metálico são formadas por um pequeno tubo de quartzo que contém em suas extremidades dois eletrodos principais e um eletrodo auxiliar ligado

em série com o resistor de partida. No interior do tubo estão presentes argônio, iodetos metálicos (de índio, tálio e sódio) e mercúrio. Todos estes componentes são protegidos por uma ampola feita de quartzo para resistir às altas temperaturas. As lâmpadas de vapor metálica necessitam de um reator para seu funcionamento (MAMEDE FILHO, 2010).

Suas principais características são:

- Vida útil: aproximadamente 15000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 90 lm/W;
- Geração de calor: alta;
- Principais aplicações: estádios de futebol, monumentos, indústrias, etc.

A figura 9 mostra lâmpadas a vapor metálico.

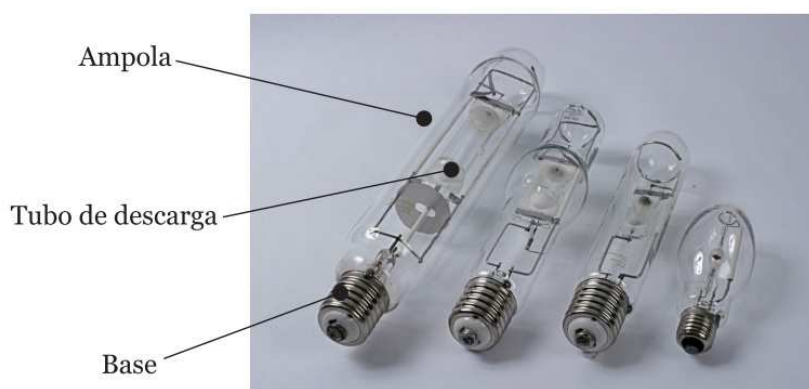


Figura 9 – Lâmpadas a vapor metálico. Fonte: (VIANA, 2012)

2.5.1.6 Lâmpadas LED

Os diodos emissores de luz (LED) são componentes eletrônicos que emitem luz com um baixo consumo de energia elétrica. Nos últimos anos a eficiência e a durabilidade dos LEDs tiveram um aumento significativo o que permitiu que as lâmpadas LED se tornassem uma alternativa às lâmpadas convencionais. Por outro lado, os custos desta tecnologia vem caindo graças às melhorias no processo produtivo e à popularização deste tipo de lâmpada.

As lâmpadas LED são produzidas em diversos modelos, sendo os principais os de bulbo e os tubulares. As principais vantagens dos LEDs são: longa duração, alta eficiência luminosa, variedade de cores, dimensões reduzidas, ausência de radiação ultravioleta, baixa geração de calor e baixo consumo de energia.

Suas principais características são:

- Vida útil: de 25000 horas a 60000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 100 lm/W;
- Geração de calor: baixa;
- Principais aplicações: comércio, indústrias, residências, etc.

As figuras 10 e 11 mostram respectivamente uma lâmpada LED de bulbo e uma tubular.

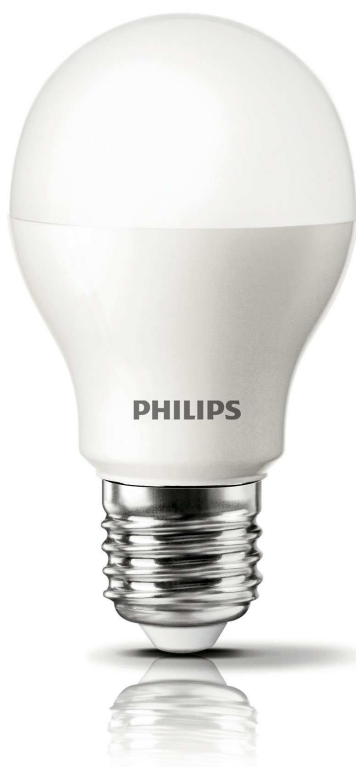


Figura 10 – Lâmpada LED de bulbo. Fonte: (PHILIPS, 2017)



Figura 11 – Lâmpada LED tubular. Fonte: (PHILIPS, 2017)

2.5.1.7 Resumo

A tabela 6 apresenta um resumo com as principais características das lâmpadas elétricas apresentadas neste trabalho.

