

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Estudo do impacto do desempenho de relés
fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública**

Márcio Vargas Lomelino

Itajubá
Fevereiro 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

Márcio Vargas Lomelino

**Estudo do impacto do desempenho de relés
fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública**

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

Área de Concentração: Exploração do Uso Racional de Recursos Naturais e Energia

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita

Itajubá
Fevereiro de 2016



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
 Criada pela Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002

ANEXO I

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Título da Dissertação: "Estudo do Impacto do Desempenho de Relés Fotocontroladores sobre o Consumo da Iluminação Pública".

Autor: Márcio Vargas Lomelino

JULGAMENTO

Examinadores	Nota Individual (0 a 10)	Rubrica
1º	9,0	
2º	9,0	
3º	9,0	
4º	9,0	
Nota Final da Banca**:	9,0	

Observações:

- (1) O Trabalho será considerado **Aprovado** se a média das notas atribuídas pela Banca for maior ou igual a 7 (sete).
 - (2) O Trabalho será considerado **Reprovado** se a média das notas atribuídas pela Banca for menor que 6 (seis), neste caso o aluno será desligado do programa.
 - (3) O Trabalho será considerado **Insuficiente** se a média das notas atribuídas pela Banca for igual ou superior a 6 (seis) e abaixo de 7 (sete). Neste caso consultar o artigo 27º de Norma dos Cursos de Mestrado Acadêmico da UNIFEI.
 - (4)** Quando a banca ocorrer por vídeo ou web conferência, a Nota Final deve ser a média simples das notas atribuídas por todos os examinadores, inclusive do examinador que participa de forma remota.
- Este documento terá a validade de 60 (sessenta) dias a contar da data da defesa de Dissertação.

Observações: _____

Itajubá, 04 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Roberto de Mattos
 1º Examinador - Fundação ROGE

Prof. Dr. Eduardo Crestana Guardia
 2º Examinador - UNIFEI

Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita
 3º Examinador (Co-Orientador) - UNIFEI

Prof. Dr. Jamil Haddad
 3º Examinador (Orientador) - UNIFEI

Dedicatória

Aos meus pais, esposa, familiares e colegas.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus que tem estado comigo durante toda a minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Jamil Haddad, meu coorientador, Professor Dr. Roberto Akira Yamachita, e ao Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira, pelo apoio dado na preparação deste trabalho.

Aos gerentes da Eletrobras Procel, Luiz Eduardo Menandro, Rafael Meirelles David e Emerson Salvador, que me incentivaram a realizar o meu Mestrado, além dos colegas M Sc. Moisés Antônio dos Santos, M. Sc. George Camargo dos Santos, Luciano de Barros Giovaneli, Dra. Ana Lúcia dos Prazeres Costa e demais colaboradores da Eletrobras Procel, e aos engenheiros Luciano Haas Rosito, Regis Haubert e Isac Roizenblatt.

Por fim, aos meus familiares, em especial à minha esposa Rosangela e aos meus pais.

Às vezes ouço passar o vento: e só de ouvir o vento passar, vale
a pena ter nascido. (Fernando Pessoa)

Resumo

A iluminação pública (IP) influencia no lazer, comércio noturno, segurança e na beleza de uma cidade. Estudos indicam que a IP corresponde aproximadamente a 3% do consumo total do sistema elétrico brasileiro. Os relés fotocontroladores, como um dos componentes importantes da IP, consomem pouca energia, no entanto, o seu mau funcionamento pode provocar o desligamento das lâmpadas à noite ou a sua permanência acesa durante o dia. No primeiro caso, pode comprometer a segurança da população e, no segundo, pode elevar o consumo de energia das lâmpadas, prejudicar a sua vida útil, e de outros elementos do sistema da IP. Por conseguinte, esses fatos motivaram o desenvolvimento desta dissertação. Alguns resultados dos trabalhos realizados pela Eletrobras Procel, em parceria com a PUCRS e Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) serviram como base para o desenvolvimento da metodologia proposta para estimar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo de sistemas de IP. O método desenvolvido é baseado na diferença entre a estimativa de consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública atual (linha de base), em que parte dos relés opera conforme a norma e outra não, e o consumo de um sistema hipotético, onde estes relés são corrigidos para atenderem à norma. Denomina-se esta diferença de impacto energético. Com esta metodologia, estimou-se o impacto da concessão do Selo Procel, sendo verificado que os benefícios estimados são significativos, com a recomendação, sob o ponto de vista técnico, da inclusão dos relés fotocontroladores no Programa Selo Procel.

Palavras-chave: (1) Iluminação pública; (2) Relé fotocontrolador; (3) Iluminância; (4) Conservação de energia; (5) Eficiência energética; (6) Selo Procel.

Abstract

Public lighting (PL) influences in the entertainment, night commerce, public safety and in the beauty of a city. Studies have shown that PL represents around 3% of the total consumption of the Brazilian electricity system. Photocontrols, important elements of PL, spend a small amount of energy, however, if there is a bad performance, they can switch off a lamp at night, or they can switch it on in the daylight. The first case is harmful to public safety and the second one it can increase the consumption of electricity of lamps, it can damage their lifetime and the other elements of PL. Therefore, these aspects have motivated the development of this dissertation. Some results of the works performed by Eletrobras Procel in partnership with PUCRS and Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) provided the basis for the progress of the proposed methodology to estimate the impact of the performance of photocontrols on PL systems consumption. The developed method is based on the difference between the electric energy estimated consumption of the present PL (baseline), considering that a part of the photocontrols operates according to the standard and the other part does not; and the consumption of a hypothetical system, where these photocontrols are fixed to meet the standard. This difference is denominated energetic impact. With the use of this methodology, the impact of the awarding of Procel Seal was evaluated, and the results show that the estimated benefits are significant, with the recommendation, from a technical point of view, of the inclusion of photocontrols in the Procel Seal Program.

Keywords: (1) Public lighting; (2) Photocontrol; (3) Illuminance; (4) Energy saving; (5) Energy efficiency; (6) Procel Seal.

Lista de figuras

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético.....	5
Figura 2.2 - Distância percorrida pela luz solar.....	6
Figura 2.3 - Crepúsculo e suas subcategorias para o pôr do Sol	7
Figura 2.4 – Crepúsculo matutino	7
Figura 2.5 – Crepúsculo vespertino.....	8
Figura 2.6 - Duração do crepúsculo em função da latitude.....	8
Figura 2.7 - Variação do nível de iluminação em função do tempo depois do pôr do Sol ou antes do pôr do Sol	9
Figura 2.8 - Eficácia luminosa espectral	10
Figura 2.9 - Eficácia luminosa espectral relativa	11
Figura 2.10 - Iluminância	11
Figura 2.11 - Luminância	12
Figura 3.1 - Relé fotocontrolador azimutal	15
Figura 3.2 - Relé fotocontrolador azimutal: gravação da tampa	15
Figura 3.3 - Relé fotocontrolador bioestável:.....	16
Figura 3.4 - Relé fotocontrolador por graduação em tensão elétrica:	16
Figura 3.5 - Relé fotocontrolador zenital.....	17
Figura 3.6 - Ligação de um relé fotocontrolador.....	20
Figura 3.7 - Chave magnética.....	22
Figura 3.8 - Chave magnética no invólucro	22
Figura 3.9 - Sistema inteligente de controle	23
Figura 3.10 - Circuito elétrico do relé fotocontrolador térmico	28
Figura 3.11 - Vista interna do relé fotocontrolador térmico.....	29
Figura 3.12 - Circuito elétrico do relé Fotocontrolador magnético.....	30
Figura 3.13 - Vista interna do relé fotocontrolador magnético	30
Figura 3.14 - Circuito elétrico do relé fotocontrolador eletrônico	31

Figura 3.15 - Vista interna do relé fotocontrolador eletrônico	31
Figura 3.16 - relé fotocontrolador eletrônico.....	32
Figura 3.17 - Relé fotocontrolador termoeletrônico	32
Figura 3.18 - Relé fotocontrolador eletrônico temporizado	32
Figura 3.19 - Tampa	35
Figura 3.20 - Base de montagem.....	35
Figura 4.1 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence)	37
Figura 4.2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) - Logomarca.....	37
Figura 4.3 - Selo Procel de Economia de energia	38
Figura 4.4 - Selo <i>Energy Star</i>	40
Figura 4.5 - Certificação do fotocontrolador	40
Figura 4.6 - Selo FIDE	42
Figura 4.7 – Logomarca do programa <i>GreenLight</i>	43
Figura 4.8 – Logomarca do <i>China Energy Conservation Program</i>	44
Figura 4.9 – Etiqueta do <i>China Energy Label Center</i>	44
Figura 5.1 - Percentual do funcionamento de relés em relação à NBR 5123.....	46
Figura 5.2 - Medição da energia consumida nos contatos do relé fotocontrolador.....	48
Figura 5.3 - Consumo do circuito referente ao sensor do relé fotocontrolador.....	49
Figura 5.4 - Curva de nível de iluminamento da luz natural no período do amanhecer.....	52
Figura 5.5 - Curva de nível de iluminamento da luz natural no período do anoitecer	53
Figura 5.6 - Percentual de relés fotocontroladores aprovados e reprovados	55
Figura 5.7 - Esquema do ensaio de vida acelerada para o relé eletrônico.....	57
Figura 6.1 – Fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida	62
Figura 6.2 - Exemplo de curva de nível de iluminamento ao amanhecer	64
Figura 6.3 - Exemplo de curva de nível de iluminamento ao anoitecer	64
Figura 6.4 - Gráfico da linha de tendência considerando os relés adequados à NBR 5123	68
Figura 7.1 - Gráfico da linha de tendência considerando os relés adequados ao Selo Procel..	69

Figura 7.2 - Curva de nível de iluminamento ao anoitecer	73
Figura 7.3 - Curva de nível de iluminamento ao amanhecer.....	73

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Níveis de iluminamento (lux) para operação do relé foto controlador - NBR 5123 (1998)	20
Tabela 3.2 - Níveis de iluminamento (lux) para operação do relé fotocontrolador - NBR 5123 (consulta pública)	20
Tabela 3.3 - Níveis de iluminamento (lux) para operação do relé fotocontrolador (comparativa).....	21
Tabela 3.4 - Retardo de operação	25
Tabela 3.5 - Consumo do circuito e resistência interna.....	26
Tabela 5.1 - Consumo incremental de energia mensal.....	46
Tabela 5.2 - Perdas de energia diária (Wh) por mau funcionamento do relé	49
Tabela 5.3 - Perdas de energia por mau funcionamento do relé (kWh/mês).....	50
Tabela 5.4 - Variação da intensidade luminosa ao amanhecer e ao anoitecer.....	53
Tabela 5.5 - Perdas de energia do relé fotocontrolador	54
Tabela 5.6 - Critérios: a Ence e o Selo Procel	56
Tabela 7.1 - Tempo de funcionamento da lâmpada em 1 ano.....	71
Tabela 7.2 - Níveis de iluminamento para operação do relé para o Selo Procel	72
Tabela 7.3 - Tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP atual e o adequado ao Selo Procel em 1 ano	74
Tabela 7.4 - Cenário de economia de energia com a evolução da quantidade de relés com Selo Procel em 2016.....	77
Tabela 8.1 - Custo de expansão evitado em milhões de R\$	79
Tabela 8.2 - Usina equivalente, emissões evitadas de gases de efeito estufa e número de veículos.....	81
Tabela 8.3 - Número de residências atendidas em 1 ano.....	82
Tabela 11.1 - Parque de iluminação pública no Brasil em 2008	91

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
ANSI	American National Standards Institute
BEN	Balanco Energético Nacional
CdS	Sulfeto de Cádmio
CECP	China Energy Conservation Program
CELC	China Energy Label Center
CEIP	Centro de Excelência em Iluminação Pública
CFE	Comision Federal de Electricidad
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CNIS	China National Institute of Standardization
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CSA	Canadian Standards Association
CME	Custo Marginal da Expansão
DOE	The United States Department of Energy
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPA	Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
GIZ	Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia
IP	Iluminação Pública
LD	Liga de Dia
LN	Liga de Noite

LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light Emiting Diode
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior
MME	Ministério de Minas e Energia
NA	Normalmente aberto
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NF	Normalmente fechado
NSF	National Sanitation Foundation
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Expansão
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
PLC	Pwer Line Carrier
PL	Public Lighting
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL RELUZ	Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes
PBAC	Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RI	Relação Inversa
RN	Relação Normal
SSR	Solid State Relay
T&D	Transmissão e Distribuição
TU	Tempo de uso em iluminação
UE	União Europeia
UL	Underwriters Laboratories
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Estrutura da dissertação.....	3
2	Referencial teórico.....	5
2.1	O espectro eletromagnético.....	5
2.2	Crepúsculo.....	6
2.3	Conceitos da luminotécnica.....	9
3	Tecnologia dos relés fotocontroladores.....	13
3.1	História dos relés.....	13
3.2	Importância do relé fotocontrolador para Iluminação Pública.....	14
3.3	Relé fotocontrolador.....	14
3.3.1	<i>Definição.....</i>	<i>14</i>
3.3.2	<i>Tipo.....</i>	<i>17</i>
3.3.3	<i>Grau de proteção.....</i>	<i>19</i>
3.3.4	<i>Nível de operação.....</i>	<i>19</i>
3.3.5	<i>Tipos de controle de iluminação pública.....</i>	<i>21</i>
3.3.6	<i>Modo e relação de operação.....</i>	<i>24</i>
3.3.7	<i>Retardo de operação.....</i>	<i>25</i>
3.3.8	<i>Consumo próprio.....</i>	<i>25</i>
3.3.9	<i>Especificação.....</i>	<i>27</i>
3.3.10	<i>Tipos de defeitos.....</i>	<i>35</i>
4	Instrumentos de Promoção da Eficiência Energética de Equipamentos de Iluminação Pública.....	36
4.1	Brasil.....	36
4.1.1	<i>Programa Brasileiro de Etiquetagem.....</i>	<i>36</i>
4.1.2	<i>Programa Nacional de Conservação de Energia - PROCEL.....</i>	<i>37</i>

4.1.3	<i>Lei da Eficiência Energética (Lei 10.295/2001)</i>	39
4.2	Exemplos no mundo	39
4.2.1	<i>Estados Unidos</i>	39
4.2.2	<i>México</i>	41
4.2.3	<i>União Europeia</i>	42
4.2.4	<i>China</i>	43
5	Estudos sobre Relés Fotocontroladores.	45
5.1	Avaliação do Sistema de Iluminação Pública do Procel Reluz	45
5.2	Análise de Viabilidade e Impactos da Implementação de um Programa de Eficiência Energética para Relés Fotocontroladores.....	46
5.2.1	<i>Perdas de energia introduzidas pelos relés fotocontroladores</i>	47
5.2.2	<i>Método de ensaio proposto para determinação das perdas do relé fotocontrolador</i>	50
5.2.3	<i>Avaliação da eficiência energética do relé fotocontrolador</i>	54
5.2.4	<i>Proposta para o processo de avaliação comparativa</i>	56
5.3	Outros Estudos	57
5.4	Considerações	60
6	Metodologia para estudo do impacto energético do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública	61
6.1	Fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida	61
6.2	Estimativa do parque atual de iluminação pública no Brasil por tipo e potência de lâmpada, e o total dos relés fotocontroladores	62
6.3	Quantidade de relés.....	63
6.4	Determinação do tempo de funcionamento da lâmpada com relé fora da norma e conforme a norma	63
6.5	Tempo médio de funcionamento da IP no caso atual e no caso de relés adequados ..	65
6.6	Consumo de energia elétrica do parque atual e dos parques hipotéticos	66
6.7	Cálculo da economia de energia	67
7	Estimativa do impacto da concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores sobre o consumo de energia em iluminação pública no Brasil	69
7.1	Estimativa do parque atual de iluminação pública no Brasil por tipo e potência de lâmpada, e o total dos relés fotocontroladores.....	70

7.2	Quantidade de relés.....	70
7.3	Determinação do tempo de funcionamento da lâmpada com relé fora da norma e conforme a norma	70
7.4	Tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP atual e o adequado ao Selo Procel.....	72
7.5	Consumo de energia elétrica do parque atual e dos parque hipotético	75
7.6	Cálculo da economia de energia em 2016	76
8	Benefícios da concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores de iluminação pública	78
8.1	Benefício econômico	78
8.2	Benefícios ambientais	79
8.3	Número de residências atendidas.....	82
9	Conclusões e sugestões para estudos futuros.....	83
10	Referências.....	85
	Anexo A: Parque de iluminação pública no Brasil em 2008	91
	Anexo B: Artigo apresentado no Agrener GD 2015	94

1 Introdução

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92) foi o principal marco para a consolidação do desenvolvimento sustentável a nível mundial. Representantes de nações desenvolvidas e em desenvolvimento interagiram, discutindo, entre outros temas, a integração do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres. Como produto final do evento, a Agenda 21 apresenta 40 capítulos, entre eles: integração entre meio ambiente e desenvolvimento na tomada de decisões, transferência de tecnologia ambientalmente saudável, cooperação, fortalecimento institucional e mudança dos padrões de consumo.

Transcorreram-se 20 anos e o Brasil novamente foi palco para discussão dos temas relacionados com a sustentabilidade. Na Rio+20 (2012), líderes de diversos países reuniram-se para tratar da economia verde, da erradicação da pobreza, etc. Mostrou-se para o mundo que se tem uma matriz energética 50% renovável e que há perspectiva para liderança mundial em energias renováveis em 2020, reduzindo, assim, as emissões dos gases do efeito estufa. E, no que se refere à matriz de energia elétrica, o valor corresponde a 80%, sendo a fonte basicamente hidráulica.

Como tópico importante na sustentabilidade ambiental, a eficiência energética vem motivando grande parte dos países a investir em equipamentos mais eficientes e na conservação de energia. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), referência na América Latina, instituído pela Portaria Interministerial nº. 1.877, de 30 de dezembro de 1985 e, posteriormente, mantido por Decreto Presidencial em 18 de julho de 1991, é o programa do Governo Federal coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pelas Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras). O programa vem norteando o mercado na valorização de equipamentos com melhor desempenho energético, colaborando para a melhoria da qualidade de vida da população e mitigando os impactos ambientais.

O subprograma do Procel, Procel Reluz, que foi criado em 2000, e é destaque no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), vem desenvolvendo, entre outros, projetos para modernizar e expandir os sistemas de iluminação pública, e melhorar a sinalização semafórica.

Durante a vida útil de uma instalação de iluminação pública, o valor dos materiais representa somente 15% do total dos gastos. A outra parte é devido ao consumo e manutenção do sistema (ROSITO, 2009). Os relés fotocontroladores, como um dos componentes, consomem pouca energia, não sendo considerados na avaliação das tarifas de energia elétrica. Todavia, pelo seu

mau funcionamento, as lâmpadas ficam desligadas ou acesas permanentemente. No primeiro caso, podem ocorrer, principalmente, problemas com a segurança da população, e, no segundo, há o comprometimento da vida útil das lâmpadas e outros componentes da iluminação, ocorrendo o aumento das perdas de energia do sistema de distribuição. Esses fatos motivaram o autor desta dissertação a explorar o tema.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é estimar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo de sistemas de iluminação pública, analisando mais especificamente a adequação desses dispositivos a critérios normativos no que diz respeito aos níveis de operação previstos dos mesmos.

Em relação aos objetivos específicos, este trabalho pretende:

- 1) Apresentar uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos explorados na dissertação para determinação dos parâmetros que direcionarão os estudos;
- 2) Desenvolver um método para avaliar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública;
- 3) Estimar o impacto energético e avaliar os benefícios da concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores a partir do método desenvolvido;
- 4) Avaliar a viabilidade do programa do Selo Procel em relés fotocontroladores.

1.2 Justificativa

A iluminação pública (IP) é primordial à qualidade de vida e no desenvolvimento nos centros urbanos, pois, permite aos habitantes usufruírem do espaço público no período noturno, uma vez que colabora com a prevenção da criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, além de facilitar a hierarquia viária, orientar percursos e permitir melhor aproveitamento das áreas de lazer e o comércio noturno.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 (EPE, 2014), o consumo de energia elétrica na iluminação pública em 2013 foi de 13.512 GWh, correspondendo a 2,91 % do consumo total registrado naquele ano, estando próximo ao consumo do poder público e do serviço público, com 3,1% e 3,2%, respectivamente. Ao todo, são cerca de 15 milhões de pontos de iluminação pública cadastrados no Brasil (PROCEL, 2014b).

Apesar dos importantes avanços e benefícios alcançados pelo Procel Reluz, que já modernizou mais de 2,7 milhões de pontos de IP desde seu lançamento (PROCEL, 2015), existia a necessidade de averiguar *in loco* a adequação dos equipamentos instalados nesses sistemas de IP, colaborando com o aprimoramento do programa e direcionando novas ações da Eletrobras/Procel.

Nesse sentido, em 2006, a Eletrobras firmou parceria com a Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul para a realização de um amplo estudo (ELETROBRAS; PUCRS, 2010), que, entre outras constatações, verificou a inadequação de mais de 70% dos relés fotocontroladores em uso no estado do Rio Grande do Sul frente a critérios da Norma NBR 5123, especificamente no que diz respeito aos seus níveis liga e desliga.

Esse resultado deu origem a um novo estudo da Eletrobras Procel, em parceria com a GIZ, cuja execução ficou sob a responsabilidade dos Laboratórios Testtech. Nesse estudo, foi ensaiada uma amostra de modelos de relés representativos do mercado nacional, e se constatou que 59% dos relés fotocontroladores (TESTTECH, 2012) apresentaram funcionamento inadequado, uma vez que não atendiam aos níveis normativos vigentes.