Tabela 6 – Principais características das lâmpadas elétricas. Fonte: (VIANA, 2012)

Tipo	Características Gerais
Incandescente Comum	Excelente reprodução de cores, baixa eficiência luminosa, vida mediana de 1.000 horas, não exige equipamentos auxiliares.
Halógena de Tungstênio	Excelente reprodução de cores, baixa eficiência luminosa, vida mediana de 2.000 horas.
Fluorescente	Excelente a moderada reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 7.500 a 20.000 horas, exige equipamento auxiliar (reator).
Vapor metálico	Boa reprodução de cores, vida mediana de 3.000 a 20.000 horas, boa eficiência luminosa, exige o uso de equipamento auxiliar (reator).
Vapor de sódio alta pressão	Baixa reprodução de cores, alta eficiência luminosa, vida mediana de 12.000 a 55.000 horas, exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor).
LED	Boa reprodução de cores, vida mediana de 25.000 a 60.000 horas, boa eficiência luminosa, alto custo de investimento. Não exige equipamentos auxiliares.

2.5.2 Eficiência Energética Aplicada a Iluminação

Quando se fala em eficiência energética aplicada a iluminação a primeira coisa que pensamos é na substituição de lâmpadas por outras lâmpadas mais eficientes. Esta substituição é muito importante para a eficiência, mas existem outros fatores que contribuem negativamente para os gastos com iluminação em empresas. Entre esses fatores podemos destacar:

- Iluminação em excesso;
- Falta de aproveitamento da iluminação natural;
- Falta de comandos (interruptores) das luminárias;
- Ausência de manutenção, depreciando o sistema;
- Hábitos de uso inadequados.

Neste trabalho, além a substituição das luminárias, apenas o dimensionamento correto do nível de iluminância será considerado.

3 Desenvolvimento

3.1 Estudo de Caso

Para mostrar o potencial de economia de energia elétrica que pode ser proporcionado ao se utilizar fontes mais eficientes de iluminação, foi realizado um estudo de viabilidade para a substituição do sistema de iluminação de um supermercado localizado na cidade de Belo Horizonte - MG. Este estudo irá abranger apenas a área da loja, ou seja, a área dos corredores onde ficam expostos os produtos.

3.2 Situação Atual

A situação do sistema de iluminação do supermercado foi levantada em uma visita durante a qual foram levantados os modelos das lâmpadas existentes e a altura de instalação das mesmas. Atualmente o sistema da área estudada é baseado em lâmpadas fluorescentes tubulares como pode ser visto na figura 12.



Figura 12 – Foto do Supermercado. Fonte: Autor

Na área estudada existem 16 colunas com 10 luminárias e 1 coluna com 8, totalizando 168 luminárias. A distribuição pode ser vista na figura 13.

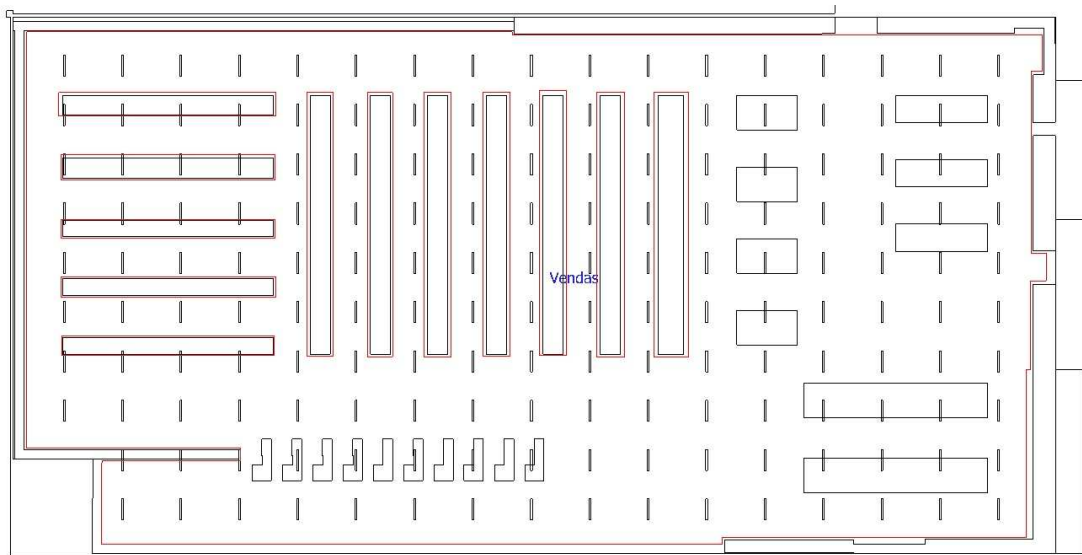


Figura 13 – Distribuição das Luminárias no Supermercado. Fonte: Autor

O ambiente onde as luminárias estão instaladas tem um pé direito de 7,65m e elas estão instaladas a uma altura de 5,45m. Cada uma das luminárias possui duas lâmpadas fluorescentes modelo TLTRS110W-ELD-NG fabricadas pela Philips. A tabela 7 apresenta as especificações técnicas das lâmpadas.

Tabela 7 – Especificações Lâmpada TLTRS110W-ELD-NG. Fonte: (PHILIPS, 2009)

Características	TLTRS110W-ELD-NG
Potência (W)	110
Base	R17D
Temperatura de cor (K)	5000
IRC	72
Vida Média (horas)	7500
Fluxo Luminoso (lm)	7600
Eficiência (lm/W)	69,1
Diâmetro (mm)	33,5
Comprimento (mm)	2385,2

Como cada uma das 168 luminárias possui 2 lâmpadas, o total de lâmpadas é de 336 unidades. Não foi possível verificar o modelo dos reatores que estão instalados, portanto as perdas nos reatores foram estimadas em 10% do consumo total do sistema. Para estimar o consumo do sistema atual basta multiplicar a quantidade de lâmpadas pelo consumo de cada uma e somar com as perdas nos reatores. Desta maneira, é possível estimar o consumo do sistema de iluminação atual em 40,17 kWh como pode ser visto na tabela 8.

Tabela 8 – Consumo Estimado do Sistema Atual. Fonte: Autor

Consumo do Sistema Atual	
Luminárias (pç)	168
Lâmpadas (pç)	336
Consumo por Lâmpada (kWh)	0,11
Consumo Total das Lâmpadas (kWh)	36,96
Perdas nos Reatores (kWh)	3,70
Consumo Total do Sistema (kWh)	40,66

3.3 Solução Proposta

Para a elaboração de uma solução foi utilizado o software Dialux. Ele é um software gratuito que permite a simulação e o cálculo da iluminação para esses ambientes. Para utilizá-lo é possível importar a planta da área a ser simulada e, a partir dela, criar um modelo 3D do ambiente. O modelo 3D da área de vendas do supermercado pode ser visto na figura 14.