Nesse escopo, o trabalho aqui elaborado usará como base alguns dos resultados desses estudos para propor uma metodologia para avaliar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo de sistemas de iluminação pública, conforme objetivos que serão apresentados na próxima seção. Os fatores posição do Sol, latitude, crepúsculo e condições climáticas, que não fizeram parte dos dois estudos citados, também não foram considerados nesta dissertação.

1.3 Estrutura da dissertação

Nesse contexto, para alcançar seus objetivos, o presente estudo foi estruturado da seguinte forma:

A primeira parte apresenta o capítulo 1, com a introdução da dissertação, no qual são apresentadas as considerações iniciais, os objetivos geral e específicos, justificativa e a estrutura do trabalho.

A segunda parte está dividida mediante os tópicos abaixo:

- a) O capítulo 2 mostra o referencial teórico da dissertação em que são citados conceitos na área de iluminação, como espectro eletromagnético e crepúsculo;

- b) O capítulo 3 trata da tecnologia dos relés fotocontroladores, destacando, entre outras, as suas diferentes configurações e como eles devem ser especificados;
- c) O capítulo 4 cita instrumentos de promoção da eficiência energética de equipamentos de iluminação pública no Brasil e exterior;
- d) O capítulo 5 apresenta estudos realizados sobre relés fotocontroladores pela Eletrobras/ Procel e outros autores brasileiros;
- e) O capítulo 6 descreve a metodologia para estudo do impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública, em que as etapas descritas são destacadas através de um fluxograma;
- f) O capítulo 7 aplica a metodologia proposta na estimativa do impacto energético da concessão do Selo Procel Eletrobras para relés fotocontroladores para IP no Brasil, para três cenários técnicos;
- g) O capítulo 8 avalia os benefícios econômicos, ambientais e o número de residências atendidas em um ano quando da concessão do Selo Procel Eletrobras para relés fotocontroladores de IP;
- h) As conclusões e sugestões de novos estudos estão no capítulo 9;
- i) Por fim, são apresentadas as referências e os anexos.

2 Referencial teórico

Neste capítulo, será apresentada a definição de espectro eletromagnético, de crepúsculo e uma breve revisão de alguns conceitos básicos de luminotécnica.

2.1 O espectro eletromagnético

A energia emitida pelo Sol sob a forma de radiações eletromagnéticas é constituída por campos elétricos e magnéticos que variam no tempo e espaço. A ciência chamou a esse conjunto de fenômenos eletromagnéticos espectro eletromagnético. Conforme cita Costa (2006):

Este espectro pode ser dividido em duas grandes faixas: a primeira denomina-se de ondas, sendo subdividida em industriais (frequências baixas) e hertzianas (frequências elevadas), onde se encontram as comunicações, radar, etc.; o término da faixa das ondas origina a das radiações, que iniciam com as infravermelhas, percebidas sob forma de calor, passando pelas radiações ditas visíveis, ou seja, a luz, visível, e continuando com as ultravioletas, raios X, raios gama e raios cósmicos.

A luz visível destaca-se no espectro eletromagnético das ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, entre outras, pelo comprimento de onda (λ) e frequência (f). A Figura 2.1 mostra o espectro eletromagnético.

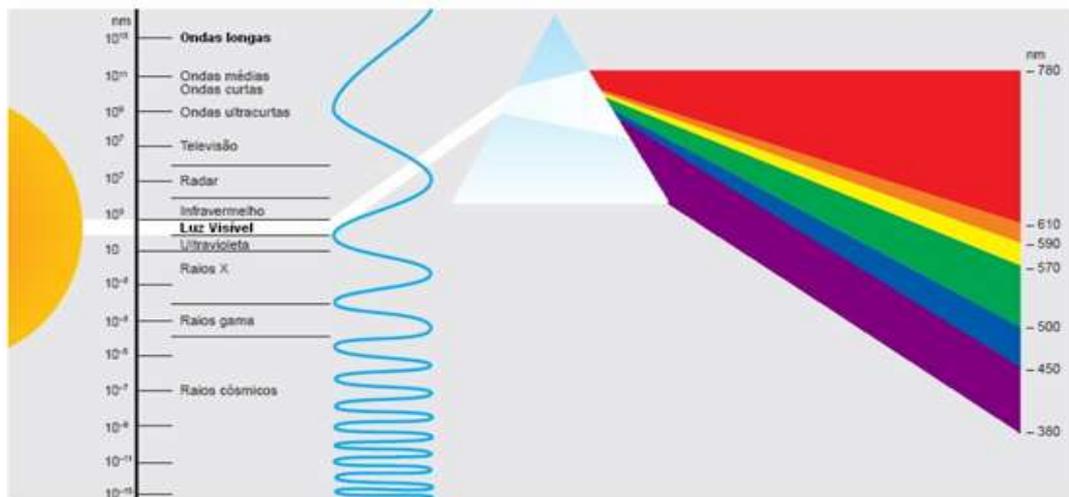


Figura 2.1 - Espectro eletromagnético

Fonte: OSRAM (2013)

A luz solar que atinge a terra apresenta variações do seu espectro, podendo ser influenciado pela própria composição gasosa da atmosfera, assim como pela poluição, nuvens, período do dia, etc.

Ao meio dia, a luz percorre a menor distância até alcançar a crosta terrestre, aumentando gradativamente essa distância até se tornar máxima durante o poente, conforme se verifica na Figura 2.2. Similarmente, porém em ordem invertida, ocorre com a distância percorrida pela luz entre o nascente do sol e o meio dia. Durante esses percursos, a quantidade de luz dispersa varia em função do montante de partículas que podem absorver, refratar ou refletir as frequências luminosas, alterando, assim, a cor percebida pelo olho humano



Figura 2.2 - Distância percorrida pela luz solar

Fonte: Adaptado de The Physics Classroom (2014)

2.2 Crepúsculo

Crepúsculo é a iluminação da atmosfera mais baixa da Terra feita indiretamente pela luz do Sol, quando este se encontra abaixo da linha do horizonte. Isto se deve à dispersão da luz do Sol na camada da atmosfera mais alta, iluminando a camada mais baixa; portanto, a superfície da Terra não está totalmente clara ou escura. O crepúsculo é definido em subcategorias, de acordo com a elevação do ângulo solar, que é a posição do centro geométrico do Sol em referência ao horizonte: crepúsculo civil, o mais claro, crepúsculo náutico e crepúsculo astronômico, ambos mais escuros (TIMEANDDATE.COM, 2015).

A seguir, definem-se esses três tipos de crepúsculo:

Crepúsculo civil, náutico e astronômico

O crepúsculo civil ocorre quando o centro do Sol está entre 0 e 6 graus abaixo do horizonte. Neste caso, a iluminação do crepúsculo é suficiente, sob as condições normais de tempo, sendo os objetos terrestres claramente distinguidos tanto no crepúsculo da manhã quanto o noturno.

Já no crepúsculo náutico, o Sol está entre 6 e 12 graus abaixo do horizonte, e, no começo ou término do crepúsculo náutico, com boas condições atmosféricas e na falta de outra iluminação, em geral os contornos dos objetos podem ser distinguidos. Quanto ao crepúsculo astronômico, o centro do Sol está entre 12 e 18 graus abaixo do horizonte, e tanto antes do começo do crepúsculo astronômico na manhã, quanto depois do término do crepúsculo noturno, o Sol não contribui para iluminação do céu (TIMEANDDATE.COM, 2015).

A Figura 2.3 destaca o crepúsculo para o pôr do Sol, e suas subcategorias:

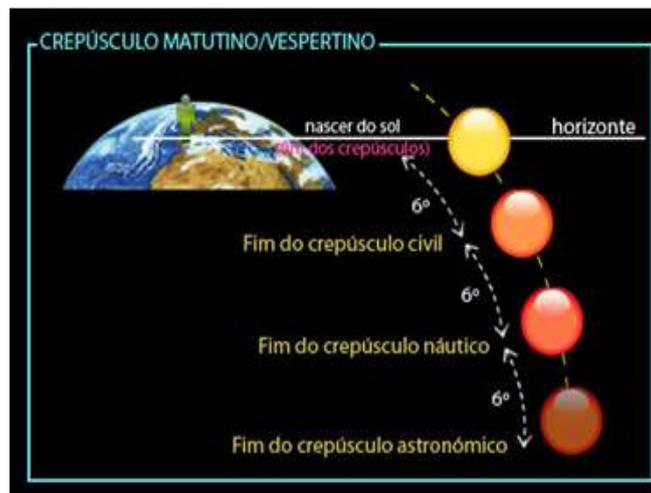


Figura 2.3 - Crepúsculo e suas subcategorias para o pôr do Sol

Fonte: Crepusculis.net (2015)

A Figura 2.4 e a Figura 2.5 destacam o crepúsculo, pôr do sol, ocaso, nascer do sol e alvorecer.

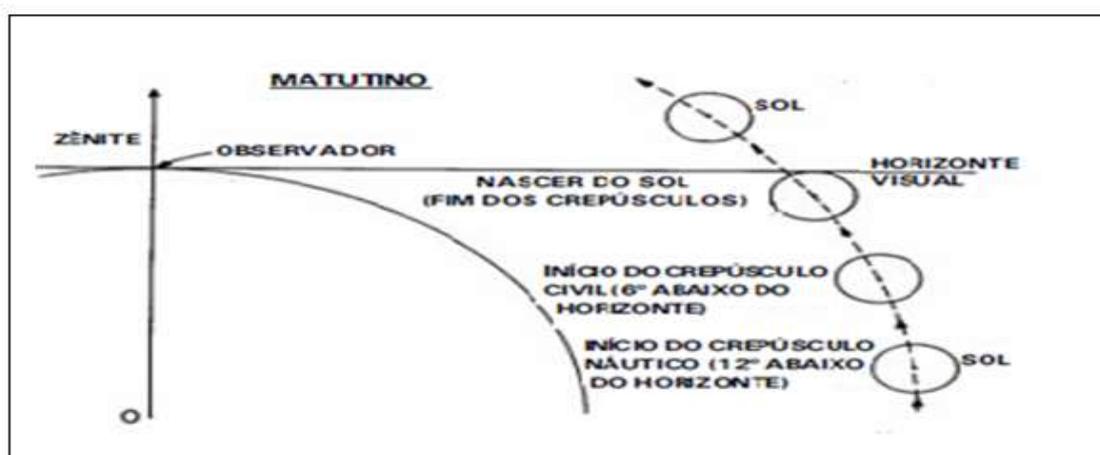


Figura 2.4 – Crepúsculo matutino

Fonte: Miguens (2015)



Figura 2.5 - Crepúsculo vespertino

Fonte: Miguens (2015)

Pôr do Sol - É o desaparecimento diário do Sol no horizonte na direção oeste, como resultado da rotação da Terra. O ponto que está no limite entre o crepúsculo e a escuridão é denominado ocaso.

Nascer do Sol - É o instante em que o Sol surge sobre a direção leste no horizonte. Neste caso, o ponto que está no limite entre o crepúsculo e a escuridão é denominado alvorecer.

A necessidade da iluminação artificial é influenciada pelo tempo de duração do crepúsculo, o qual varia com a latitude¹ e as condições de tempo local (IESNA DG-13-98).

A Figura 2.6 mostra a duração média de um crepúsculo civil em função da latitude.

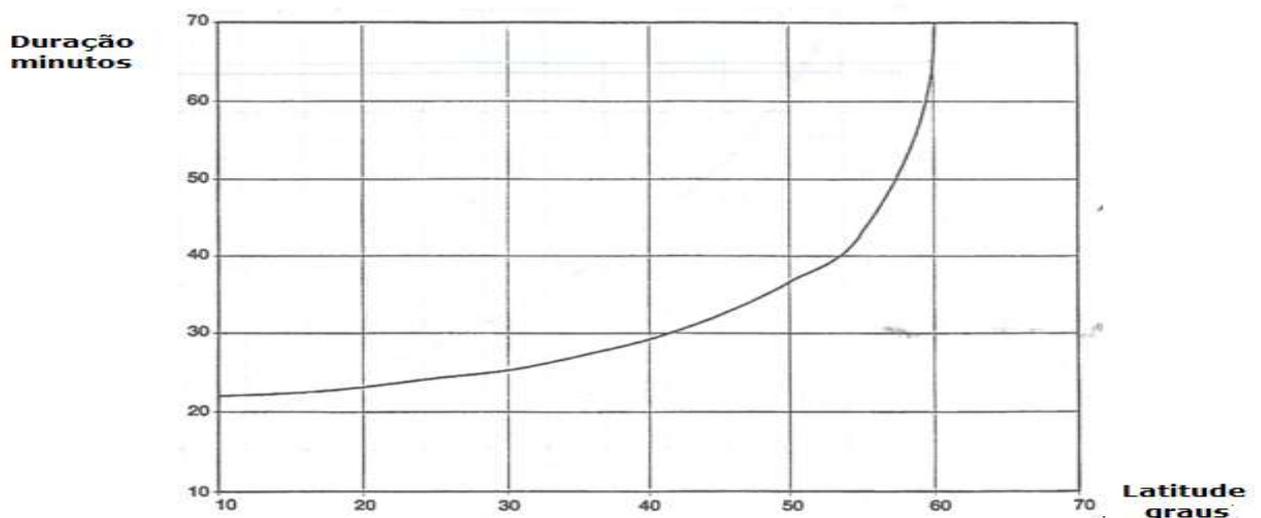


Figura 2.6 - Duração do crepúsculo em função da latitude

Fonte: Adaptado da IESNA DG-13-98 (2015)

¹ Latitude - É a distância ao Equador medida ao longo do meridiano de Greenwich. Esta distância mede-se em graus, podendo variar entre 0° e 90° para Norte (N) ou para Sul (S).

A Figura 2.7 mostra a variação do nível de iluminação em função do tempo, após o pôr do Sol ou antes do nascer do Sol, para latitude de 35°36' Norte (IESNA DG-13-98).

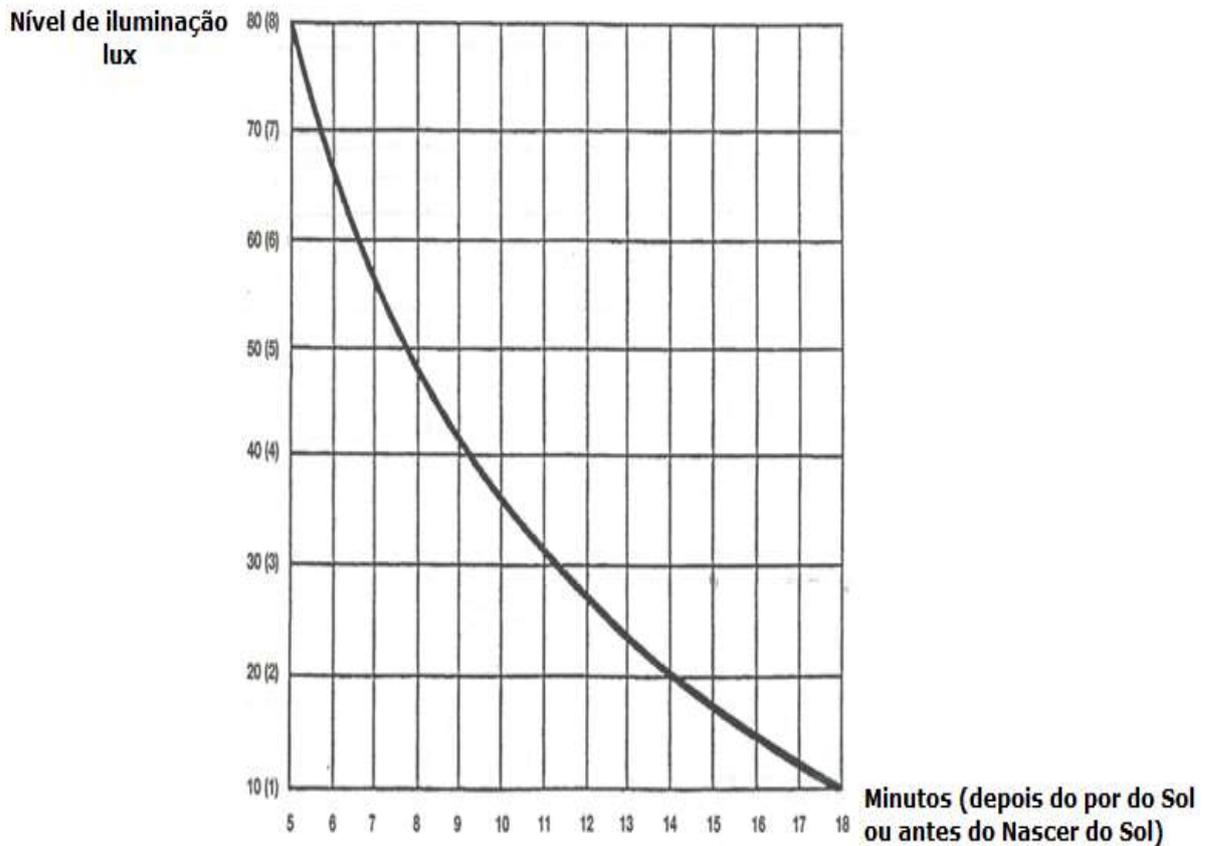


Figura 2.7 - Variação do nível de iluminamento em função do tempo depois do pôr do Sol ou antes do pôr do Sol

Fonte: Adaptado da IESNA DG-13-98 (2015)

2.3 Conceitos da luminotécnica

A seguir são definidos alguns conceitos da luminotécnica:

Fluxo energético ou fluxo radiante

É a potência associada à radiação de uma fonte de radiação, medida em watts.

Fluxo luminoso

É o componente do fluxo energético que sensibiliza o campo visual humano, com o limite na região visível de comprimento de onda de 380 a 770 nm, medido pela fotometria² em lumens (lm).

Um estudo estatístico do comportamento médio do olho humano subsidiou a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) a estabelecer a curva da eficácia luminosa espectral relativa para o observador padrão, apresentada na Figura 2.8. Esta curva apresenta a eficácia espectral relativa para o observador fotométrico, segundo padrão da CIE, referindo-se ao comprimento de onda e as visões fotópica³ e escotópica⁴ (COSTA, 2006), sendo que a primeira corresponde à visão diurna, e a segunda à visão noturna.

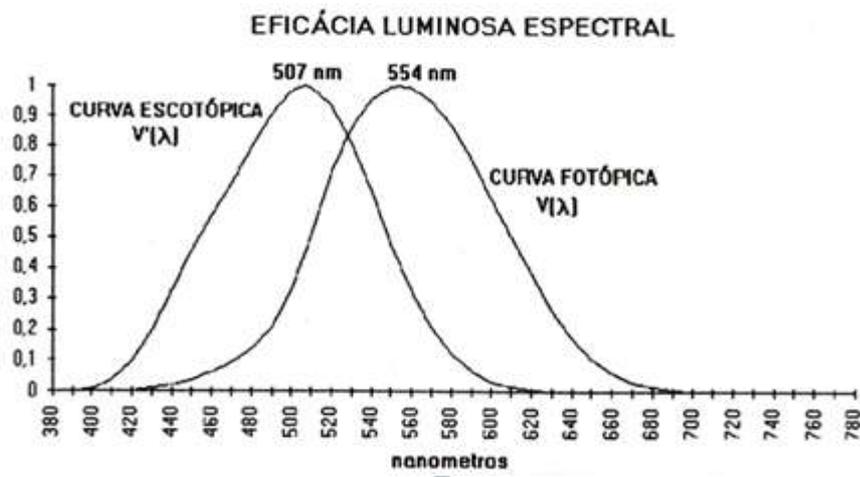


Figura 2.8 - Eficácia luminosa espectral

Fonte: Costa (2006)

A Figura 2.9 relaciona a energia radiante e o fluxo luminoso, mostrando a correspondência entre os valores relativos da eficácia luminosa $V(\lambda)$ e os comprimentos de onda respectivos, permitindo a avaliação do efeito visual da energia radiante.

² A fotometria destina-se a medir a potência luminosa no que diz respeito à percepção pelo olho humano; diferencia-se da radiometria, que se preocupa em medir a luz em termos de sua potência absoluta, radiante, associada a um dado comprimento de onda.

³ Visão fotópica - é a designação dada à sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores.

⁴ Visão escotópica - Visão escotópica é a visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade.

Portanto, o fluxo luminoso representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob a forma de luz.

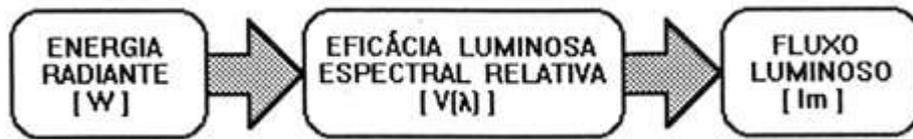


Figura 2.9 - Eficácia luminosa espectral relativa

Fonte: Costa (2006)

Iluminância

É a quantidade de fluxo luminoso uniformemente distribuído por unidade de área de uma superfície iluminada (lux ou lm/m^2), como é mostrado na Figura 2.10.

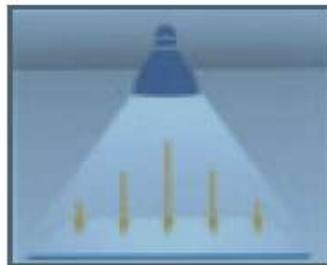


Figura 2.10 - Iluminância

Fonte: Rodrigues (2002)

Intensidade luminosa

É a concentração de luz numa dada direção específica, irradiada por segundo. A unidade é a candela (cd).