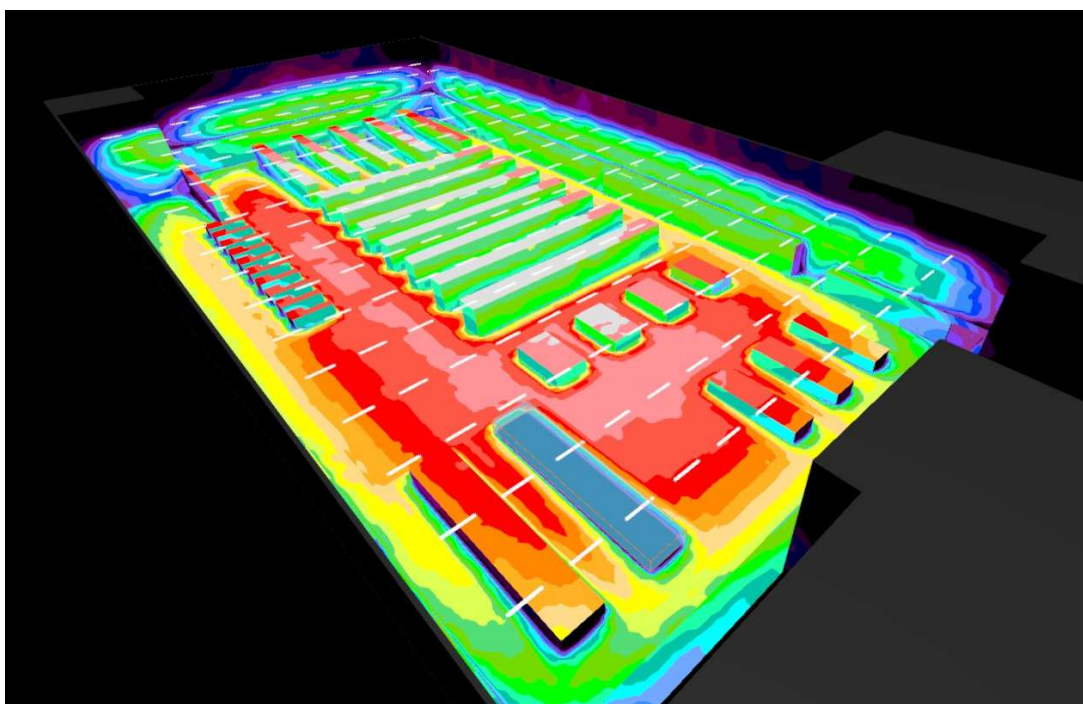


Figura 14 – Vista 3D da Área de Vendas. Fonte: Autor

O nível de iluminância mantida para grandes áreas de varejo e para áreas de caixa deve ser de 500 lux (ABNT, 2013). A vida útil das luminárias LED é definida como o período de tempo durante o qual a luminária fornece 70% ou mais do fluxo luminoso inicial (INMETRO, 2014). O novo sistema de iluminação foi projetado para que a iluminância mantida na área de vendas seja de 700 lux. Desta maneira, no final da sua vida útil, quando

o fluxo luminoso for 70% do inicial, a iluminância mantida será de aproximadamente 490 lux.

No sistema de iluminação proposto serão utilizadas 16 colunas com 13 luminárias e 1 coluna com 10, totalizando 218 luminárias LED modelo Low Bay Sobrepor de 40W fabricado pela LDX. A tabela 9 mostra as características da luminária.

Tabela 9 – Especificações Técnicas Luminária Low Bay Sobrepor 40W. Fonte (LDX, 2017)

Características Low Bay Sobrepor 40W	
Potência (W)	40
Temperatura de cor (K)	5000
IRC	>80
Vida Média (horas)	60000
Fluxo Luminoso (lm)	4987
Eficiência (lm/W)	124,68
Comprimento (mm)	1160
Largura (mm)	95
Altura (mm)	50

Para a redução dos custos de implantação da solução proposta, optou-se por reaproveitar todo o cabeamento e a infraestrutura existente. Desta maneira, o layout do sistema de iluminação ficará bastante parecido com o existente, mudando apenas o número de luminárias. O novo layout pode ser visto na figura 15.

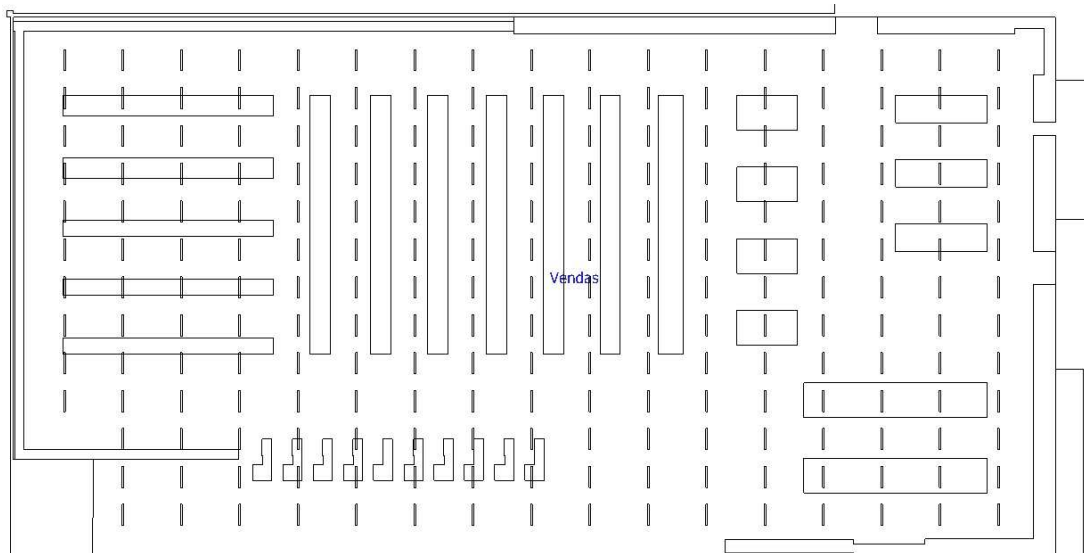


Figura 15 – Layout da Solução Proposta. Fonte: Autor

O consumo do novo sistema de iluminação pode ser calculado multiplicando o número de luminárias pelo seu consumo nominal. Também foi incluído 10% para representar as perdas que ocorrem no driver. O consumo do novo sistema pode ser visto na tabela 10.

Tabela 10 – Consumo do Sistema Proposto. Fonte: Autor

Consumo do Sistema Proposto	
Luminárias (pç)	218
Consumo por Luminária (kWh)	0,04
Consumo total das Luminárias (kWh)	8,72
Perdas nos drivers (kWh)	0,87
Consumo Total do Sistema Proposto (kWh)	9,59

4 Análise da Solução Proposta

Com as simulações realizadas no Dialux é possível estimar a iluminância média em cada parte da área de vendas. Esses dados podem ser vistos na figura 16. Em grande parte da área de vendas, os níveis de iluminância são maiores do que os 700 lux pretendidos. Nos cantos os níveis de iluminância foram um pouco menores devido à menor quantidade de luminárias nesses pontos.

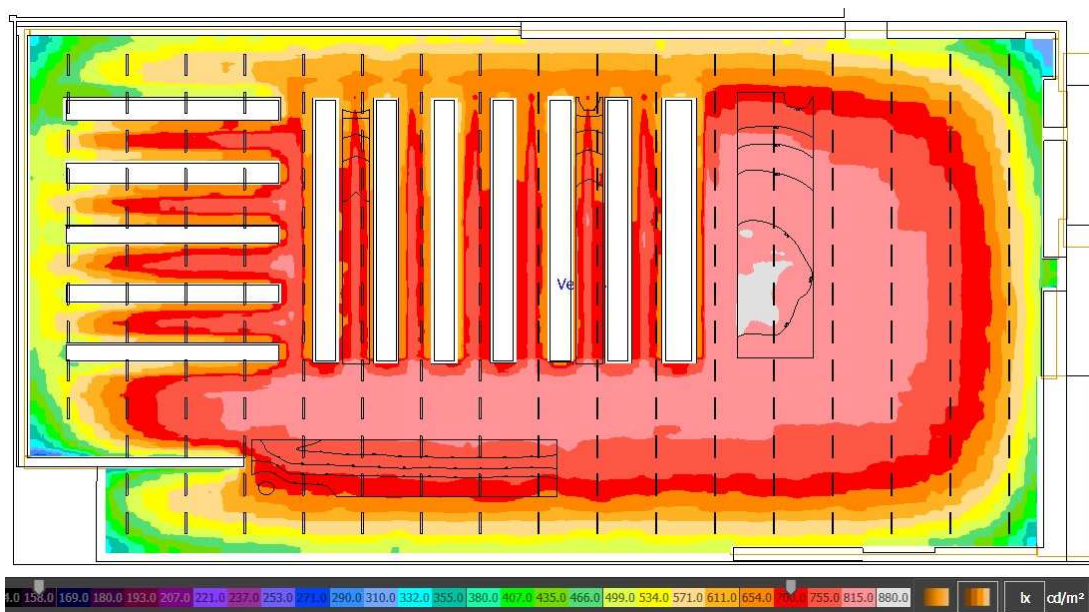


Figura 16 – Resultados da Simulação. Fonte: Autor

Na tabela 11 estão os níveis de iluminância mantida (\bar{E}_m), além dos níveis mínimo (\bar{E}_{min}) e máximo (\bar{E}_{max}). Com base nesses dados é possível afirmar que a solução proposta atende aos requisitos da NBR ISO/CIE 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior.

Tabela 11 – Níveis de Iluminância da Solução Proposta. Fonte: Autor

Local	\bar{E}_m (lux)	\bar{E}_{min} (lux)	\bar{E}_{max} (lux)
Corredor 1	772	688	795
Corredor 2	767	685	796
Caixa	766	695	810
Área de Vendas	701	264	894

Como a solução proposta atende aos requisitos técnicos deve-se verificar se ela

é viável financeiramente. Inicialmente serão levantados os valores de compra das novas luminárias e o valor da mão de obra para a instalação das mesmas.

O valor unitário das luminárias é de R\$ 245,08. O valor da mão de obra para a instalação das luminárias é de R\$ 11.990,00, o que representa, em média, R\$ 55,00 por luminária. No valor da mão de obra já estão inclusos os custos da adequação do circuito de iluminação, já que a quantidade de luminárias vai aumentar. O investimento total para implantação do novo projeto será de R\$ 65.417,44 como pode ser visto na tabela 12.