Luminância

É uma medida fotométrica da intensidade luminosa por unidade de área, que se refere à quantidade de potência luminosa que poderá ser vista pelo observador, e cuja unidade é a candela por metro quadrado (cd/m^2).

A Figura 2.11 mostra uma representação da luminância.

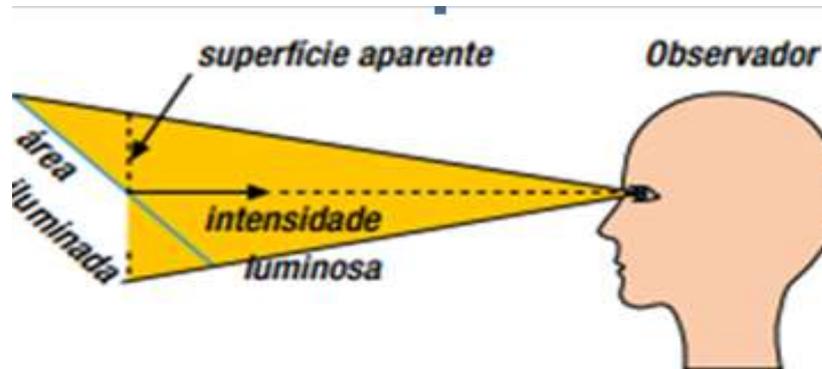


Figura 2.11 - Luminância

Fonte: Mecatrônica na Net (2012)

3 Tecnologia dos relés fotocontroladores

Neste capítulo será apresentada uma breve história dos relés, além da importância do relé fotocontrolador na iluminação pública, e alguns tópicos relativos a esse equipamento.

3.1 História dos relés

Os relés, palavra de origem francesa (relais), são elementos eletromecânicos ou eletrônicos, amplamente utilizados em eletrotécnica com a finalidade de ligar e desligar dispositivos como, por exemplo, motores e lâmpadas.

Segundo Braga (2012):

Foi em 1937 que George Stibitz (1904 -1995) percebeu que os relés eletromecânicos, que eram os componentes básicos de todos os sistemas de comutação telefônica da época, também poderiam ser utilizados para outras finalidades.

Stibitz notou que eles podiam realizar operações em sequência e [...], Desta forma, usando relés [...] ele montou o primeiro computador com relés: um somador binário.

Em 1939, com ajuda de S.B. Williams, construiu o Complex Number Calculator, [...]. Esta máquina tinha uma “CPU” formada por 450 relés telefônicos [...].

Com o desenvolvimento tecnológico, a partir da metade do século XX, surgiram outros tipos de relés no mercado. Nos anos 50, surgiram os relés de estado sólido (dispositivo eletrônico - SSR) que diferem dos eletromecânicos por não apresentarem os contatos que se movimentam na operação dos mesmos, o que acarreta redução da vida útil, pois há o desgaste das peças. Em 1954, surgia o relé de impulso, que é uma variação do relé eletromecânico, sendo denominado, também, interruptor ou relé de passo. Este último teve grande aplicação em instalações residenciais e comerciais (CUNHA, 2009).

Nos anos 60, já era utilizado o relé no sistema de IP brasileiro (informação verbal)⁵. Antes de sua aplicação, a lâmpada era acesa manualmente através de chave que ligava um grupo de lâmpadas. Com o aumento da sua potência e o surgimento de outros tipos, além da incandescente, e com a expansão demográfica, começou a dificuldade em controlar o liga e desliga das lâmpadas. Para contornar essa dificuldade, surge então o relé fotocontrolador com a finalidade de comandar o acionamento da iluminação das ruas.

⁵ [Informação fornecida por] ROIZENBLATT, Isac. Consulta pessoal feita pelo autor desta dissertação sobre o tema “história dos relés”, em 2014.

Já a partir dos anos 80, apareceram os relés digitais, chamados de terceira geração, que começaram a trabalhar com microcomputadores para analisar os sinais e as informações digitais para realizar a manobra de um circuito. A partir desse fato, tornou-se mais acentuada a substituição dos relés eletromecânicos pelos eletrônicos, os quais possibilitam coordenação do sistema de proteção e melhor sensibilidade, devido a ajustes melhores, proporcionados pela nova tecnologia (CUNHA, 2009).

3.2 Importância do relé fotocontrolador para Iluminação Pública

O relé fotocontrolador é um componente muito importante na IP, pois está relacionado com o acendimento e desligamento da lâmpada. Ademais, é relevante no que se refere à conservação de energia.

Além de operar dentro dos níveis estabelecidos por norma, para se evitar desperdício de energia ou áreas não iluminadas, o relé deve ser instalado adequadamente, com o sensor de luz voltado para a posição correta, conforme citado no item 3.3.1, para evitar acionamento intempestivo. É também um elemento sensível a surtos de tensão, por conseguinte deve ter proteção adequada.

3.3 Relé fotocontrolador

Neste tópico, o relé para IP será definido, e serão apresentados seus tipos, suas diferentes configurações, níveis de operação, tipos de controle, grau de proteção, modo e relação de operação, retardo de operação, como é calculado o seu consumo próprio e quais são os módulos para a sua especificação.

3.3.1 Definição

O relé destinado para IP é um elemento que comanda o acendimento ou desligamento da lâmpada em função da luz natural que incide sobre o seu componente denominado fotodetector.

Segundo a ABNT NBR 5123 (1998): “Relé fotoelétrico⁶ é um elemento do sistema que controla o acendimento e desligamento da lâmpada de acordo com o nível de luz presente no ambiente”.

⁶ Na versão de 1998 da NBR 5123, o relé fotocontrolador era denominado relé fotoelétrico.

Conforme a ABNT NBR 5123, que está em consulta pública: “Dispositivo destinado ao controle de equipamento de iluminação em função do nível de iluminação”.

Os relés fotocontroladores são fabricados em diferentes configurações:

Relé Fotocontrolador azimuthal⁷ (AZ)

Apresenta sensibilidade ao fluxo luminoso na face lateral (90° aos contatos de encaixe - posicionamento na lateral do corpo de relé). Conforme se vê na Figura 3.1. e na Figura 3.2 , a identificação é feita pela seta de direcionamento e a identificação “sul”.

É a configuração mais usada no Brasil, devido a não ser influenciada pela incidência da luz em noite de lua cheia ou quando da colocação da luminária acima do relé. A orientação sul é devido à maior incidência de luz natural tanto no amanhecer quando no entardecer.



Figura 3.1 - Relé fotocontrolador azimuthal

Fonte: Eletro GLP (2014)



Figura 3.2 - Relé fotocontrolador azimuthal: gravação da tampa

Fonte: Testtech (2012)

⁷ Azimute: é uma medida de abertura angular cujo valor em graus perfaz horizontalmente um círculo que vai do norte geográfico até a interseção do brilho de uma estrela, refletido na superfície do mar, com o horizonte marítimo.

Relé Fotocontrolador biestável (FB)

Mantém a condição do acionamento ao ser removida a alimentação. Pode apresentar ou não a continuidade entre os contatos fase e carga quando desenergizado.

Possui baixíssimo consumo de energia quando ligado ou desligado, pois não há mais a energização do comando de carga. O inconveniente é que, conforme o modo de falha, não se sabe se o relé ficará ligado ou desligado. A Figura 3.3 mostra o relé fotocontrolador bioestável.



Figura 3.3 - Relé fotocontrolador bioestável:

Fonte: Margirus (2016)

Relé fotocontrolador comutação por graduação em tensão elétrica (GTE)

Opera síncrono à rede, ligando a carga no instante em que a tensão na onda solenoide⁸ é de ≤ 50 Volts.

Tem como finalidade a minimização da corrente de *inrush* no instante da energização da carga. Com isso, o conjunto lâmpada - reator - 'driver apresenta maior vida útil. A Figura 3.4 mostra o relé fotocontrolador bioestável



Figura 3.4 - Relé fotocontrolador por graduação em tensão elétrica:

Fonte: PowerLux (2016)

⁸ Solenoide- É obtido quando um fio é enrolado sob a forma de uma bobina.

Relé fotocontrolador zenital ⁹ (ZEN)

Apresenta sensibilidade ao fluxo luminoso na face oposta aos contatos de encaixe, sendo direcionado para o zênite na posição normal de operação. É zenital quando não houver a seta de direcionamento e a indicação Sul (Figura 3.5).

Com o surgimento dos relés eletrônicos, o zenital passou a incluir os modelos de relés porque foi possível eletronicamente separar os problemas relacionados ao azimutal. Por apresentar o sensor direcionado para cima, melhora a performance em algumas aplicações.



Figura 3.5 - Relé fotocontrolador zenital

Fonte: Simon (2014)

3.3.2 Tipo

Os tipos de relés, que estão descritos abaixo, devem operar em temperatura ambiente variando de -5°C a $+50^{\circ}$, nas tensões nominais, e capacidades de carga¹⁰ fornecidas (ABNT NBR 5123 em consulta pública).

Os tipos de relé fotocontrolador são:

T1(térmico, magnético e monotensão)

Refere-se aos relés térmicos e magnéticos que operam em uma única tensão nominal 127 V ou 220V, com faixa de tensão 109 a 140 V e 198 a 242V, respectivamente.

⁹ Zênite - É um ponto imaginário (localizado sobre a esfera celeste) interceptado pela vertical traçada a partir da cabeça de um observador.

¹⁰ A ABNT-NBR5123 em consulta pública fornece as características elétricas para carga de lâmpada em função da tensão nominal.

T2 (eletrônico multitensão)

Refere-se ao fotoeletrônico multitensão com tensão nominal de 127 V e 220V, com faixa de tensão variando entre 109 a 280 V.

T3 (eletrônico monotensão);

Refere-se ao fotoeletrônico monotensão com tensão nominal de 127 V ou 220V, com faixa de tensão 109 a 140 V e 198 a 242V, respectivamente.

T4(eletrônico temporizado)¹¹

Refere-se ao fotoeletrônico temporizado com tensão nominal de 127 V e 220V, com faixa de tensão variando entre 109 a 280 V. É instalado em determinado lugar em que não há a necessidade de manter a lâmpada acesa por determinado período. Portanto, é programado para evitar desperdício de energia.

Nos Estados Unidos, o relé fotocontrolador temporizado é programado para desligar em determinado período da noite ou determinado período do ano (ANSI C136.2010).

No primeiro caso, há as seguintes opções:

Tempo fixo - O relé liga a lâmpada no ocaso e desliga em determinado intervalo de tempo programado na fábrica ou pelo uso de um dispositivo no mesmo;

Tempo real - O relé possui um relógio de tempo integral que liga a lâmpada no ocaso e desliga em função da programação deste relógio;

Metade da noite - O relé liga a lâmpada no ocaso e desliga em função de um algoritmo calculado que determina o ponto central entre o ocaso e o alvorecer;

Na manhã (AM) - O relé opera tal como as opções anteriores e liga a lâmpada para um relógio de tempo específico ou após um intervalo de tempo específico até o alvorecer, quando a lâmpada é então desligada.

No segundo caso, o relé liga a lâmpada no ocaso e desliga no alvorecer, todavia pode ser programado na fábrica ou por dispositivos seletores no relé para deixar a lâmpada desligada em determinados períodos, dias, semanas, meses, estações, etc.

¹¹ Na ABNT-NBR5123 só há a definição sem detalhes como a ANSI C136.2010.

3.3.3 Grau de proteção¹²

O tipo T1 apresenta grau de proteção 55, e os T2, T3 e T4 apresentam grau de proteção 65. Código IP, respectivamente, 55 e 65.

Em relação ao grau de proteção IP 55:

- O primeiro número representa protegido contra poeira e o segundo, protegido contra jatos d'água.

Quanto ao IP 65:

- O primeiro número representa totalmente protegido contra poeira e o segundo, protegido contra jatos potentes d'água.

3.3.4 Nível de operação

O relé fotocontrolador fechará ou abrirá os seus contatos em função da variação do nível de iluminação. Esse intervalo é denominado de nível de operação.

Conforme a ABNT NBR 5123 (1998):

O relé fotoelétrico deve ligar (desligar) uma lâmpada indicadora entre os níveis de iluminância de 3 lux a 20 lux, medidos em um plano tangente à superfície da tampa do relé, e desligá-la (ligá-la), no máximo, com 80 lux no mesmo plano, mantendo a relação de 1,2 a 4 entre desligar (ligar) e ligar (desligar), em tensão nominal.

A Figura 3.6 mostra a ligação de um relé fotocontrolador, e a Tabela 3.1 apresenta níveis de iluminância (lux) para operação do relé foto controlador.

¹² ABNT NBR IEC 60529 - Esta norma define um sistema para a classificação dos graus de proteção providos para os invólucros de equipamentos. O 1º número significa proteção contra objetos estranhos e o 2º, proteção contra a penetração de jatos d'água.

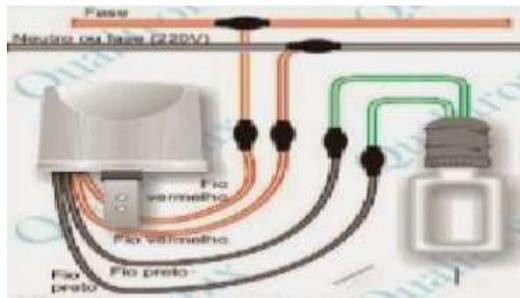


Figura 3.6 - Ligação de um relé fotocontrolador

Fonte: Elizeueletrotecnico (2015)

Tabela 3.1 - Níveis de iluminação para operação do relé foto controlador - NBR 5123 (1998)

Modo de operação	Níveis de operação Ligar	Níveis de operação Desligar	Relação desligar/ligar
iluminância (lux)	3 a 20	até 80	1,2 a 4,0

Fonte: Elaboração própria

Segundo a versão da NBR 5123 que está em consulta pública, “O relé fotocontrolador deve ligar ou desligar uma lâmpada indicadora entre os níveis de iluminação medidos no mesmo alinhamento da face visível, alimentado na tensão nominal, mantendo a relação entre ligar e desligar”. A Tabela 3.2 mostra os níveis de operação (lux) para esta versão.

Tabela 3.2 - Níveis de iluminação para operação do relé fotocontrolador - NBR 5123 (consulta pública)

Relé fotocontrolador Tipo	Níveis de operação – iluminância (lux)			Relação	
	Ligar		desligar	desligar / ligar	
T1	5 a 20		até 40	Mínima 1,2	
T2, T3 e T4	Zenital ou azimutal	Lux normal	de 5 a 15	até 30	1,5 a 3,0
		Lux inverso	até 30	de 5 a 15	1,5 a 3,0

Fonte : Testtech (2012)

A tabela 3.3 mostra a variação do nível de iluminância apresentada na norma americana IESNA C136.10 (2010) e na brasileira ABNT NBR 5123, vigente e em consulta pública.

Tabela 3.3 - Níveis de iluminamento para operação do relé fotocontrolador¹³ (comparativa)

Modo de operação	Níveis de operação Ligar (Lux)	Níveis de operação Desligar (Lux)
ABNT-NBR 5123 (1998)	3 a 20	Até 80
ABNT-NBR 5123 (consulta pública)*	5 a 20	Até 40
ABNT-NBR 5123 (consulta pública)**	5 a 15	Até 30
IESNA C136.10 (2010)	16 ±6	Até 65

Fonte: Elaboração própria

* Tipo T1

** Tipo (T2, T3 e T4)

Verifica-se nessa tabela que o intervalo de variação da iluminância da norma brasileira vigente, liga e desliga, é maior do que o da norma americana. Na norma brasileira versão 1998, por exemplo, o limite máximo para o relé desligar a lâmpada é de 80 lux e na americana 65 lux, portanto há a possibilidade de a lâmpada ficar o maior tempo acesa no primeiro caso, podendo assim ocorrer um consumo maior de energia. Em relação à norma brasileira em consulta pública, ocorre o contrário.

3.3.5 Tipos de controle de iluminação pública

Os tipos de controle de iluminação pública aplicados no Brasil são: comando individual, comando em grupo e sistema inteligente de controle.

¹³ A norma americana denomina o relé fotocontrolador de *photocontrol*.

No primeiro caso, o relé fotocontrolador controla o liga e desliga de uma só lâmpada, estando sempre energizado e conectado à rede, sendo a maneira mais econômica de se ligar a IP.

Já no segundo tipo, o comando é realizado em duas ou mais lâmpadas.

Conforme menciona o site da empresa Exatron (EXATRON, 2015):

A Chave Comando de Grupo é utilizada para o controle de potência em redes de iluminação, é acionada por um relé fotoelétrico ou relé fotimer e pode ser usada em iluminação de vias públicas, jardins, clubes, condomínios, praças, quadras esportivas, estacionamentos e luminosos. Possui contatos do tipo NA e deve ser utilizada com relé fotoelétrico que liga à noite ou relé fotimer. A chave com contato NF deve ser utilizada somente com relé fotoelétrico que liga durante o dia.

A Figura 3.7e a Figura 3.8 mostram, respectivamente, a chave magnética e o seu invólucro, onde está alojada.



Figura 3.7 - Chave magnética

Fonte: Rosito (2013)



Figura 3.8 - Chave magnética no invólucro

Fonte: All-biz (2014)

A respeito do sistema inteligente de controle, esse tipo, também denominado de telegestão de IP, está implantado em algumas cidades brasileiras, destacando-se o Porto Maravilha no Rio de Janeiro (ROSITO, 2013).

A empresa Schröder, em seu portal (SCHRÉDER, 2015), cita que:

Os sistemas de telegestão são ferramentas usadas para gerir, controlar e monitorar redes de iluminação pública. Estes sistemas de telecomunicações permitem gerir remota e individualmente as luminárias fazendo pleno uso dos seus parâmetros operacionais e oferecem novas maneiras de lidar com o uso eficiente da energia para iluminação pública.

Os sistemas de telegestão mais aplicados são aqueles que trabalham através de portadora de corrente (Power Line Carrier- PLC) e de radiofrequência (BRANCO, 2010). No primeiro modelo, são utilizados os cabos da própria rede elétrica em que são ligadas as luminárias, para realizar a comunicação com o centro de controle, utilizando modulações de onda a uma determinada frequência. No segundo, a comunicação é feita através de uma rede *wireless* (NOGUEIRA *et al.*, 2014). A Figura 3.9 mostra o sistema de telegestão.

Entre as vantagens desse sistema, destaca-se a dimerização¹⁴, que pode diminuir a poluição luminosa¹⁵ e aumentar a vida útil da luminária LED, além de proporcionar menor consumo de energia elétrica no horário de menor tráfego e pedestre. Tem como desvantagem que o custo da implantação desse sistema aumentaria com a implantação dos LEDs. Se for bem projetado, a redução do consumo de energia e a menor necessidade de manutenção podem amortizar o investimento, ao menos, dentro da vida útil das luminárias LED (SANTOS, 2011). No caso das lâmpadas de descarga, é necessária a utilização de um reator eletrônico para dimerizá-las.



Figura 3.9 - Sistema inteligente de controle

Fonte: Rosito (2013)

¹⁴ Dimerização - utilização do dímer. Este dispositivo permite a variação do fluxo luminoso da lâmpada.

¹⁵ Poluição luminosa - Toda a iluminação artificial utilizada de modo excessivo e inapropriado para o seu objetivo provoca a chamada poluição luminosa. Disponível em <http://www.lna.br/lp/index.html>. Acesso em 15 fev 2016.

3.3.6 Modo e relação de operação

Nesta seção são definidos os modos de operação do relé, liga e desliga, e em função dos mesmos, são definidas a relação normal e inversa.

Quanto ao modo de operação:

Classifica-se o modo de operação do relé fotocontrolador em normal quando liga a carga durante a noite (LN). Denomina-se inverso (LD) quando liga a carga durante o dia, ou seja, liga ao clarear e desliga ao escurecer. Quando não especificado o relé fotocontrolador inverso, subentende-se que o relé fotocontrolador opera de modo normal ligando a carga durante a noite (ABNT NBR 5123, em consulta pública). Uma chave de comando em grupo com contato NF deve ser utilizada somente com o relé fotocontrolador que liga durante o dia (EXATRON, 2015).

Quanto à relação de operação:

O nível liga e desliga é o nível de iluminação em lux no qual a carga é, respectivamente, energizada e desenergizada. Na relação normal (RN), o nível liga é menor do que o nível desliga. Já na relação inversa (RI) o nível liga é maior do que o desliga (ABNT NBR 5123, em consulta pública).

Os relés térmicos e eletromagnéticos, especificados para operar em uma única tensão, monotensão, apresentam RN com o valor mínimo 1,2. No caso dos relés eletrônicos (multitensão, monotensão e temporizado), o relé com nível de operação normal, RN, e o relé com nível de operação inversa, RI, ambos apresentam a mesma faixa de variação da relação: (1,5 a 3,0). Portanto, ocorre uma atuação inversa de carga e relação inversa dos níveis de iluminação. Na iluminação de ruas, praças, etc., em que o nível de operação liga é menor do que o desliga, tem-se a RN, e, no caso dos túneis, em que o nível de operação liga é maior do que o desliga, tem-se a RI.

Os valores dos níveis de operação liga e desliga variam, ocasionando, também, a variação da relação, influenciando no consumo da carga (lâmpada). A norma americana IESNA DG-13-98 avalia estes parâmetros em função do tipo de sensor, latitude e condições ambientais, o que não ocorre com a ABNT NBR 5123.

3.3.7 Retardo de operação

Conforme a ABNT NBR 5123, em consulta pública, "retardo de operação - tempo decorrido entre a mudança abrupta do nível de iluminamento e a troca de estado da carga."