Tabela 12 – Custo de Implantação da Solução Proposta. Fonte: Autor

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Luminária Low Bay Sobrepor de 40W	218	245,08	53.427,44
Mão de Obra	218	55,00	11.990,00
Total	218	300,08	65.417,44

Para uma análise financeira mais precisa é preciso entender os horários de funcionamento do supermercado. Ele funciona todos os dias da semana, de segunda a sábado de 08:00 às 22:00 (14 horas por dia), e aos domingos de 08:00 às 15:00 (7 horas). Então, em uma semana ele funciona durante 91 horas, o que dá em média 13 horas por dia de funcionamento. As luzes da área de vendas permanecem ligadas durante todo este tempo. Como o consumo do sistema de iluminação antigo e do proposto são conhecidos, é possível estimar o gasto com cada sistema. Para esses cálculos o custo por kWh considerado foi de R\$ 0,53528 (FIRJAN, 2016). Na tabela 13 é possível ver uma comparação entre os custos anuais com energia elétrica dos dois sistemas de iluminação.

Tabela 13 – Comparativo entre o Sistema Atual e o Proposto. Fonte: Autor

	Consumo diário (13 horas) (kWh)	Consumo mensal (30 dias) (kWh)	Consumo anual (360 dias) (kWh)	Custo Anual (R\$)
Sistema Atual	528,58	15.857,4	190.288,80	101.857,79
Sistema Proposto	124,67	3.740,1	44.881,20	24.024,01

Os custos com energia elétrica podem ser reduzidos em aproximadamente 76,41% ao se substituir o sistema de iluminação antigo por luminárias LED. Os gastos anuais cairiam de R\$ 101.857,79 para R\$ 24.024,01, uma economia de R\$77.833,78 anuais. O consumo de energia anual do sistema de iluminação será reduzido de 190.288,80 kWh (198,29 MWh) para 44.881,20 kWh (44,88 MWh) anuais.

Como já são conhecidos o investimento para a implantação do novo sistema e a economia que ele proporcionará, deve-se calcular se o investimento é viável financeiramente. Essa viabilidade será verificada através do Valor Presente Líquido (VPL). O VPL é um método que consiste em calcular o valor dos fluxos de caixa futuros representam no tempo atual utilizando uma taxa de desconto chamada de taxa mínima de atratividade. Ele pode

ser interpretado como uma medida do valor presente da riqueza futura gerada pelo projeto (PUCCINI, 2011). O valor presente líquido pode ser calculado por:

$$VPL = \left[\frac{PMT_1}{(1+i)} + \frac{PMT_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{PMT_n}{(1+i)^n} \right] - PV \quad (4.1)$$

Onde:

$PMT_{1...n}$ são os fluxos de líquidos de caixa gerados pelo investimento;

PV é a saída de caixa necessária para a viabilização do projeto;

i é a taxa de atratividade utilizada para atualizar o fluxo de caixa (PUCCINI, 2011).

A análise financeira utilizando o VPL é muito simples. Após a realização dos cálculos, se o VPL for negativo o investimento não é viável, se o VPL for maior ou igual a zero o investimento é viável (PUCCINI, 2011). Para o cálculo do VPL do projeto devemos considerar o investimento inicial, R\$ 65.417,44, no ano 0. Os valores dos fluxos de caixa dos anos seguintes são iguais aos valores da economia de energia elétrica que serão obtidos ao se implementar o novo sistema, R\$ 77.833,78 por ano. A taxa de atratividade será estimada em 15% ao ano. O VPL será calculado para 5 anos que é o tempo de garantia das luminárias. Com esses dados é possível calcular o valor presente líquido do projeto com base na equação 4.1.

$$VPL = \left[\frac{77.833,78}{(1+0,15)} + \frac{77.833,78}{(1+0,15)^2} + \frac{77.833,78}{(1+0,15)^3} + \frac{77.833,78}{(1+0,15)^4} + \frac{77.833,78}{(1+0,15)^5} \right] - 65.417,44 \quad (4.2)$$

$$VPL = [67.681,55 + 58.853,52 + 51.176,97 + 44.501,72 + 38.697,14] - 65.417,44 \quad (4.3)$$

$$VPL = 260.910,90 - 65.417,44 \quad (4.4)$$

$$VPL = R\$ 195.493,46 \quad (4.5)$$

Como o VPL do projeto é igual a R\$ 195.493,46 o projeto é viável financeiramente. Comparando o primeiro termo da equação 4.3, R\$ 67.681,55, com o investimento inicial, R\$ 65.417,44, é possível afirmar que o investimento se torna rentável antes do final do primeiro ano.