É uma característica praticamente obrigatória no controle das lâmpadas de descarga, uma vez que variações luminosas bruscas e indesejáveis, como faróis de carros, raios, etc., podem fazer com que o relé desligue a lâmpada, que demora de 10 a 15 minutos para voltar a acender. O retardo de operação ajuda também a preservar a vida útil das lâmpadas, visto que evita o acender e apagar constante (STIELETRÔNICA, 2013). Esse tempo deve ser medido em segundos entre o ligar ou desligar instantâneo de uma fonte de luz e a respectiva resposta do relé fotocontrolador ligando ou desligando a carga.

A medição deve ser executada na tensão nominal única ou a mais usual, e o fluxo luminoso deve variar conforme a Tabela 3.2, nível de iluminamento máximo e mínimo.

Os valores de retardo para o liga e desliga podem diferir entre si, devendo ser utilizado o de maior valor, conforme a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Retardo de operação

Código	Categoria de retardo	tr - tempo de retardo (s)
AI	Ação instantânea (sem retardo)	$tr < 0,5$
AR	Ação rápida (retardo curto)	$0,5 < tr < 5$
AL	Ação lenta (retardo longo)	$tr > 5$

Fonte: NBR 5123 (em consulta pública)

A ABNT NBR 5123 em consulta pública e a ANSI C.136.10 apresentam a mesma variação do tempo de retardo.

3.3.8 Consumo próprio

O consumo próprio do relé fotocontrolador é calculado em função do consumo do circuito de controle que faz o acionamento em função do fotossensor, e a resistência interna, na qual há a perda provocada pela corrente de carga.

Conforme a ABNT NBR 5123 em consulta pública:

Consumo elétrico em watts para período de 24 horas, obtido pela soma do consumo do circuito de controle mais a perda provocada na resistência interna pela corrente nominal de uma carga específica. Para fotocontroladores do tipo T1 a T3, devem ser considerados períodos de 12 horas ligados e 12 horas desligados; para os do tipo T4, o consumo é calculado considerando a proporção dos períodos ligado e desligado.

A Tabela 3.5 apresenta o consumo do circuito de controle e resistência interna do relé fotocontrolador (ABNT NBR 5123 em consulta pública).

Tabela 3.5 - Consumo do circuito e resistência interna

Relé fotocontrolador Tipo	Consumo do circuito (W)	Resistência interna (mΩ)
T1	≤ 2,00	≤ 80,00
T2, T3 e T4	≤ 1,00	≤ 64,00

Fonte: NBR 5123 (em consulta pública)

A norma americana IESNA DG-13-98 para fotocontroladores cita que as perdas dos fotocontroladores são pequenas, em média de 1 watt. Para controles simples, o valor é menor do que 0,1 W à noite e entre 1 e 2 W durante o dia. Já no controle eletrônico, varia de acordo com a constituição interna (IESNA DG-13-98).

A norma ABNT NBR 5123 não trata das perdas do relé fotocontrolador por mau funcionamento. Já a norma americana citada no parágrafo anterior apresenta uma metodologia para determinar o tempo em que as lâmpadas permanecem acesas durante um ano, levando em consideração o tempo fora da faixa de operação do relé fotocontrolador.

Trata-se de um método em que o monitoramento do fotocontrolador deve consistir de duas ou mais unidades conectadas a um sistema computacional que recebe e avalia os dados recebidos. Os fatores que influenciam no tempo anual em que as lâmpadas permanecem acesas incluem a latitude, ajuste do nível desliga e liga, a energia consumida fora do período normal de operação e condições atmosféricas, como nuvens, neblina, etc. (IESNA DG-13-98).

3.3.9 Especificação

O relé fotocontrolador deve ser especificado em função do módulo sensor, de potência, de proteção e da carcaça, aspectos esses que são descritos a seguir:

a) Módulo sensor

Segundo a ABNT NBR 5123 em consulta pública, “Fotodetector é o componente que apresenta variação de característica elétrica em função da luz.”

O fotodetector (FR) é constituído pelo fotossensor, que pode ser apresentado de dois modos: um único componente ou um sensor eletrônico. No primeiro modo, o elemento básico de funcionamento é o LDR (*Light Dependent Resistor* – “Resistor Dependente da Luz”), que é um componente eletrônico fotodetector (CdS-Sulfeto de Cádmio) com capacidade suficiente para acionar diretamente o módulo de potência (relé térmico ou magnético). No segundo, o módulo sensor eletrônico pode ser um fototransistor ou uma fotocélula, porém todos esses componentes são acoplados a um circuito eletrônico que apresenta muitos componentes. Este módulo sensor, por apresentar um número maior de componentes, tem maiores possibilidades de falha (STIELETRÔNICA, 2013).

O fotossensor influencia no consumo do relé fotocontrolador, e a sua seleção deve ser feita, entre outras, pelas condições geográficas e ambientais. Por exemplo, o relé que tem o tipo CdS pode ter os valores fora da faixa do nível de operação minimizados quando são conectados a um circuito eletrônico apropriado, levando ao menor consumo (IESNA DG-13-98).

b) Módulo de potência

Relé fotocontrolador térmico

Os relés térmicos são aqueles que operam com a deflexão de lâmina bimetálica (L), a qual é aquecida pela passagem de uma corrente elétrica por uma resistência específica (RA). A intensidade dessa corrente varia com a luminosidade percebida pelo fotodetector (FR), que é produzido com CdS (sulfeto de cádmio).

Na iluminação natural, a resistência do fotodetector diminui, facilitando a passagem da corrente elétrica pela resistência de aquecimento. Desta forma, a lâmina é aquecida e defletida com o calor, e o relé opera, abrindo os contatos da carga (lâmpada apagada). Conforme o fluxo

luminoso sobre o fotodetector vai diminuindo durante o dia, a corrente elétrica vai diminuindo em função do aumento da resistência do fotodetector, até um momento em que os contatos de carga se fecham: lâmpada acesa. Esse tipo de relé possui compensação de temperatura ambiente para operar com o mesmo nível de luminosidade, independentemente do período do ano (STIELETRÔNICA, 2013).

A operação do relé fotocontrolador térmico é realizada sem vibração, isto é, não possui posição mecânica instável e não vibra, porque o sistema mecânico de operação deste relé só permite duas posições, aberta ou fechada, não possuindo posição intermediária, o que ocorre com o relé magnético (STIELETRÔNICA, 2013).

A Figura 3.10 e a Figura 3.11 mostram, respectivamente, o esquema do circuito elétrico de um relé fotocontrolador térmico e a vista interna do mesmo. No circuito elétrico: C - condutor controle; F - condutor fase; N - condutor neutro; E - contato elétrico.

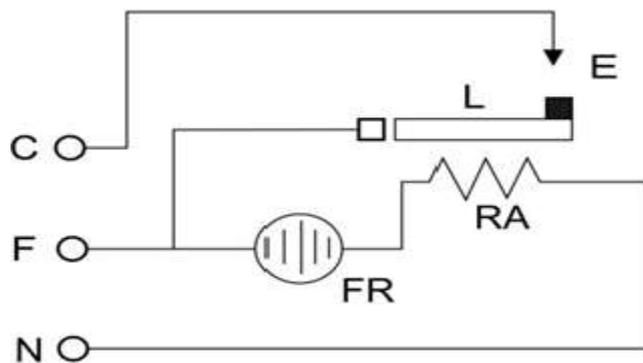


Figura 3.10 - Circuito elétrico do relé fotocontrolador térmico

Fonte: Elaboração própria



Figura 3.11 - Vista interna do relé fotocontrolador térmico

Fonte: Pflieger (2015)

Relé fotocontrolador magnético AC

Os relés magnéticos são aqueles que operam em corrente alternada (AC) através de força magnética de atração, em que abre e fecha os contatos de um relé eletromecânico. A Figura 3.12 e a Figura 3.13 mostram, respectivamente, o esquema do circuito elétrico de um relé fotocontrolador e a vista interna do mesmo. No circuito elétrico, C, F, N e E representam os mesmos itens do esquema de relé térmico, sendo que A representa armadura.

A força de atração surge mediante a corrente que circula por uma bobina (L), criando um campo magnético. A referida força é monitorada por um fotodetector (FR) em função da luminosidade ambiente, em oposição a uma força fixa de uma mola que tem a finalidade de manter os contatos do relé abertos ou fechados. Quando o FR recebe luz, sua resistência diminui, possibilitando a passagem da corrente através da bobina (L) do relé e promovendo a abertura do contato (E): lâmpada apagada. Conforme a luminosidade vai diminuindo, a resistência do FR vai aumentando até um ponto que para a circulação de corrente na bobina, ocorrendo a interrupção do campo magnético, acarretando o fechamento do contato: lâmpada acesa (STIELETRÔNICA, 2013).

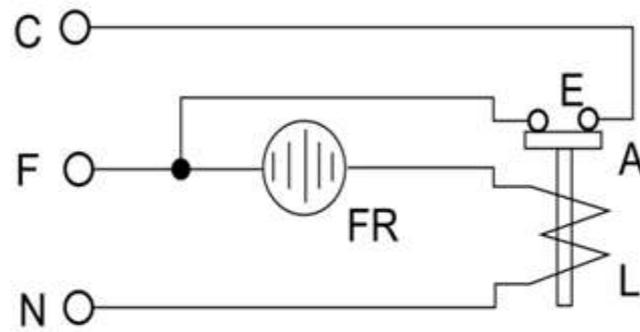


Figura 3.12 - Circuito elétrico do relé fotocontrolador magnético

Fonte: Elaboração própria

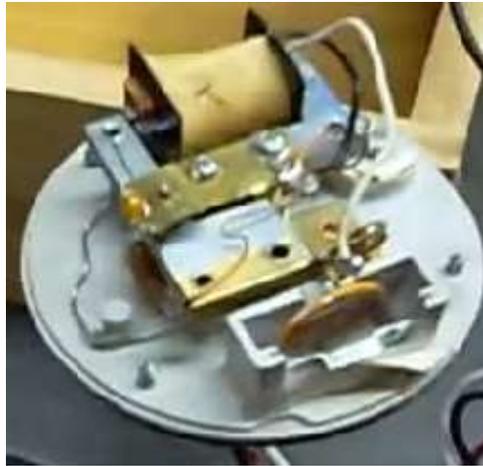


Figura 3.13 - Vista interna do relé fotocontrolador magnético

Fonte: Pflieger (2015)

Há um momento durante o anoitecer e o alvorecer em que as duas forças em questão se igualam com o mesmo valor e se contrapõem, criando neste momento de operação do relé uma instabilidade mecânica entre as referidas forças, favorecendo a vibração do relé magnético AC. Esta vibração é altamente prejudicial ao relé, bem como para a lâmpada de descarga comandada pelo mesmo, acarretando a prematura destruição dos contatos e a diminuição da vida útil da lâmpada. (STIELETRÔNICA, 2013).

Relé fotocontrolador eletrônico

É aquele relacionado com componentes eletrônicos tais como: transistores, tiristores, fototransistores, etc. É considerado 100% eletrônico quando se utiliza o componente tiristor. Neste caso, não há componentes mecânicos, contatos ou peças móveis, sendo um relé

totalmente em estado sólido, possuindo também a única tecnologia de relé fotocontrolador que comuta a carga pelo zero da curva de corrente, característica exclusiva dos tiristores (STIELETRÔNICA, 2013). No circuito elétrico, temos os seguintes itens: C, F, N, E e A, os mesmos do relé eletromagnético.

A Figura 3.14 e a Figura 3.15 mostram, respectivamente, o circuito elétrico e a vista interna de um relé fotocontrolador eletrônico com controle de carga através de um relé eletromecânico.

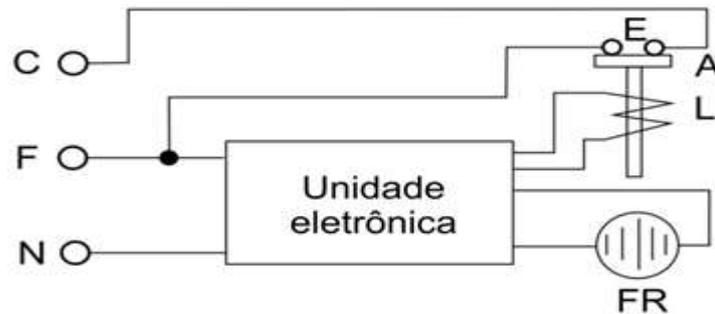


Figura 3.14 - Circuito elétrico do relé fotocontrolador eletrônico

Fonte: Elaboração própria

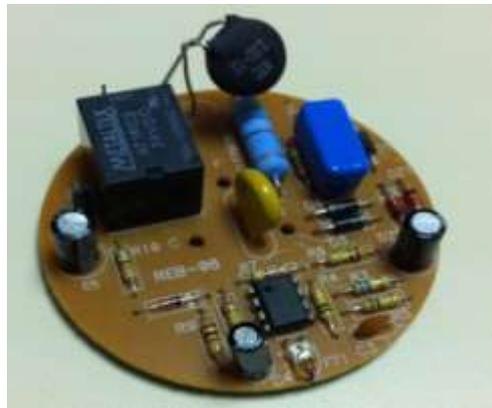


Figura 3.15 - Vista interna do relé fotocontrolador eletrônico

Fonte: Elaboração própria

A Figura 3.16, a Figura 3.17 e a Figura 3.18 mostram, respectivamente, um relé fotocontrolador 100% eletrônico, um relé fotocontrolador termoeletrônico e um relé fotocontrolador eletrônico temporizado. Com relação ao segundo, a iluminação aciona o sistema de controle, acionando digitalmente o reostato.



Figura 3.16 - relé fotocontrolador eletrônico

Fonte: Rosito (2013)



Figura 3.17 - Relé fotocontrolador termoeletrônico

Fonte: Rosito (2013)



Figura 3.18 - Relé fotocontrolador eletrônico temporizado

Fonte: Margirius (2015)

O relé fotocontrolador eletrônico apresenta como vantagens: menor corrente de partida da maioria das cargas, proporcionando o aumento da vida útil dos componentes de IP; suporta grandes variações de tensão sem alterar as suas características ou da carga; evita o

desligamento por iluminação indesejada e ligação indevida por falta de iluminação instantânea (ROSITO, 2013).

Outras características do módulo de potência

Contatos normalmente fechados (NF) e normalmente abertos (NA)

Os contatos dos relés fotocontroladores normalmente fechados são aqueles utilizados para comando individual de luminárias, e os normalmente abertos são utilizados para comandar as bobinas das chaves de IP, as quais possuem seus contatos para comutar a carga normalmente fechado (PORTAL ELETRICISTA, 2014).

Modos de falha

- Relé fotocontrolador falha desligado

Conforme a ABNT NBR 5123 (em consulta pública): “Relé fotocontrolador em que a carga tende a permanecer desligada quando ocorre falha. Não apresenta continuidade elétrica entre os contatos fase e carga quando desenergizado.”

Os contatos ficam abertos, e a lâmpada permanece apagada. Nesse caso, a lâmpada ficará apagada dia e noite até ser providenciada a manutenção. É uma situação aceitável no que se refere à conservação da energia, no entanto, compromete a segurança da população.

- Relé fotocontrolador falha ligado

Conforme a ABNT NBR 5123 (em consulta pública): “Relé fotocontrolador em que a carga tende a permanecer ligada quando ocorre falha. Apresenta continuidade elétrica entre os contatos fase e carga quando desenergizado.” Nessa situação, ocorre o desperdício de energia devido à lâmpada permanecer acesa durante o dia.

c) Módulo de proteção

Os relés fotocontroladores são montados junto às linhas de distribuição, portanto, estão sujeitos aos problemas que ocorrem na rede. Há dois tipos de proteção:

1- Proteção contra surtos de tensão

Esses surtos são provenientes de manobras ou descargas atmosféricas, podendo, a partir de determinada intensidade, afetar os componentes dos relés fotocontroladores, como aqueles com módulo sensor eletrônico com baixa capacidade de resistência aos picos de tensão. A proteção pode ser realizada por meio de para-raios do tipo centelhadores, que podem ser abertos ou

encapsulados, centelhadores a gás ou por varistores (STIELETRÔNICA, 2013). A especificação dos para-raios ou varistores deve ser definida por:

a- Tensão de disparo do módulo do protetor:

Essa tensão deve ter um valor de ruptura inferior ao valor de tensão de ruptura de cada componente, garantindo que o para-raio ou varistor protegerá o relé fotocontrolador antes da destruição do componente;

b- Capacidade do protetor em absorver a energia gerada pelas correntes causadas pelo surto de tensão.

2 - Proteção contra corrente de partida

As lâmpadas de descarga para IP necessitam de reator, ignitor e capacitor para a sua partida. A descarga do capacitor em muitas situações gera um pico de corrente de partida, atingindo até 3000 A, podendo levar ao colamento e/ou soldagem dos contatos. Em alguns casos, é especificado o uso do relé fotocontrolador com um sensor eletrônico como módulo de potência, um relé magnético de CC, que realiza a comutação da carga pelo zero da tensão. No entanto, é a corrente elétrica que destrói os contatos, não adiantando especificar a comutação pelo zero de tensão, pois não soluciona por si só a colagem dos contatos. É utilizada como solução a aplicação de tiristores que comutam a carga pelo zero de corrente ou a proteção dos contatos através de componentes eletrônicos que protegem contra picos de partida (STIELETRÔNICA, 2013).

No capítulo a respeito de estudos sobre relés fotocontroladores (capítulo 5) será mostrado que, no circuito de carga do relé, há perda que varia em função da corrente de carga que circula nos contatos do relé eletromecânico interno.

d) Carcaça

A carcaça é o invólucro externo do relé fotocontrolador, que contém a tampa (Figura 3.19), a base de montagem (Figura 3.20), bem como as lâminas dos contatos que são plugadas na tomada.

A sua função é proteger o relé do meio ambiente, possibilitar seu manuseio seguro na instalação e manutenção, fazendo a conexão através de sua tomada com a rede elétrica. É fabricada por material resistente que suporta impactos mecânicos e tem resistência às radiações UV existentes nos raios solares (STIELETRÔNICA, 2013).

Em relação aos contatos de encaixe do relé na tomada, estes devem ser produzidos com material não ferroso e estanhado para suportar ação do tempo sem oxidação.



Figura 3.19 - Tampa

Fonte: Elaboração própria



Figura 3.20 - Base de montagem

Fonte: Elaboração própria

3.3.10 Tipos de defeitos

A utilização de componentes que não são de boa qualidade na composição do relé fotocontrolador, não considerando em determinados casos o fator temperatura, vem provocando o aumento do índice de defeitos deste componente na IP. A calibração inadequada do ponto de ligar e desligar é um tipo de defeito no processo de fabricação, bem como montagem indevida do núcleo ferromagnético, ficando solto, e rebite da solda sem firmeza onde necessário.

Quanto às falhas no campo, podemos citar: entrada de água devido à instalação do relé em posição incorreta; queima de fotorresistor devido ao tempo de uso; proteção insuficiente para suportar tensões induzidas na rede por descargas atmosféricas, levando à queima da bobina, colamento dos contatos deixando o relé sempre ligado; rompimento da cordoalha (fusível de proteção) quando ocorre uma variação brusca de tensão na rede (EXATRON, 2015).

4 Instrumentos de Promoção da Eficiência Energética de Equipamentos de Iluminação Pública

Os mecanismos de sustentabilidade e as preocupações em relação ao aquecimento global têm levado à ampliação global dos programas de eficiência energética e de conservação de energia. Neste capítulo, são apresentados alguns instrumentos de promoção da eficiência energética no Brasil e no exterior em equipamentos de IP.

4.1 Brasil

As principais iniciativas brasileiras que visam à eficiência energética, por ordem de criação, descritos a seguir, são: o Programa Brasileiro de Etiquetagem, o Selo Procel de Economia de Energia e a Lei da Eficiência Energética (Lei 10.295/2001).

4.1.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), de responsabilidade do Inmetro, é um programa de avaliação da conformidade de equipamentos com foco no seu desempenho, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil através da prestação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional (INMETRO, 2014).

Este programa contribui para a efetivação da Lei da Eficiência Energética, avaliando e apresentando os desempenhos dos produtos, por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A Ence foi estabelecida em dois formatos distintos, dependendo do tipo de programa de etiquetagem envolvido, ou seja, para classificação em níveis de eficiência energética, conforme será visto na Figura 4.1, ou formato “passa ou não passa” (Figura 4.2), no qual o equipamento só é etiquetado se cumprir uma exigência mínima de desempenho (INMETRO, 2014).



Figura 4.1 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence)

Fonte: Inmetro (2014)

LOGOMARCA E INFORMAÇÕES DO FORNECEDOR DO PRODUTO	
MODELO:	
NÚMERO DE SÉRIE: XX YY Zz CCCC MAAA	DATA FABRICAÇÃO:
VOLUME (L)	PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO: (kPa) (inca)
POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)
CORRENTE (A)	FREQUÊNCIA (Hz)
DISJUNTOR (A)	GRAU DE PROTEÇÃO IP24
SEÇÃO TRANSVERSAL MÍNIMA DOS CONDUTORES DE ALIMENTAÇÃO (mm²)	OUTRAS INFORMAÇÕES
Regulamento Específico para Sistemas e Equipamentos para Abastecimento Solar de Água - RESP/005-SOL	
PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INMETRO	
ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM	

Figura 4.2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) - Logomarca

Fonte: Inmetro (2014)

Na área de IP, são etiquetadas as lâmpadas vapor de sódio e os reatores eletromagnéticos para essas lâmpadas.

4.1.2 Programa Nacional de Conservação de Energia - PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia - Procel foi instituído por meio da Portaria Interministerial Nº 1877, de 30 de dezembro de 1985, pelos Ministérios de Minas e Energia e

da Indústria e Comércio, sendo transformado em programa de governo em 1991. Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e gerido por uma Secretaria-Executiva subordinada à Eletrobras, este programa vem promovendo há 30 anos a conservação de energia e a eficiência energética.

O Selo Procel de Economia de Energia (Figura 4.3) foi instituído em 1993 pelo Governo Federal com a finalidade de ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor identificar os equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes à disposição no mercado, além de induzir o desenvolvimento e aprimoramento tecnológico de tais produtos. A gestão do programa é realizada pela Eletrobras em parceria com o Inmetro, no âmbito do PBE (PROCEL, 2014b).



Figura 4.3 - Selo Procel de Economia de energia

Fonte: Procel (2015)

O Selo Procel, por ser um instrumento de endosso, auxilia o consumidor a encontrar no mercado os equipamentos mais eficientes. Atualmente, fazem parte do portfólio do Selo Procel 39 categorias de equipamentos, destacando-se alguns já contemplados na Lei de Eficiência Energética, como as lâmpadas fluorescentes compactas, os motores elétricos trifásicos e os refrigeradores, por exemplo (PROCEL, 2015).

Quanto aos componentes de IP, apresentam o Selo Procel: lâmpadas a vapor de sódio e reatores eletromagnéticos para essas lâmpadas.

4.1.3 Lei da Eficiência Energética (Lei 10.295/2001)

Promulgada em 17 de outubro de 2001, a Lei da Eficiência Energética estabelece as condições para que o poder executivo defina os níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, com base em indicadores técnicos pertinentes (BRASIL, 2001).

Para regulamentar a lei, definindo-se os níveis de eficiência energética a que os equipamentos devem obedecer, foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE por meio do Decreto 4.059/2001 (BRASIL, 2001).

Formam este comitê: os Ministérios de Minas e Energia (MME), da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), além das agências ANEEL e ANP, um representante da universidade e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em energia.

No que se refere à IP, estão regulamentados os reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio e a vapor metálico.

4.2 Exemplos no mundo

Nesta seção foram selecionados alguns países que adotam medidas para promover a eficiência energética.

4.2.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, destaca-se o *Energy Star*, que foi criado pelo *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) (ENERGY STAR, 2014).

Programa *Energy Star*

É um programa voluntário que identifica e promove a eficiência energética em produtos e prédios com o propósito de reduzir o consumo de energia (ENERGY STAR, 2014). A Figura 4.4 mostra o Selo *Energy Star*.

Segundo Alves (2007), “É um programa de etiquetagem energética que objetiva o aumento da penetração nos mercados residencial e comercial de produtos eficientes.”

No que se refere à IP, *The U.S Department of Energy* (DOE) iniciou em 2008 o processo de criação de padrões para Certificação *Energy Star* para iluminação, incluindo as luminárias LED (ENERGY STAR, 2014).



Figura 4.4 - Selo *Energy Star*

Fonte: *Energy Star* (2014)

A *Canadian Standards Association* (CSA), autorizada pelo DOE e acreditada pelo *The U. S. Occupational Safety and Health Administration*, vem executando serviços de verificação da eficiência energética e certificação de produtos para o *Energy Star*. A CSA certifica produtos que incluem padrões escritos e administrados pelo *The American National Standards Institute* (ANSI), *Underwriters Laboratories* (UL), *CSA Group* (CSA), *NSF International* (NSF), outras instituições americanas e outras organizações internacionais.

A Figura 4.5 mostra um relé fotocontrolador certificado pelo CSA.



Figura 4.5 - Certificação do fotocontrolador

Fonte: Pmcontrols (2014)

A certificação de um produto, que é uma das formas de avaliação da conformidade, é um processo que envolve ações como: seleção da norma ou regulamento que será usado na avaliação; coleta de amostras diretamente da linha de produção; realização de ensaios por um organismo acreditado para a realização dos mesmos; inspeções para verificar os processos utilizados na fabricação; auditorias no sistema de qualidade do fornecedor com o propósito de renovar periodicamente a certificação; e avaliação e acompanhamento do produto no mercado para verificar a continuação do processo no decorrer do tempo. Um relé fotocontrolador que apresenta o selo de certificação é um produto que foi devidamente acompanhado e avaliado, apresenta grau de segurança, pois atende a requisitos de sua norma. Portanto, apresenta um ganho energético verdadeiro.

4.2.2 México

No que se refere ao México, apresentam-se abaixo as iniciativas: *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica* (FIDE) e *Comision Nacional para el Uso Eficiente de la Energía* (CONUEE).

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

O FIDE é uma associação privada, sem fins lucrativos, criada em 1990 por iniciativa da *Comision Federal de Electricidad* (CFE) e com o apoio do *Programa de Ahorro de Energía Eléctrica*. Tem como objetivo promover ações de economia e uso eficiente de energia elétrica na classe residencial, industrial, comercial, etc. (FIDE, 2014).

O Selo FIDE, que é um programa voluntário de junho de 1992, é um distintivo concedido aos produtos que incidem direta ou diretamente sobre a economia de energia (FIDE, 2014).

Em relação à IP, as luminárias, lâmpadas e reatores possuem o Selo FIDE (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Selo FIDE

Fonte: FIDE (2014)

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

A *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía* (Conuee) é um órgão administrativo descentralizado da Secretaria de Energia que foi criada através da Lei para o Aproveitamento Sustentável da Energia, com a missão de promover o aproveitamento sustentável de energia, mediante a adoção de medidas e de melhores práticas para o uso eficiente da energia em diferentes setores da economia e para a população (CONUEE, 2014).

Entre os programas do referido órgão, destacam-se os setores que atendem a estados e municípios, orientando o desenvolvimento de capacidades institucionais para a identificação, análise e instrumentação de programas, projetos e ações em matéria de eficiência energética. A Conuee é um dos órgãos apoiadores do *Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal* (CONUEE, 2014).

Os sistemas de IP a serem instalados (lâmpadas, reatores e luminárias) contam com a certificação de cumprimentos das normas mexicanas vigentes. Como exemplo, a *Certificación Federal de Electricidad* certifica o reator eletrônico para lâmpada vapor de sódio para alta pressão (CONUEE, 2014).

4.2.3 União Europeia

A redução do consumo de energia e prevenção do desperdício energético são dois dos grandes objetivos da União Europeia (UE). Ao proporcionar a melhoria da eficácia energética, a UE

contribuiu de forma decisiva para a competitividade, a segurança do abastecimento e o respeito dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto sobre as alterações climáticas (SANTOS, 2012).

A Diretoria Geral de Energia e Transporte da Comissão Europeia desenvolveu o programa *GreenLight Programme*, direcionado ao setor público e privado, que é um programa voluntário com a finalidade de promover a instalação de tecnologias eficientes na área de iluminação. Trata da iluminação interna e externa, destacando-se na IP, lâmpadas e luminárias (TRENEV; BERTOLDI, 2014). A Figura 4.7 mostra a logomarca *GreenLight*.



Figura 4.7 – Logomarca do programa GreenLight

Fonte: Trenev e Bertoldi, 2014

4.2.4 China

A China já é a segunda economia mundial, e como tal é uma das maiores produtoras e consumidoras de equipamentos elétricos. Nos últimos anos vem dedicando-se mais à eficiência energética, à conservação de energia e questões do meio ambiente.

A seguir, é apresentada a descrição de um programa e uma instituição do país que tratam da eficiência energética e da conservação de energia.

China Energy Conservation Program

O programa *China Energy Conservation Program* (CECP, 2014), Figura 4.8, é uma organização sem fins lucrativos que tem como objetivo promover a economia de energia e a redução das emissões, estimulando os fabricantes a produzir produtos mais eficientes, ajudando os consumidores a tomar decisões mais sustentáveis. É responsável pela organização,

implementação e gerenciamento de certificação para produtos econômicos e ambientalmente corretos, sob a liderança do *China Compulsory Certification* (CECP, 2014)

A iluminação é uma das áreas de produtos certificados, destacando-se na IP as lâmpadas de alta pressão de vapor de sódio, vapor metálico e respectivos reatores (CECP, 2014).



Figura 4.8 – Logomarca do *China Energy Conservation Program*

Fonte: CECP (2014)

China Energy Label Center

O *China Energy Label Center* (CELC) é uma instituição pública chinesa, componente do *China National Institute of Standardization* (CNIS), fundada em 2006. O seu programa de etiquetagem possui em torno de 25 categorias, incluindo aplicações residenciais, de escritórios, industriais e de iluminação. Na área de IP, destacam-se as lâmpadas de alta pressão de vapor de sódio e as luminárias (CELC, 2014). A Figura 4.9 mostra a etiqueta utilizada nesse programa.



Figura 4.9 – Etiqueta do *China Energy Label Center*

Fonte: CELC (2014)

5 Estudos sobre Relés Fotocontroladores.

Neste capítulo, são mostrados primeiramente dois estudos realizados pela Eletrobras/Procel com parcerias, os quais tratam dos componentes da IP, sendo que o segundo aborda exclusivamente o relé fotocontrolador. Na sequência, são apresentados outros trabalhos que focam outros fatores que influenciam no nível de operação deste importante elemento: posição do Sol, latitude, tipos de céu, obstruções e o fator sazonalidade devido às condições climáticas. Finalizando, serão tecidas considerações sobre estes estudos.

5.1 Avaliação do Sistema de Iluminação Pública do Procel Reluz

Em 2006, a Eletrobras/Procel e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) firmaram uma parceria para avaliar alguns dos sistemas de IP do país, modernizados entre os anos de 2001 e 2003, com o intuito de identificar o nível de perenização dos projetos financiados pela Eletrobras, no âmbito do Procel Reluz.

Ao longo das atividades foram verificados alguns itens, tais como a adequação dos equipamentos em uso, os ganhos pós-execução dos projetos, além dos energéticos e luminotécnicos e a percepção da população com a melhoria dos sistemas (THEISEN *et al.*, 2013).

O projeto teve a duração de quatro anos, sob a coordenação da Eletrobras/Procel e a execução pela PUCRS. As atividades tiveram três linhas de ações: avaliação dos sistemas de IP financiados pelo Procel Reluz no Rio Grande do Sul; verificação dos ganhos pós-implantação de sistemas eficientes de iluminação; e estudo de comprovação da vida útil das lâmpadas a vapor de sódio, declarada pelos fabricantes (THEISEN *et al.*, 2013).

Na primeira linha de ação na qual foram avaliados os relés fotocontroladores, foi selecionada para o estudo uma amostra de 200 pontos de IP divididos entre sete cidades, sendo adotada uma metodologia estabelecida pelas equipes da Eletrobras/Procel e PUCRS. Foram coletados e analisados 187 relés, seguindo os critérios exigidos da norma NBR 5123/98, chegando-se ao seguinte diagnóstico: desse total, 71% não atendiam a referida norma, 25,8% sim e 3,2% não funcionaram, conforme será apresentado na Figura 5.1.

No laboratório foram identificados os relés que não atendiam a referida norma e estimado que estes mantinham as lâmpadas acesas em média 27 minutos além do necessário. Mediante este resultado, foi feita uma simulação, por potência de lâmpada, do consumo incremental de

energia mensal em função do problema de ajuste em sensibilidade do relé, quando o ponto de IP permanece por um período diário de 27 minutos superior ao determinado pela norma NBR 5123. A Tabela 5.1 apresenta os valores de consumo incremental de energia.



Figura 5.1 - Percentual do funcionamento de relés em relação à NBR 5123

Fonte: (Theisen *et al.* (2013))

Tabela 5.1 - Consumo incremental de energia mensal

Potência lâmpada (W)	70	100	150	250	400
Consumo incremental (Wh/mês)	945	1350	2025	3375	5400

Fonte: (Theisen *et al.* (2013))

Neste trabalho ficou evidente a necessidade de aperfeiçoamento dos equipamentos, notadamente o relé fotocontrolador. Desta forma, a Eletrobras/Procel solicitou ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia que este componente da IP fosse incluído no Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade (PBAC), coordenado pelo próprio Inmetro (plano de ação quadrienal 2012 a 2015).

5.2 Análise de Viabilidade e Impactos da Implementação de um Programa de Eficiência Energética para Relés Fotocontroladores.

Em função do diagnóstico sobre os relés fotocontroladores do estudo apresentado no item 5.1, a Eletrobras/Procel, com o apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por

meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), contratou a Testtech Laboratórios para desenvolver um estudo visando subsidiar a implantação de programa de conformidade dos fotocontroladores. Neste contexto, foram utilizados relés adquiridos no mercado, enquanto aqueles usados no estudo anterior foram recolhidos no sistema para análises.

O estudo partiu das seguintes premissas básicas: avaliação da funcionalidade dos produtos na situação real de campo, visto que há diferença em relação aos níveis de operação que constam no texto normativo; avaliação da durabilidade dos produtos no campo, por ocorrer divergência entre o que consta na norma e o que há em campo, no qual a vida útil é bem menor; critério de modo de falha, já que, sob o ponto de vista da eficiência energética, é desejado que nenhuma lâmpada fique acesa durante o dia em caso de falha do relé fotocontrolador (THEISEN; DAVID, 2013).

Este trabalho contemplou: enumeração das perdas energéticas; um método de ensaio proposto para determinação das mesmas; avaliação da eficiência energética; avaliação comparativa de critérios para a ENCE e o Selo Procel e a proposta de ensaio da vida acelerada para relé fotocontrolador eletrônico, apresentados a seguir (TESTTECH, 2012).

No estudo foi considerado a base de dados do parque de IP disponível na ocasião da pesquisa (2008), a ABNT NBR 5123(1998) (TESTTECH, 2012).

5.2.1 Perdas de energia introduzidas pelos relés fotocontroladores

O relé fotocontrolador apresenta as perdas próprias, em que são considerados os acionamentos com e sem carga, e aquelas que ocorrem devido ao seu mau funcionamento, sendo descritas abaixo:

a) Dia - sem acionamento da carga (fora de operação)

Nesse caso, somente o circuito de comando encontra-se em operação, e o consumo é próprio do relé fotocontrolador.

b) Noite - com acionamento da carga (em operação → 2 componentes)

- Consumo próprio do relé fotocontrolador, que faz o acionamento em função do fotossensor, com o circuito de carga fechado e o circuito de comando operando:
- Consumo do circuito de carga do relé fotocontrolador em que há perda em função da corrente de carga que circula pelos contatos do relé eletromecânico interno.

Este consumo é desprezível, variando de 3mW a 30mW, estando relacionado apenas à resistência de contato do relé fotocontrolador que comuta o circuito de carga. Ele atua como um interruptor fechado, e as perdas se resumem à qualidade dos contatos ou do circuito eletrônico que substitui os contatos.

Portanto, nenhum esforço tecnológico levaria a ganhos significativos sob o ponto de vista energético, quando se foca na redução das perdas inerentes deste componente da IP.

Os circuitos da Figura 5.2 e da Figura 5.3 mostram, respectivamente, o método utilizado para medição da energia consumida nos contatos do relé fotocontrolador, quando ocorre o acionamento da lâmpada, e o utilizado para a medição das perdas do circuito de comando do relé fotocontrolador. Neste segundo caso, é avaliado o consumo do circuito referente ao sensor do mesmo, quando ele está monitorando o nível de iluminação do ambiente estando a lâmpada apagada ou acesa, independentemente da carga controlada.

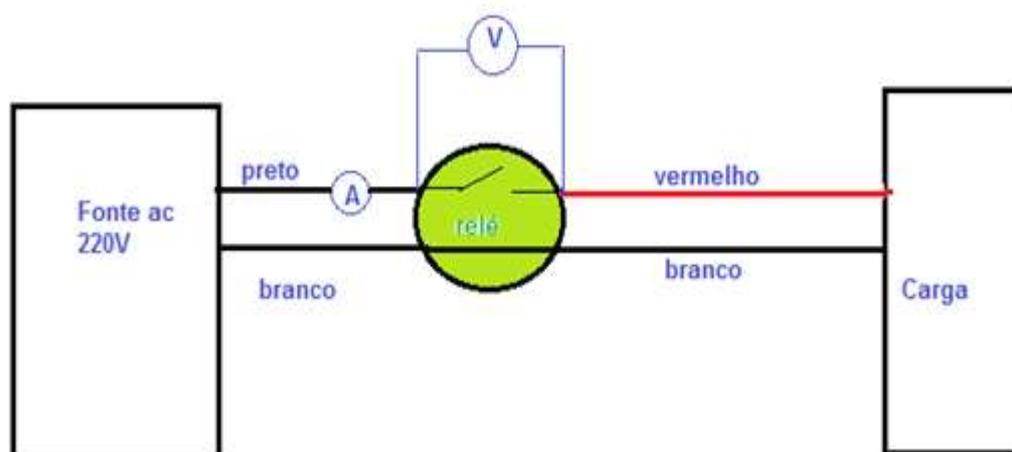


Figura 5.2 - Medição da energia consumida nos contatos do relé fotocontrolador

Fonte: Testtech (2012)

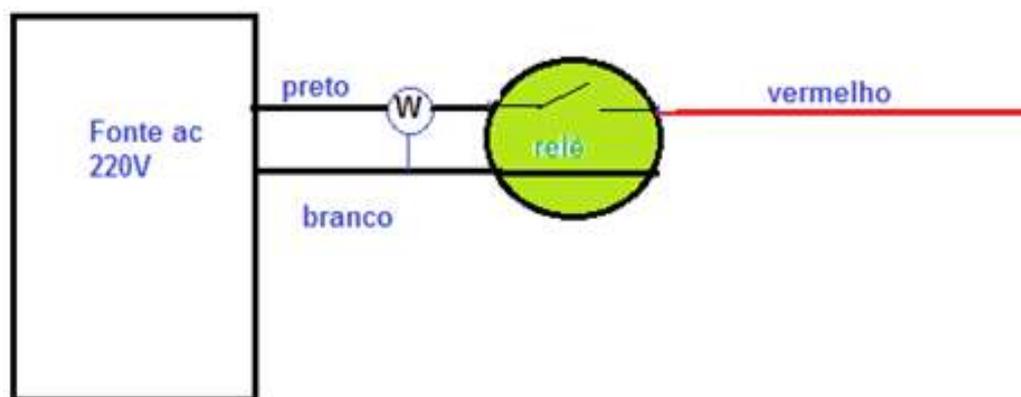


Figura 5.3 - Consumo do circuito referente ao sensor do relé fotocontrolador

Fonte: Testtech (2012)

c) Consumo devido ao mau funcionamento do relé fotocontrolador.

É o consumo de energia ocorrido quando o relé opera fora da faixa da NBR 5123. Acontece quando a lâmpada está acesa inadequadamente. Como exemplo, a Tabela 5.2 e a Tabela 5.3 apresentam algumas simulações que mostram as perdas por mau funcionamento, para o período diário de 6 minutos à 1h e por mês, respectivamente, por tipo de lâmpada.

Tabela 5.2 - Perdas de energia diária por mau funcionamento do relé

Potência Lâmpada (W)	(Wh)			
	6 min	15 min	30 min	1h
70	7	17,5	35	70
100	10	25	50	100
150	15	37,5	75	150
250	25	62,5	125	250
400	40	100	200	400

Fonte: Testtech (2012)

Tabela 5.3 - Perdas de energia por mau funcionamento do relé

Potência Lâmpada (W)	(kWh/mês)			
	6 min	15 min	30 min	1h
70	0,2	0,5	1,0	2,1
100	0,3	0,7	1,5	3,0
150	0,4	1,1	2,2	4,5
250	0,7	1,8	3,7	7,5
400	1,2	6,01	6,0	12,0

Fonte: Adaptado do Testtech (2012)

Este tópico mostra que: o consumo próprio do relé não é tão significativo em comparação com a potência da lâmpada por ele controlada, e a permanência da lâmpada acesa por um período superior ao estipulado pela norma ocasiona desperdício de energia, como é percebido nas tabelas 5.2 e 5.3.

5.2.2 Método de ensaio proposto para determinação das perdas do relé fotocontrolador

Para a realização dos ensaios, foram identificados 22 fabricantes e importadores ativos no mercado brasileiro, sendo selecionados, do total, 9 que correspondem a 80% do mercado. Foram incluídos, também, mais 3 fabricantes cujos modelos foram adquiridos após a verificação do mercado do Rio de Janeiro e Porto Alegre, dando um total de 12 fabricantes, sendo selecionado para os ensaios amostras de 10 fabricantes. Posteriormente, a pedido da Eletrobras, foram incluídos nos ensaios mais 3 modelos que foram enviados pela Cemig. Destes 3 modelos, 2 eram de origem dos Estados Unidos e o outro da China

O estudo teve um total de 15 modelos que permitiram concluir com grau de confiança quais são as perdas próprias dos relés comercializados, como também os seus níveis de funcionamento (TESTTECH, 2012). Foram consideradas no método a perda própria do relé e a perda pelo mau funcionamento.

5.2.2.1 Perdas do próprio relé fotocontrolador

O método considera que o equipamento esteja em operação durante todo o período de 24 horas, visto que há o envolvimento das características tecnológicas, isto é, o comportamento dos relés convencionais (térmicos) e dos eletrônicos é diferente no que se refere às perdas.

Quanto às condições de carga para avaliação das perdas, já foram citadas no item 5.21.

A potência consumida do relé fotocontrolador deve considerar as perdas diurnas e noturnas, ou seja, a perda total deste componente é a soma das potências consumidas durante o dia e à noite.