5 Conclusões

Com este trabalho foi possível quantificar a energia que pode ser economizada através da utilização de sistemas de iluminação mais eficientes. No estudo de caso realizado foi possível a redução de 76,41% no consumo anual de energia do sistema de iluminação do supermercado analisado. Se aplicado em larga escala, esta redução no consumo de energia pode ajudar a aumentar a disponibilidade de energia no país reduzindo a necessidade da utilização das usinas termelétricas.

A adoção de sistemas de iluminação mais eficientes é fundamental para o meio ambiente já que todas as formas de geração de energia elétrica agredem a natureza de alguma forma. Um outro fator que merece destaque é o econômico já que é possível obter uma grande redução dos gastos com energia elétrica.

Para os trabalhos futuros sugere-se que o estudo de eficiência seja expandido para um melhor aproveitamento da iluminação natural e para outras áreas, como motores elétricos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5413: iluminância de interiores*. Rio de Janeiro, 1992. Citado na página 23.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior*. Rio de Janeiro, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 33.

BARDELIN, C. E. A. *Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2004. Citado na página 16.

BRASIL. *Lei nº 10295, de 17 de outubro de 2001: Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências*. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 12 abr. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

CONPET. *Eficiência energética de equipamentos - CONPET*. 2017. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/eficiencia-energetica-de-equipamentos.shtml>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência energética*. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11-.pdf>. Acesso em: 06 maio 2017. Citado na página 23.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Quanto custa a energia elétrica para a pequena e média indústria no Brasil?* Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A559C8BA001563303D3744A1B>>. Acesso em: 11 jun. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 37.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Portaria 389, de 25 de agosto de 2014*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002154.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2017. Citado na página 33.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *O Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em: 23 abr. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

LDX PROFESSIONAL LIGHTING. *Linha Comercial - Low Bay*. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://ledax.com.br/media/uploads/produtos/arquivos/LDX_-_Low_Bay_-_Comercial_Maio-17.pdf>. Acesso em: 03 set. 2017. Citado na página 34.

MAMEDE FILHO, J. *Instalações Elétricas Industriais*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 26 e 28.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Portaria Interministerial N° 1.007*. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396-Portaria_interminestral+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011-/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1>. Acesso em: 23 out. 2017. Citado na página 25.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2015*. Brasília, 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498-02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498-02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0)>. Acesso em: 23 mar. 2017. Citado na página 15.

PHILIPS LIGHTING HOLDING. *Guia Prático Philips Iluminação*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT25102012201415.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017. Citado na página 32.

PHILIPS LIGHTING HOLDING. *Lâmpadas e tubos LED*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-tubos-led>>. Acesso em: 27 ago. 2017. Citado na página 29.

PORTAL BRASIL. *PNE 2030 é considerado marco na história do setor energético*. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/pne-2030-e-considerado-marco-na-historia-do-setor-energetico>>. Acesso em: 23 mar. 2017. Citado na página 18.

PROCEL. *Lei de Eficiência Energética*. 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

PROCEL. *Resultados PROCEL 2016: ano base 2015*. 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/>>. Acesso em: 14 abr. 2017. Citado na página 20.

PROCEL. *Selo PROCEL*. 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632>>. Acesso em: 04 mar. 2017. Citado na página 20.

PUCCINI, E. C. *Matemática Financeira e Análise de Investimentos*. Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://200.129.241.123-/arquivos/Matematica_Financeira_-_Miolo_online_03_10_11.pdf>. Acesso em: 03 out. 2017. Citado na página 38.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. *VERIFICAÇÃO DO CUSTO DO APAGÃO ENERGÉTICO 2001*: Relatório de auditoria processo n° tc 006.734/2003-9. Brasília, 2009. Citado na página 16.

VIANA, A. N. C. et al. *Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações*. Campinas - SP: Elektro, 2012. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientização_Energética/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017. Citado 6 vezes nas páginas 23, 25, 26, 27, 28 e 30.