Conforme o art. 24 da Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010:

Art. 24. Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento. § 1o O tempo a ser considerado para consumo diário pode ser diferente do estabelecido no caput, após estudo realizado pelo consumidor e a distribuidora junto ao Observatório Nacional, devidamente aprovado pela ANEEL. (ANEEL, 2012)

Logo, a energia total diária será:

A energia total diária = $P_{diurna} \cdot 12h e 8m + P_{noturna} \cdot 11 h 52m$.

P_{diurna} = potência medida com o circuito de comando do fotocontrolador sendo exposto a um alto nível de iluminamento, simulando a situação diurna;

$P_{noturna}$ = potência medida com o circuito de comando do fotocontrolador sendo exposto a um baixo nível de iluminamento, simulando a situação noturna.

5.2.2.2 Perdas inerentes ao mau funcionamento do relé fotocontrolador

Com relação ao funcionamento ideal do relé fotocontrolador, alguns pontos importantes devem ser considerados na avaliação das perdas, como a dificuldade de reprodução em laboratórios as condições do espectro e a intensidade da luz natural, as limitações tecnológicas existentes para o desenvolvimento do controlador, a relação custo/benefício entre o investimento em um controle sofisticado e o ganho energético possível, etc. Quanto às condições do espectro, as suas variações ao longo do dia devem ser controladas pelo sensor do relé e sofrem a influência da poluição, nuvens, período do dia, etc. (TESTTECH, 2012).

Conforme relata a Testtech (2012):

As condições estabelecidas na norma atual são de que um relé é considerado “em conformidade” com os requisitos normativos, quando ele opera no espectro da lâmpada dicroica¹⁶ [...]

Assim, nesse momento pode-se considerar que as perdas inerentes ao mau funcionamento seriam aquelas resultantes da energia consumida fora do período compreendido por essas faixas de iluminação. Para transformar esse “mau funcionamento”, deve-se converter em um intervalo de tempo correspondente, a diferença do nível de iluminação encontrado para o funcionamento do relé no laboratório em um intervalo de tempo, considerando o seguinte comportamento, para os períodos do amanhecer e do anoitecer:

A Figura 5.4 e a Figura 5.5 foram utilizadas no trabalho para o estabelecimento de critério comparativo sobre o comportamento desses relés.

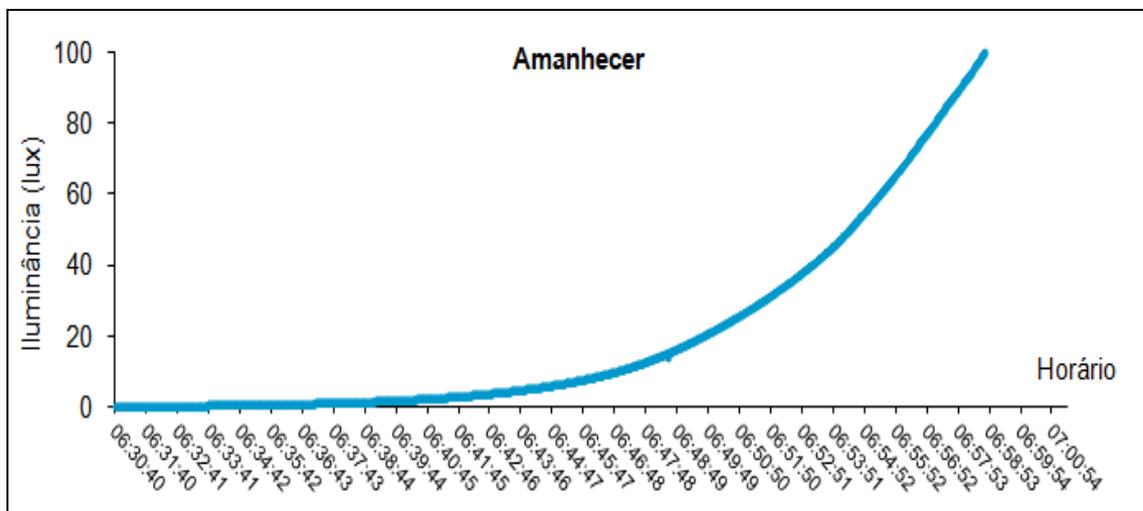


Figura 5.4 - Curva de nível de iluminação da luz natural no período do amanhecer

Fonte: CEIP (2007) *apud* Testtech (2012)

¹⁶ ABNT NBR 5123:1998 - Relé Fotoelétrico e Tomada para iluminação - Especificação e Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998. Anexo B

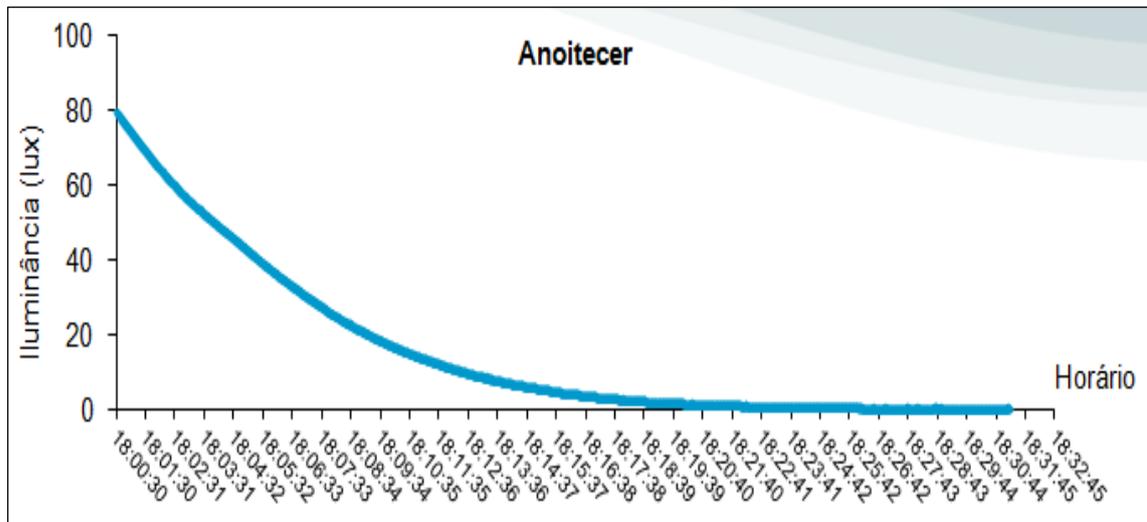


Figura 5.5 - Curva de nível de iluminamento da luz natural no período do anoitecer

Fonte: CEIP (2007) *apud* Testtech (2012)

Baseada nessas curvas, a Tabela 5.4 apresenta os valores típicos do tempo necessário para a mudança de um nível de iluminamento para outro, considerando o comportamento exponencial da intensidade luminosa em ambos os períodos.

Tabela 5.4 - Variação do nível de iluminância ao amanhecer e ao anoitecer

Nível de iluminância (Lux)	Amanhecer (minutos)	Anoitecer (minutos)
20 - 80	7	
20 - 40	3	
3 - 20	7	
80 - 30		6,5
30 - 10		5,5
10 - 3		6
80 - 3		18

Fonte: Adaptado do Testtech (2012)

Quando se convencionam os valores da Figura 5.4 e da Figura 5.5 como típicos, refere-se ao fato de tratar-se de um fenômeno natural; por conseguinte, é necessário ser estabelecido um comportamento médio e representativo da situação que se quer representar no estudo (TESTTECH, 2012).

5.2.3 Avaliação da eficiência energética do relé fotocontrolador

Considerando a metodologia apresentada no item 5.2.2, foi avaliada a eficiência energética em função das perdas próprias e os seus limites de funcionamento que permitiram extrapolar para as perdas energéticas associadas ao consumo da lâmpada fora dos limites normativos.

A tabela 5.5 apresenta os dados relativos às perdas dos relés durante o dia e a noite, onde seus comportamentos são distintos, dependendo da tecnologia empregada na sua construção.

Tabela 5.5 - Perdas de energia do relé fotocontrolador

Nº de ordem	Dia (aberto) W	Noite (fechado) W
1	0,36	0,40
2	1,41	0,03
3	0,83	0,81
4	0,11	0,42
5	0,93	0,91
6	1,01	0,05
7	0,40	0,42
8	0,32	0,36
9	0,47	0,48
10	0,26	0,18
11	0,79	0,63
12	0,74	0,72

Fonte: Testtech (2012)

Os itens 2, 3 e 6 da Tabela 5.5 são referentes aos relés fotocontroladores térmicos, e os demais, eletrônicos. Foi verificado que nos eletrônicos, onde não há o LDR, o consumo durante o dia e a noite são muito equivalentes e podem ser considerados iguais. Em relação aos convencionais, o consumo do circuito de comando à noite se reduz a um valor próximo de zero.

Foram ensaiadas algumas amostras de cada modelo dos 10 fabricantes inicialmente citados, e amostras dos modelos enviados pela Cemig. Com os dados de funcionamento de cada relé fotocontrolador, onde se identifica o nível de iluminação que o relé apaga a lâmpada (amanhecer) e o nível que ele a acende (anoitecer), foi avaliado o consumo energético de cada ponto de iluminação.

Segundo a Testtech (2012):

[...] Porém, como os atuais níveis normativos para esses momentos de acionamento não são os ideais, e ainda permitem muita discussão, foi estabelecido como critério comparativo o nível do melhor relé fotocontrolador, sendo considerada a referência. A partir deste funcionamento idealizado, seriam estabelecidos os desvios (perdas) energéticos que os demais modelos introduziriam no sistema.

O resultado final dos ensaios mostrou que de 12 fabricantes avaliados, incluindo os modelos de fabricantes enviados pela Cemig, somente 5 foram aprovados integralmente. Algumas amostras não puderam ser avaliadas pelo fato de o relé não ter operado. A Figura 5.6 mostra que 59% dos modelos avaliados foram reprovados.

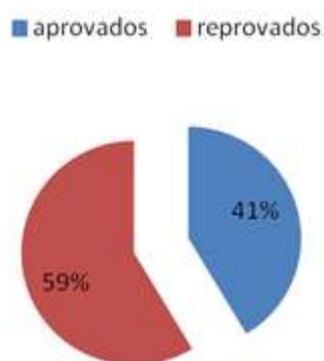


Figura 5.6 - Percentual de relés fotocontroladores aprovados e reprovados

Fonte: Testtech (2012)

5.2.4 Proposta para o processo de avaliação comparativa

Mediante a avaliação dos resultados dos ensaios, para efeito de eficiência energética, foi realizada a avaliação repetitiva comparativa ideal para que pudesse ser reproduzida por diversos laboratórios, apresentando também valores que representam a sua realidade de uso, fornecendo dados os mais próximos possíveis de aplicação em uso normal (TESTTECH, 2012).

Foram sugeridos então os critérios para o processo de avaliação comparativa, conforme a Tabela 5.6, para a concessão da Ence e do Selo Procel para os relés destinados à IP (TESTTECH, 2012).

Tabela 5.6 – Critérios: a Ence e o Selo Procel

	Norma NBR 5123	Perdas a vazio ***	Perdas com carga ***	Níveis de operação (Ligar)	Níveis de operação (Desligar)	Modo de falha
Ence	Na íntegra	Max 2,0W	Max 2,5W	5 a 15 lux**	Até 40 lux**	Desligado ou ligado
Selo Procel	Na íntegra*	Max 1,2W	Max 1,5W	5 a 10 lux	Até 20 lux	Desligado

Fonte: Testtech (2012)

*Exceto os valores mais rígidos apresentados nos critérios;

** A relação mínima deve ser de 1,2;

*** Circuito de medição com 3A resistivos em 220V.

Foi ainda proposto, para assegurar o funcionamento do relé fotocontrolador, um novo ensaio que foi sugerido na revisão da ABNT NBR 5123: vida acelerada (TESTTECH, 2012).

Esse ensaio consiste em colocar três amostras de relés fotocontroladores eletrônicos em uma estufa a uma temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$, alimentada em tensão nominal, sendo que os relés do tipo T2 devem ser ensaiados em 220 V. O tempo de duração do ensaio é de 1000 horas. Os relés devem ser conectados à carga (lâmpada) utilizada no ensaio de durabilidade, devendo permanecer por 12 horas com o contato aberto e 12 horas com o contato fechado. O controle deve ser realizado através de uma lâmpada no interior da estufa, que fará com que os relés troquem de estado. A Figura 5.7 mostra o esquema do ensaio de vida acelerada para o relé (TESTTECH 2012).

A verificação das características do equipamento deve ser feita através do ensaio de operação, antes e depois do ensaio da vida acelerada.

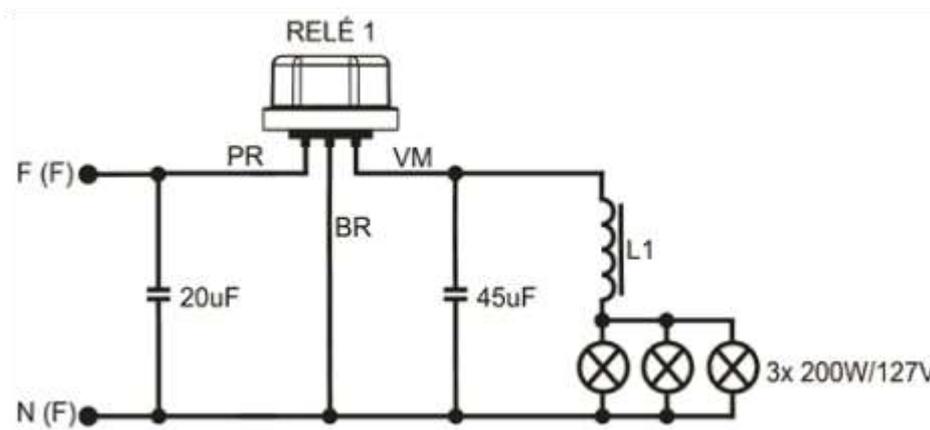


Figura 5.7 - Esquema do ensaio de vida acelerada para o relé eletrônico

Fonte: Testtech (2012)

Obs: PR = preto; VM = vermelho; BR =branco.

Entre as conclusões deste estudo, destacam-se:

- A obrigatoriedade de atendimento à norma técnica já representaria um ganho energético extraordinário, levando em conta que aproximadamente 50% dos pontos instalados no Brasil apresentam problemas com os níveis de operação, ocasionando a perda de energia;
- A falta da regulamentação impõe dificuldades para os fabricantes melhorarem os seus produtos, pois prevalece a aquisição do relé pelo preço.

Portanto, esse estudo ratifica a necessidade de inserir o relé fotocontrolador no Programa Brasileiro de Conformidade (PBAC), já recomendado no estudo anterior.

5.3 Outros Estudos

Neste item são citados trabalhos que tratam de fatores que influenciam no nível de iluminação na IP.

O olho humano é sensibilizado a partir de níveis de iluminação da ordem de 10 lux e cores acima de 1000 lux, sendo este intervalo de grande importância sob a ótica econômica e segurança pública. Segundo Martins, Pereira Longo (2004) no artigo “Níveis de iluminância do céu no alvorecer e no ocaso”, os baixos níveis de iluminação levam à necessidade de estabelecimento e implementação de normas baseadas em dados concretos e cientificamente embasados para a iluminação pública e controle de tráfego (terrestre, naval e aéreo).

No referido artigo, é mostrada uma metodologia que estima os baixos níveis de iluminância, sendo que os cálculos empregam a iluminância do céu, sem nebulosidade¹⁷, em função do ângulo de elevação solar e, a partir dessa relação, deriva a elevação solar em relação ao horizonte correspondente ao limite de iluminação de interesse. Através da elevação calculada, pode ser determinado o tempo de duração do percurso do sol entre as posições indicadas para o nascer e o ocaso sendo usadas equações matemáticas estabelecidas para as relações astronômicas Sol Terra. Esta metodologia foi ajustada e validada através de medições realizadas no campo que consistiram de medidas de iluminância com início durante o crepúsculo e término cerca de uma hora após o nascer ou pôr do Sol.

Martins, Pereira e Longo (2004) relatam que:

Os resultados das medidas de campo permitiram estabelecer a validade da relação matemática teórica empregada e determinar a incerteza do tempo de iluminação artificial obtido. Deve-se ter em mente que os valores de desvio do ângulo zenital solar experimental em relação ao teórico foi determinado para um reduzido número de dias de medidas de campo em condições de céu claro. Um período maior de medidas de campo permitiria a obtenção de maior precisão e confiabilidade da incerteza da metodologia apresentada.

Conforme Pereira *et al.* (2009), no “Estudo da disponibilidade de luz natural em Belo Horizonte como base para programação da iluminação pública artificial noturna”, além da posição do sol, influenciam na iluminância: latitude e longitude, época do ano (o dia e o mês), tipos de céu, possíveis obstruções a que estão sujeitos os postes de iluminação, como arborização e verticalização das construções. Para avaliar estes fatores em Minas Gerais, foram definidos intervalos e parâmetros para realizar medições e a seguir os locais: uma estação fixa sem obstruções e 5 remotas. Estas representaram nas ruas selecionadas as diferentes tipologias do tecido urbano, diferentes orientações, bem como fatores de visão do céu, fornecendo a representatividade necessária e fundamental. A aquisição de dados foi realizada através de programa supervisorio elaborado para as estações e a iluminância foi monitorada ao longo de 24 horas por dia, durante 2 anos.

Quanto aos resultados das medições da estação fixa, foram tratados e comparados com os dados calculados para a curva teórica, que considera todos os ângulos de geometria solar envolvidos. Em relação às 5 estações remotas, foi constatado que a disponibilidade de luz natural do crepúsculo, e conseqüentemente a duração da noite, sofre a influência do grau de obstruções, conforme as medições efetuadas.

¹⁷ O método utiliza nos cálculos uma relação matemática entre a iluminância do céu e o ângulo zenital solar que não considera a nebulosidade (SEIDLMANN, 1992 apud MARTINS; PEREIRA; LONGO, 2004).

Por intermédio de gráficos obtidos destas medições, foi constatado que os valores de duração da noite obtidos nas medições em cada uma das referidas estações ficaram acima dos valores da curva referente às medições na estação fixa. Logo, ficou definido o acréscimo do valor médio de 3 minutos ao dia obtido nas estações remotas nas medições da estação fixa, levando em conta que: o número de árvores obstruindo os relés fotoelétricos e interferindo em seu acionamento é pequeno na área urbana de Minas Gerais; a verticalização média neste estado é baixa, não concentrada e não reduz significativamente o fator de visão do céu, interferindo na ação do relé; a superfície asfaltada não produziu efeito no funcionamento do mesmo; e sendo constatado em 2 estações remotas a influência das edificações mais baixas e da orientação das ruas de iluminação, representando a média de contexto urbano do estado, indicando uma diferença média de duração da noite em relação à estação fixa de apenas 3 minutos ao dia. (PEREIRA *et al.*, 2009).

Tendo em vista que a precisão dos sensores dos fotômetros que foram aplicados no projeto é maior do que a dos relés que estão no campo, foram instalados sensores LDR no corpo das luminárias nos 5 locais de estação remota e realizadas medições durante 6 meses. Após esse período, foram feitas substituições por relés fotoeletrônicos, com medições durante 12 meses. Mesmo com as substituições, foi constatada uma diferença média de 17 minutos entre as medições de acionamento do relé e o valor medido pelos fotômetros do projeto (PEREIRA *et al.*, 2009).

Foi concluído no final do trabalho que a duração da noite, ou o número de horas para o funcionamento da IP, deve ser a medição obtida na estação fixa acrescida do valor médio das estações remotas, considerando também a obstrução devido à pluviosidade e a diferença encontrada no funcionamento dos relés, isto é, 11 horas e 59 minutos (PEREIRA *et al.*, 2009).

Segundo Caruzzo (2008), na dissertação de mestrado “Análise do uso de tecnologias eficientes em iluminação: um estudo considerando condição climática”, a proposta é apresentar um método chamado Método por Demanda Climática (MDC), para avaliação de economia de energia no segmento residencial e IP, incluindo o fator sazonalidade por mesorregião¹⁸, devido às condições climáticas. O estudo foi realizado para o ano de 2005, utilizando informações socioeconômicas e ambientais como latitude, divisão por mesorregião e insolação solar. Foi realizada uma análise comparativa com a metodologia da Eletrobras/Procel em 2005 (ELETROBRAS, 2006a *apud* CARUZZO, 2008) em que foram desenvolvidas melhorias na

¹⁸ Mesorregião - As mesorregiões brasileiras são classificadas oficialmente pelo IBGE. Elas representam uma subdivisão dos estados brasileiros na qual existem similaridades sociais e econômicas.

determinação do tempo de uso em iluminação (TU), considerando as variações de latitude e da climatologia regional, com resultados detalhados por mesorregião e mês do ano.

Caruzzo (2008) faz o seguinte comentário, no que se refere à IP:

Nos resultados gerais de economia de energia real, o MDC para o efeito latitude obteve o mesmo valor de referência do Procel, pois em ambos os casos, os valores do TU anual são fixos. No MDC para efeito clima, que trabalha com TU variável, existe um pequeno aumento na economia de energia na ordem de 9%. Na IP, em que o TU é função predominantemente pela duração da noite (efeito latitude), o efeito clima, isto é, a redução da insolação solar com o respectivo aumento da nebulosidade, também provoca um aumento da demanda de energia por iluminação devido ao escurecimento do ambiente. Esta demanda pode ser através do acionamento antecipado ou do desligamento posterior do ponto de IP no determinado dia.

No que se refere à determinação do TU, mesmo com a variação da latitude, a média anual é numericamente igual ao valor do Procel porque os períodos do ano com as noites mais longas e com as mais curtas são compensadas uma pela outra. Quanto ao efeito clima, o TU sofre um pequeno aumento, entre 5% e 12% do valor anual do valor Procel (TU fixo), conforme a mesorregião. Portanto, somente a variação das condições climáticas locais justificaria o aperfeiçoamento do método proposto, considerando que a Aneel possui a Resolução Normativa Nº 414 para a determinação do TU na IP (CARUZZO, 2008).

5.4 Considerações

Os trabalhos apresentados neste tópico utilizaram os valores de nível de operação da ABNT NBR 5123- versão 1998, sendo que os estudos que não tiveram a participação da Eletrobras/ Procel e parceiros consideraram outros fatores que influenciam na iluminância, como posição do Sol e a latitude. A versão que está em consulta pública e o estudo do regulamento específico para relés fotocontroladores, que está sendo feito pela Eletrobras Procel, apresentam valores mais rígidos, os quais proporcionarão ganhos energéticos significativos. No entanto, os estudos apresentados não consideraram a influência do sensor que, como foi comentado no item 3.3.9 (a), influencia, também, no nível de operação.

6 Metodologia para estudo do impacto energético do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública

Neste capítulo será apresentado o método para o desenvolvimento do estudo, com um fluxograma resumindo as etapas do processo, e, em seguida, a descrição das mesmas com fórmulas e gráficos.

O estudo do impacto energético (**IE**) do desempenho dos relés fotocontroladores é baseado na estimativa do consumo (**C**) de energia elétrica do parque de **IP atual**, que é a linha de base (**LB**), e o consumo de **IP hipotético** que é o **IP adequado**.

Define-se **IE** como a diferença entre o consumo da **LB** em que são considerados os relés que operam e os que não operam dentro dos limites determinados pela norma e o consumo hipotético onde os relés são corrigidos para atenderem a norma, conforme a equação 6.1:

$$\mathbf{IE} = \mathbf{CIPatual} - \mathbf{CIPadequado} \text{ (GWh/ano)} \quad (6.1)$$

Onde:

IE é o impacto energético anual da adequação de relés a critérios normativos (GWh/ano);

CIPatual é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema atual (GWh/ano);

CIPadequado é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema adequado à norma em estudo (GWh/ano).

Este impacto energético pode ser um acréscimo do consumo ou uma economia de energia. No primeiro caso a lâmpada que ficava acesa por menos tempo que o necessário terá com a adequação à norma um aumento do tempo de funcionamento necessário e com isto um acréscimo de consumo da mesma. Na segunda situação ocorre o contrário.

6.1 Fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida

O método proposto é composto por 6 etapas: etapa 1, em que é estimado o parque de IP; etapa 2, na qual é calculada a quantidade dos relés em função da quantidade de lâmpadas, e o percentual dos mesmos por tipo de controle; etapa 3 (a e b), em que se determina o tempo de funcionamento de uma lâmpada sob o controle do relé conforme a norma ou não, utilizando-se curvas de iluminamento; etapa 4 (a e b), com tempos médios de funcionamento da IP, caso real e com relés adequados, utilizando-se as mesmas curvas de nível de iluminamento; etapa 5, na qual calcula-se o consumo do parque atual e o hipotético, em função da potência, quantidade

de lâmpadas e relés, e os tempos médios da IP citados na etapa 4; e etapa 6, em que é calculada a economia de energia, que é o impacto energético, em função do consumo atual e o do hipotético. Nesta última etapa é mostrado o gráfico denominado linha de tendência, onde calcula - se a economia de energia.

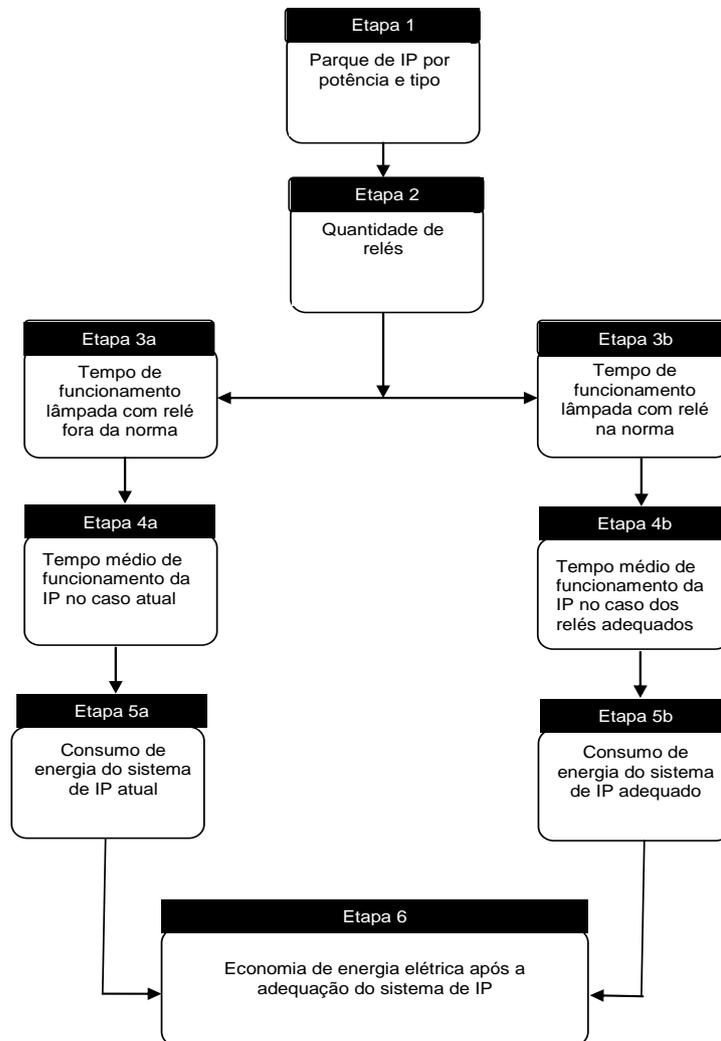


Figura 6.1 – Fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida

Fonte: Elaboração própria

6.2 Estimativa do parque atual de iluminação pública no Brasil por tipo e potência de lâmpada, e o total dos relés fotocontroladores

O parque de IP brasileiro é determinado mediante levantamento efetuado junto a cadastros de concessionárias de distribuição, das prefeituras ou de empresas que administram o sistema.

6.3 Quantidade de relés

A quantidade de relés é calculada em função do total de lâmpadas do parque, dos percentuais de lâmpadas controladas individualmente (Equação 6.2) e em grupo (equação 6.3), além da quantidade média em cada grupo controlado.

$$\mathbf{Rind} = Q_{lamp} \cdot Pind \% \quad (6.2)$$

Sendo,

Q_{lamp} = quantidade de lâmpadas do sistema;

P_{ind} = % de lâmpadas do sistema controladas de forma individual;

R_{ind} = quantidade de relés individual (cada relé comanda somente uma lâmpada).

$$\mathbf{Rgrupo} = Q_{lamp} \cdot P_{grupo} \% / Q_{lampm.grupo} \quad (6.3)$$

Sendo,

P_{grupo} = % de lâmpadas controladas em grupo;

Q_{lampm.grupo} = quantidade média de lâmpadas em um grupo controlado;

R_{grupo} = quantidade de relés em grupo (cada relé comanda 2 ou mais lâmpadas).

6.4 Determinação do tempo de funcionamento da lâmpada com relé fora da norma e conforme a norma

Para determinação do tempo médio de funcionamento das lâmpadas no sistema de IP devem ser utilizadas as curvas de nível de iluminamento da luz natural no período do amanhecer (Figura 6.2) e do anoitecer (Figura 6.3). Essas curvas devem ser montadas a partir de dados de iluminância registrados preferencialmente em intervalos de no máximo 1s, para identificar os horários em que a lâmpada deve ligar e desligar, de acordo com os níveis previstos na norma em estudo, com uma precisão razoável para os resultados que se esperam alcançar. São utilizados em conjunto os níveis liga e desliga, previstos na norma (Tabela 3.1), e os níveis reais em que os relés não adequados à norma atuam.

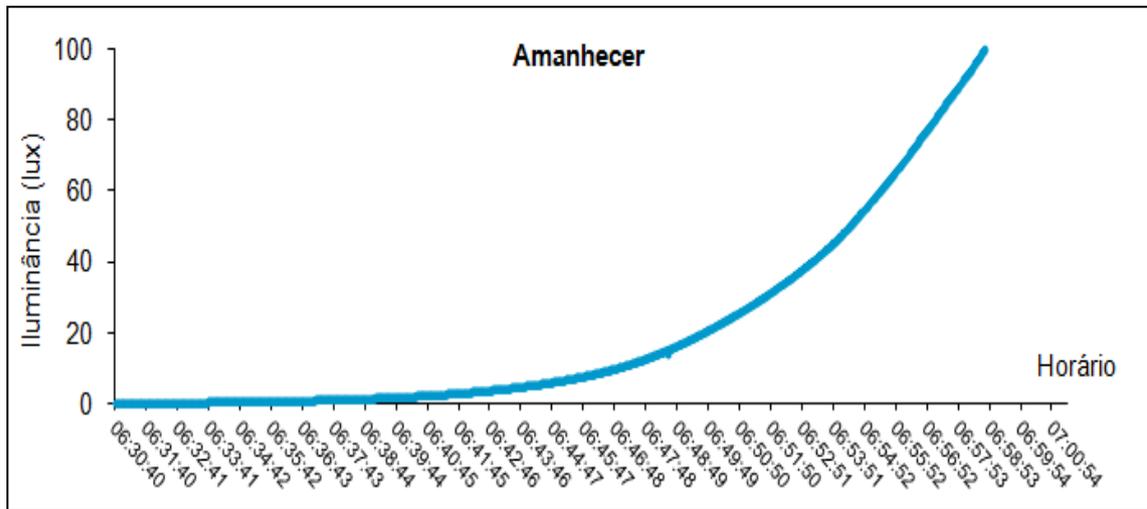


Figura 6.2 - Exemplo de curva de nível de iluminação ao amanhecer

Fonte: CEIP (2007) *apud* Testtech (2012)

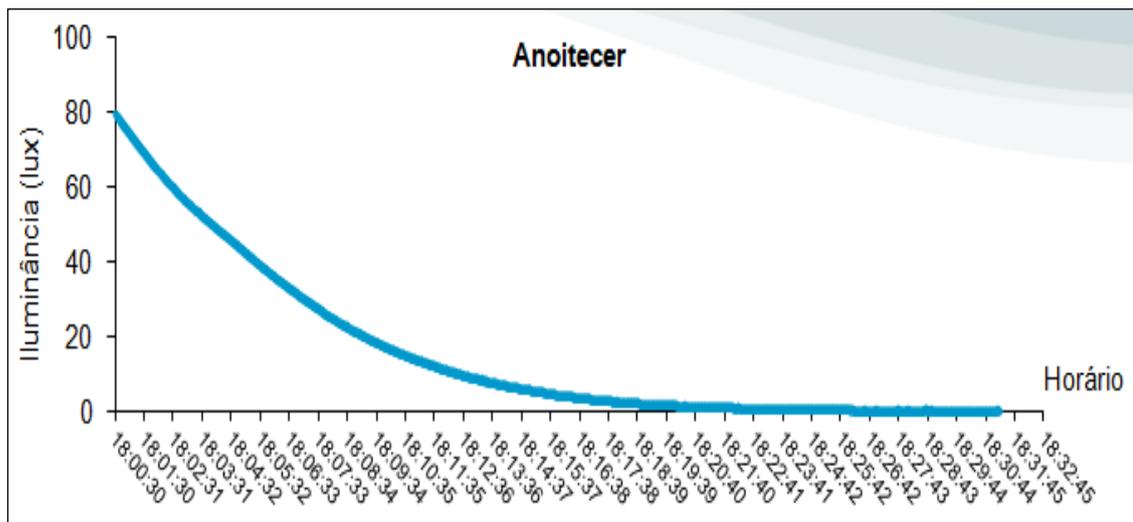


Figura 6.3 - Exemplo de curva de nível de iluminação ao anoitecer

Fonte: CEIP (2007) *apud* Testtech (2012)

Para determinar o tempo de funcionamento diário de uma lâmpada controlada por um relé que **não esteja adequado** à norma em estudo, devem ser medidos em laboratório os níveis liga e desliga do relé, calculando, assim, o tempo a mais ou a menos em que lâmpada fica acesa pelo acionamento do relé diariamente, Equação 6.4.

$$\mathbf{TFN} = 24 - (\mathbf{HLFN} - \mathbf{HDFN}) \text{ (h)} \quad (6.4)$$

Onde:

TFN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé fora da norma (h);

HLFN = horário em que o relé não adequado à norma liga a lâmpada (h);

HDFN = horário em que o relé não adequado à norma desliga a lâmpada (h).

Para o período de 1 ano, Equação 6.5 :

$$\mathbf{TFN}_{\text{anual}} = (24 - (\mathbf{HLFN} - \mathbf{HDFN})) \cdot 365 \text{ (h/ano)} \quad (6.5)$$

TFN_{anual} = tempo anual de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé fora da norma (h);

Já o tempo de funcionamento diário de uma lâmpada controlada por um relé **adequado** à norma em estudo, utilizando os níveis liga e desliga e as curvas de iluminação, é:

$$\mathbf{TN} = 24 - (\mathbf{HLN} - \mathbf{HDN}) \text{ (h)} \quad (6.6)$$

Onde:

TN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé adequado ao critério normativo (h);

HLN = horário em que o relé adequado à norma liga a lâmpada (h);

HDN = horário em que o relé adequado à norma desliga a lâmpada (h).

Para o período de 1 ano, a representação está na Equação 6.7:

$$\mathbf{TN}_{\text{anual}} = (24 - (\mathbf{HLN} - \mathbf{HDN})) \cdot 365 \text{ (h/ano)} \quad (6.7)$$

TN_{anual} = tempo anual de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé adequado ao critério normativo (h);

6.5 Tempo médio de funcionamento da IP no caso atual e no caso de relés adequados

Com uma amostra representativa de relés do sistema de IP, determina-se o percentual de equipamentos que operam dentro e fora dos padrões normativos e calcula-se, por meio de média ponderada, o tempo médio diário de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP atual, conforme a Equação 6.8:

$$\mathbf{T_{real}} = \mathbf{TN} \cdot \mathbf{P_n} + \mathbf{TFN} \cdot \mathbf{P_{fn}} \text{ (h)} \quad (6.8)$$

T_{real} é o tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP (h);

P_n é o % de relés que operam de acordo com os critérios normativos;

P_{fn} é o % de relés que operam em desacordo com os critérios normativos.

Para o período de 1 ano, tem-se a Equação 6.9:

$$\mathbf{T_{real\ anual}} = (\mathbf{TN} \cdot \mathbf{P_n} + \mathbf{TFN} \cdot \mathbf{P_{fn}}) \cdot 365 \text{ (h/ano)} \quad (6.9)$$

T_{real anual} = é o tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP anual

Para o caso de um sistema de IP em que os relés operem dentro dos critérios normativos, o tempo médio de funcionamento das lâmpadas será o **T_{adequado}** (TN).

6.6 Consumo de energia elétrica do parque atual e dos parques hipotéticos

O cálculo do consumo do sistema de IP atual e o hipotético são realizados em função dos tempos de funcionamento calculados na etapa anterior, as quantidades e potência das lâmpadas, e dos percentuais de relés com comando individual e em grupo, conforme será apresentado a seguir:

a) Consumo de energia elétrica do sistema de IP atual

A Equação 6.10 apresenta a forma para ser calculado o consumo de energia elétrica do sistema atual em 1 ano.

$$\mathbf{CIP_{atual}} = \sum_{i=1}^n \mathbf{Pot}_i \cdot \mathbf{T_{real}} \cdot \mathbf{Q_{Li}} / 10^9 \text{ (GWh/ano)} \quad (6.10)$$

Sendo que:

i é o índice que indica um determinado tipo e potência de lâmpada do sistema;

n é a quantidade de lâmpadas por tipos e potências;

Pot_i é a potência da lâmpada *i*;

Q_{Li} é a quantidade de lâmpadas em função dos relés que controlam lâmpadas de um tipo e potência *i*, de forma individual ou em grupos, a qual deve ser calculada de acordo com a Equação 6.11:

$$Q_{Li} = R_{ind.i} + R_{grupo.i} \cdot Q_{lampm.grupo} \quad (6.11)$$

Onde,

$R_{ind.i}$ é a quantidade de relés que controlam individualmente um tipo e potência i de lâmpada;

$R_{grupo.i}$ é a quantidade de relés que controlam em grupo um tipo e potência i de lâmpada.

$Q_{lampm.grupo}$ é a quantidade média de lâmpadas em um grupo controlado

b) Consumo de energia elétrica do sistema de IP adequado a critério normativo:

A Equação 6.12 apresenta a forma para ser calculado o consumo de energia elétrica do sistema adequado em 1 ano.

$$CIP_{adequado} = \sum_{i=1}^n Pot_i \cdot T_{adequado} \cdot Q_{Li} / 10^9 \text{ (GWh/ano)} \quad (6.12)$$

A potência por tipo e a quantidade de lâmpadas já foram explicadas no item a. Em relação ao tempo adequado, é o tempo médio de funcionamento das lâmpadas para o relé adequado à norma.

6.7 Cálculo da economia de energia

A diferença entre a estimativa do consumo anual de energia elétrica de um sistema atual de energia elétrica ($CIP_{atualanual}$), denominada linha de base, e a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema adequado à norma em estudo ($CIP_{adequadoanual}$) é denominada de impacto energético anual **IE** (Equação 6.1). Este impacto energético equivale à economia de energia **EEN**. A Figura 6.4, que é denominada linha de tendência, representa **EEN** (Equação 6.13).

$$IE = EEN = CIP_{atualanual} - CIP_{adequadoanual} \text{ (GWh/ano)} \quad (6.13)$$

CIPatual anual é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema atual (GWh/ano);

CIPadequado anual é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema adequado à norma em estudo (GWh/ano).

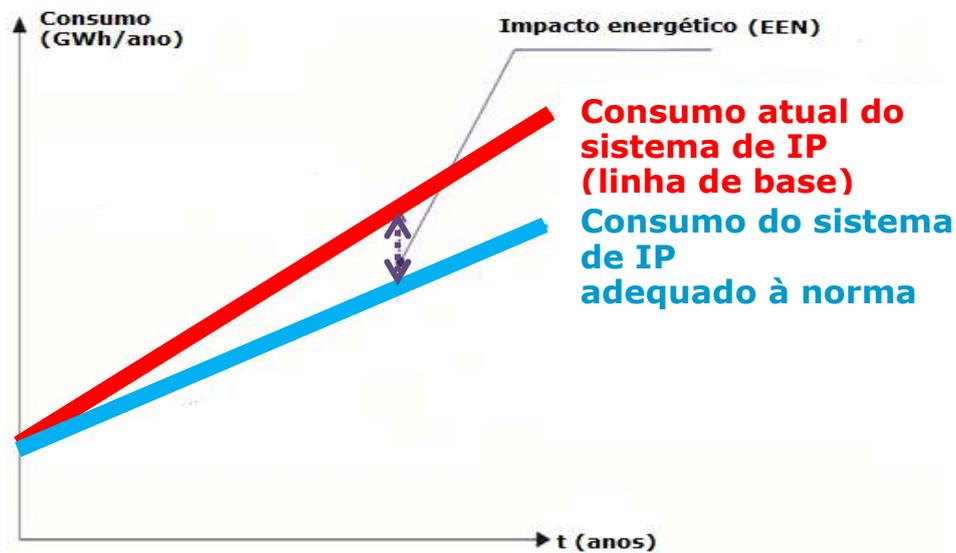


Figura 6.4 - Gráfico da linha de tendência considerando os relés adequados à NBR 5123

Fonte: Elaboração própria

7 Estimativa do impacto da concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores sobre o consumo de energia em iluminação pública no Brasil

Neste capítulo será aplicada a metodologia desenvolvida para estimar o impacto energético que a concessão do Selo Procel a relés fotocontroladores poderia proporcionar ao sistema de IP brasileiro. Entende-se que o impacto gerado pela adoção do Selo Procel incorpore os resultados da adequação à Norma Brasileira NBR 5123, haja vista que essa adequação será uma das exigências para concessão do Selo Procel. A Figura 7.1, linha de tendência, mostra o impacto **IE**, que é a economia de energia devido à adequação dos relés ao Selo Procel (**EES**). Nota-se no gráfico que o consumo do sistema de IP adequado à norma é maior do que o devido à adequação aos valores determinados para o Selo Procel. Portanto, no segundo, os valores do nível de iluminamento são mais rigorosos. Denomina-se **EENS** a economia adicional de energia ao Selo Procel.

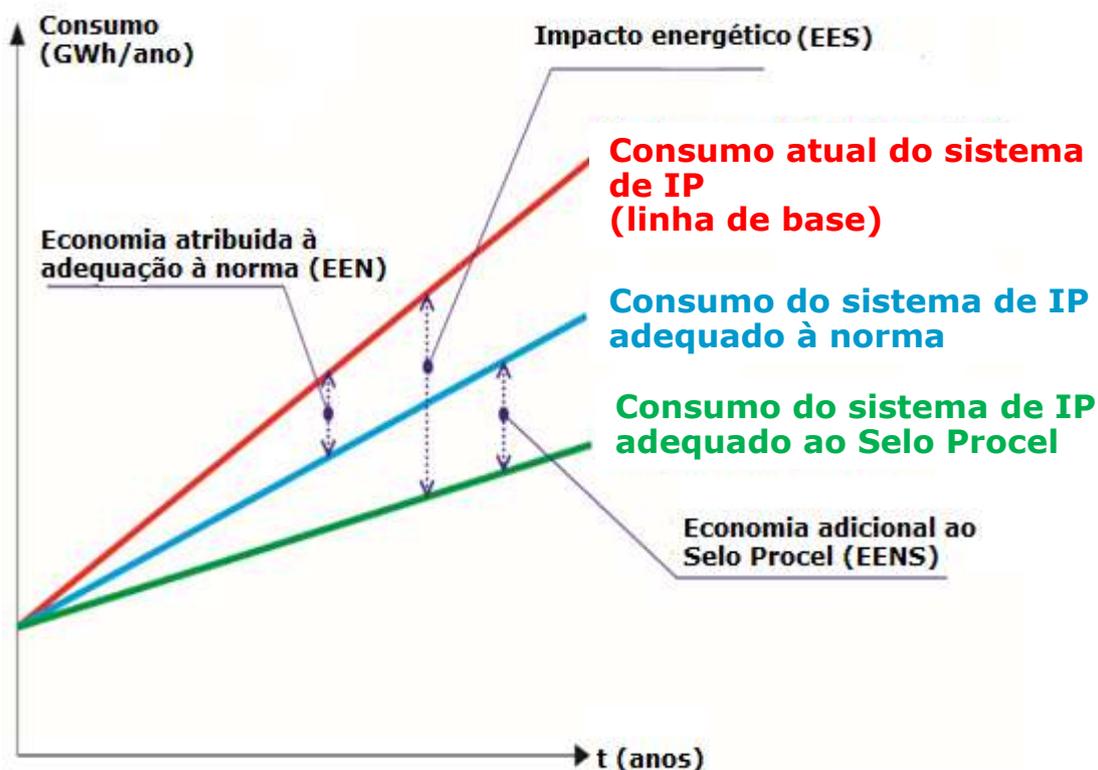


Figura 7.1 - Gráfico da linha de tendência considerando os relés adequados ao Selo Procel

Fonte: Elaboração própria

A seguir, conforme o fluxograma tem-se as etapas do método:

7.1 Estimativa do parque atual de iluminação pública no Brasil por tipo e potência de lâmpada, e o total dos relés fotocontroladores

Este estudo limitou-se a utilizar os dados das lâmpadas referentes à última atualização realizada pelo subprograma Procel Reluz (2008)¹⁹, segundo a qual o parque de IP brasileiro possui 14.769,309 milhões de pontos de iluminação, cuja distribuição se dá por tipo e quantidade de lâmpadas (Qlamp), discriminados no Anexo A desta dissertação. Posteriormente, estimou-se a carga dos anos seguintes baseada nos valores de consumo que constam no Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2014).

7.2 Quantidade de relés

Quanto à quantidade de relés, segundo especialistas do setor elétrico, 95% das lâmpadas são controladas de forma individual e 5% em grupos, os quais eram compostos em média por 25 lâmpadas. O total de relés para o referido ano foi de 14.060.382, sendo 14.030.844 de controle individual e 29.538 de controle em grupo.

7.3 Determinação do tempo de funcionamento da lâmpada com relé fora da norma e conforme a norma

Neste item será calculado o tempo de funcionamento diário e anual (tabela 7.1) da lâmpada com relé fora da norma e conforme a norma

TFN e **TN** são calculados, conforme as Equações 6.4 e 6.6:

HLFN e **HLN** são retirados da curva de nível de iluminamento, Figura 7.2.

HDFN e **HDN** são retirados da curva de nível de iluminamento, Figura 7.3.

$$\mathbf{TFN} = 24 - (\mathbf{HLFN} - \mathbf{HDFN}) \text{ (h)}$$

¹⁹ Atualização contida em planilha disponibilizada pelo subprograma Procel Reluz ao autor desta dissertação, com dados referentes ao ano de 2008.

TFN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé fora da norma (h);

HLFN = horário em que o relé não adequado à norma liga a lâmpada (h);

HDFN = horário em que o relé não adequado à norma desliga a lâmpada (h).

$$\mathbf{TFN} = 24 - (18,09 - 6,96) = 12,88 \text{ h}$$

$$\mathbf{TN} = 24 - (\mathbf{HLN} - \mathbf{HDN})$$

TN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé adequado ao critério normativo (h);

HLN = horário em que o relé adequado à norma liga a lâmpada (h);

HDN = horário em que o relé adequado à norma desliga a lâmpada (h).

$$\mathbf{TN} = 24 - (\mathbf{HLN} - \mathbf{HDN}) \text{ (h)}$$

$$\mathbf{TN} = 24 - (18,15 - 6,95) = 24 - 11,2 = 12,8 \text{ h}$$

Tabela 7.1 - Tempo de funcionamento da lâmpada em 1 ano

Relé operando fora da NBR 5123 (h)	Relé operando segundo a NBR 5123 (h)
4.701,2	4.672,0

Fonte: própria

7.4 Tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP atual e o adequado ao Selo Procel

Para os cálculos do tempo médio de funcionamento da lâmpada do sistema de IP atual e o adequado aos valores para o Selo Procel, por falta de recursos para realização de medições no campo, foram utilizadas as curvas de nível de iluminamento ao amanhecer e anoitecer, obtidas no estudo da Eletrobras com a PUCRS (ELETROBRAS; PUCRS, 2010).

Foram utilizados os níveis liga e desliga médios obtidos no estudo da Testtech (2012) para os relés que não atendiam a norma brasileira, os quais foram 41 lux e 89 lux, além dos níveis propostos para concessão do Selo Procel. Convém comentar que o nível desliga adotado para o Selo Procel neste trabalho foi de até 30 lux (Tabela 7.2), segundo a ABNT-NBR 5123 em consulta pública e não 20lux conforme no referido estudo.

Tabela 7.2 - Níveis de iluminamento para operação do relé para o Selo Procel

Modo de operação	Nível liga	Nível desliga
Iluminância (lux)	5 a 10	Até 30

Fonte: Procel (2014^a)

Foram utilizadas nos cálculos as curvas de nível de iluminamento anoitecer e amanhecer, (Figura 7.2 e Figura 7.3), em que constam os valores da NBR 5123, aqueles do ensaio laboratorial e os propostos pelo Procel. Foi considerado, também, o percentual de relés que são vendidos fora dos critérios normativos, ou seja, 59% do total, conforme o estudo da Eletrobras/Procel e Testtech (TESTTECH, 2012).

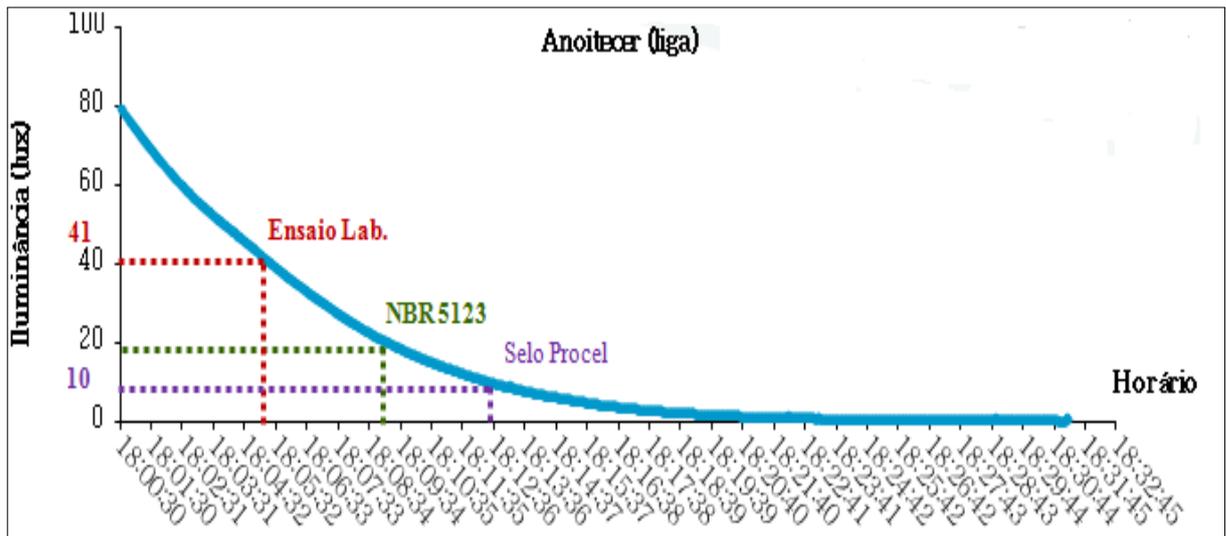


Figura 7.2 - Curva de nível de iluminação ao anoitecer

Fonte: Elaboração própria

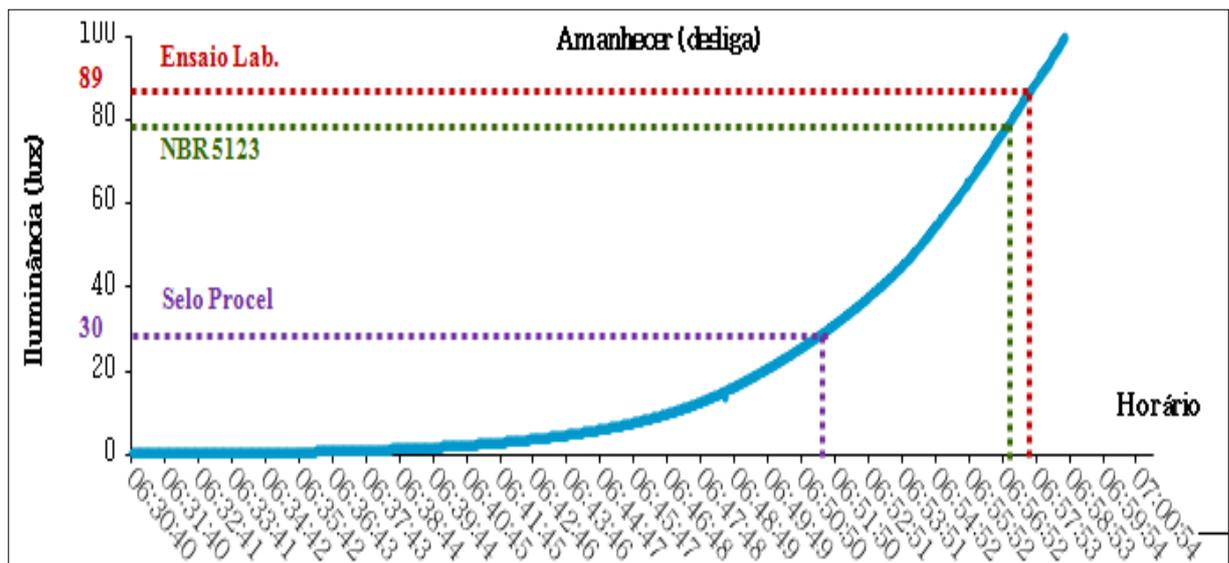


Figura 7.3 – Curva de nível de iluminação ao amanhecer

Fonte: Elaboração própria

Com a Equação 6.8, foi determinado o tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de **IPatual**.

$$T_{real} = T_N \cdot P_n + T_{FN} \cdot P_{fn} \text{ (h)}$$

T_{real} é o tempo médio diário de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP (h);

TN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé adequado ao critério normativo (h);

Pn é o % de relés que operam de acordo com os critérios normativos;

TFN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé fora da norma (h);

Pfn é o % de relés que operam em desacordo com os critérios normativos.

$$\mathbf{Treal} = 12,8 \cdot 0,41 + 12,88 \cdot 0,59 = 12,84 \text{ h}$$

$$\mathbf{Pn} = 0,41$$

$$\mathbf{Pfn} = 0,59$$

Para o caso de um sistema de IP em que os relés operem dentro da faixa de valores estabelecidos para o **Selo Procel**, o tempo médio diário de funcionamento das lâmpadas (**Tadequado.Selo.Procel**) é determinado mediante verificação nas curvas das figuras 7.1 e 7.2.

$$\mathbf{Tadequado.Selo.Procel} = \mathbf{Tselo} = 12,65 \text{ h}$$

Tabela 7.3 - Tempo médio de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP atual e o adequado ao Selo Procel em 1 ano

Sistema IP atual (h/ano) (Treal)	Sistema de IP adequado ao Selo Procel (h/ano) (Tadequado.Selo.Procel)
4.688,00	4.617,25

Fonte: própria

Conforme a equação 14, foi observado na Tabela 5.6 que com a adequação dos relés aos critérios do Selo Procel, as lâmpadas operariam **70,75 h/ano** a menos por ano.

$$\mathbf{Tganho} = T_{real} - T_{adequado.Selo.Procel} \quad (14)$$

$$\mathbf{Tganho} = 70,75 \text{ h/ano}$$

7.5 Consumo de energia elétrica do parque atual e dos parque hipotético

Para o cálculo do consumo do parque de IP em 2008, foram utilizadas as equações 6.10 e 6.12:

$$\mathbf{CIP}_{2008} = \sum_{i=1}^n Pot_i \cdot T_{real} \cdot Q_{Li} / 10^9 \quad (\text{GWh/ano})$$

Os valores da potência total (**Pot total**) e o total de lâmpadas (**n**) do parque de IP são retirados do ANEXO A: Parque de iluminação pública no Brasil em 2008. O tempo médio de funcionamento anual do sistema de IP é o **Trealanual** calculado no item 7.4.

$$\mathbf{Pot \text{ total}} = 2,18 \text{ GW}$$

$$\mathbf{QL \text{ total (n)}} = 14.769.309,00 \text{ lâmpadas}$$

$$\mathbf{Trealanual} = 4.688,00 \text{ h}$$

$$\mathbf{CIP \ 2008} = 10.222,24 \text{ (GWh/ano)}$$

Quanto ao **CIPadequado2008**, o tempo médio de funcionamento anual do sistema de IP é **Tadequado.Selo.Procel (Tselo)** calculado no item 7.4.

$$\mathbf{CIP}_{adequado2008} = \sum_{i=1}^n Pot_i \cdot T_{adequado} \cdot Q_{Li} / 10^9 \text{ (GWh/ano)} \quad (6.14)$$

$$\mathbf{Pot \text{ total}} = 2,18 \text{ GW}$$

$$\mathbf{QL \text{ total (n)}} = 14.769.309,00 \text{ lâmpadas}$$

$$\mathbf{Tadequado.Selo.Procel = Tselo = 4.617,25 \text{ h}}$$

$$\mathbf{CIPadequado.Selo Procel.2008 = 10.067,98 \text{ (GWh/ano)}}$$

Na atualização dos valores de consumo para o ano de 2016, foi utilizada a taxa média de evolução do consumo de IP no Brasil entre 2008 e 2015, 3,4 % ao ano, obtida a partir de dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 (EPE, 2014):

$$\mathbf{CIPreal = 13.357,05 \text{ (GWh/ano)}}$$

$$\mathbf{CIPadequadoSelo Procel= 13.155,47 \text{ (GWh/ano)}}$$

7.6 Cálculo da economia de energia em 2016

O impacto energético **I** à adequação de todos os relés aos critérios de Selo Procel, utilizando a equação 6.13 é:

$$\mathbf{IE = EES= CIPatual - CIPadequadoSelo Procel}$$

$$\mathbf{IE = 201,58 \text{ GWh/ano}}$$

A Tabela 7.4 mostra que este impacto energético gera potenciais técnicos que revelam a evolução da economia de energia em função dos percentuais de relés com Selo Procel instalados no sistema de IP em 2016.

Tabela 7.4 - Cenário de economia de energia com a evolução da quantidade de relés com Selo Procel em 2016

Percentual de relés com Selo Procel	Economia de energia elétrica (GWh)
10%	20,16
20%	40,32
30%	60,47
40%	80,63
50%	100,79
60%	120,95
70%	141,10
80%	161,26
90%	181,42
100%	201,58

Fonte: Elaboração própria

8 Benefícios da concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores de iluminação pública

O impacto proporcionado pela concessão do Selo Procel a relés fotocontroladores poderá trazer alguns benefícios ao setor elétrico nacional, assim como ao meio ambiente e às prefeituras do país. Para avaliar esses benefícios, serão utilizados três cenários: 20% de relés com Selo Procel, que é a média de venda de equipamentos com o selo em relação a outros equipamentos de IP, conforme Procel (2014a); os demais cenários são, respectivamente, 50% e 100% de relés com o Selo Procel. Estes benefícios, calculados a seguir, são econômicos, ambientais e relativos ao número de residências que poderiam ser atendidas com a economia de energia.

8.1 Benefício econômico

O benefício econômico é o custo evitado, que é calculado em função da energia economizada devido ao uso do relé com o Selo Procel e o custo marginal de expansão da geração.

Segundo o “Relatório de resultados do Procel 2015: ano base 2014” (PROCEL, 2015):

A metodologia utilizada para o cálculo do custo evitado se baseia no Custo Marginal de Expansão (CME). O valor adotado para o CME foi de R\$ 112/MWh, conforme proposta do Plano Decenal de Expansão de Energia 2023, em consulta pública no site da EPE. Segundo o documento Custo Marginal de Expansão - Metodologia de Cálculo 2011, da EPE, “o CME representa o acréscimo de custo para suprir um aumento unitário na demanda considerando ajustes no programa de obras, ou seja, representa a expectativa de custo da expansão do parque de geração de energia elétrica. Na hipótese de expansão ótima e contínua, o CME será o custo do empreendimento obtido da curva de custo de expansão ao qual se fica indiferente entre construir o projeto ou operar o sistema a fim de atender à demanda adicional”. Por sua vez, o custo evitado foi obtido pelo produto do CME pela economia de energia no ano.

O custo evitado, Equação 8.1, seria aquele que deixaria de ser repassado ao Setor Elétrico Nacional com a economia de energia para os cenários projetados. A tabela 8.1 mostra o custo de expansão evitado em milhões de R\$ para os 3 cenários propostos.

Custo evitado

$$CE = EES \cdot CME \quad (8.1)$$

CE = Custo de expansão evitado (milhões de R\$)

EES = Economia de energia devido ao Selo Procel no ano (GWh)/ano

CME = Custo Marginal de Expansão (2016) = 112.000 (R\$/GWh)

Tabela 8.1 - Custo de expansão evitado em milhões de R\$

Cenário	Economia de Energia (GWh)/ano	Custo de expansão evitado (milhões de R\$)
20%	40,32	4,51
50%	100,79	11,30
100%	201,58	22,58

Fonte: Elaboração própria

A adequação de 50% de relés fotocontroladores aos critérios do Selo Procel resultaria em impactos significativos para o setor elétrico nacional, evitando em torno de 11 milhões de reais de custos com energia. No caso de se atingir o potencial técnico, ou seja, 100% de relés com Selo Procel, o custo evitado chegaria a em torno de R\$ 22,5 milhões.

Convém comentar que, por não fazer parte dos objetivos do trabalho, não foi feita uma avaliação do impacto nos preços dos dispositivos do conjunto de IP, o que exigiria investigações mais profundas. Por outro lado, caso seja implantado no Brasil um programa de certificação de relés, o que obrigaria o atendimento à NBR 5123, os custos decorrentes do ganho adicional do Selo Procel seriam minimizados, uma vez que os fabricantes já teriam melhorado seus projetos para atender à referida norma.

8.2 Benefícios ambientais

A geração e o consumo de energia promovem impactos sobre o meio ambiente, com destaque para as alterações climáticas. O controle e a mitigação das mesmas requerem necessariamente a redução das emissões dos gases do efeito estufa (CASTRO, BRANDÃO e DANTAS, 2012).

Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbonos (CFCs) e ozônio (O₃).

Segundo o portal sobre jornalismo ambiental da Associação O Eco (O ECO, 2014):

O dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) é emitido, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) nas atividades humanas. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima, o CO₂ é o principal "culpado" pelo aquecimento global, sendo o gás de maior emissão (aproximadamente 78%) pelos humanos.

A energia economizada com a inserção de relés com Selo Procel pode ser convertida em emissões evitadas do CO₂, Equação 8.2, as quais correspondem às emissões proporcionadas por N veículos, Equação 8.3.

a) Emissões evitadas (EME)

$$\text{EME (mil tCO}_{2e}\text{)} = \text{EES} \cdot \text{FEmédio}^{20} \quad (8.2)$$

EME = Emissões evitadas de CO₂ (mil tCO_{2e})

EES = Economia de energia devido ao Selo Procel no ano (GWh/ano)

FEmédio (Fator de emissão médio) = 130 tCO_{2e}/GWh

b) Cálculo do número de veículos por ano (Veículos/ano)²¹

O número de veículos (**N**) por ano é calculado em função da energia total economizada devido ao Selo Procel e a energia total economizada em um ano por veículo.

$$\text{N} = \text{EES} / \text{EEveículo} \quad (8.3)$$

N = Número de veículos

EES = Economia total de energia devido ao Selo Procel no ano (GWh/ano)

EEveículo = Energia total economizada por veículo no ano (GWh/ano)

EEveículo = ECO₂ / FEmédio

²⁰ Utilizou-se o fator de emissão médio de CO₂ equivalente disponibilizado em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora> para os meses de janeiro a maio de 2015. Esse fator tem como objetivo estimar a emissão de CO₂ equivalente associada a uma geração de energia elétrica determinada.

²¹ Conforme 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories e consulta a especialista da área.

$ECO_2 = CO_2$ emitido em 1 ano kg /veículo/1000

$FEmédio$ (Fator de Emissão médio) = 130 tCO₂e/GWh

c) Usina equivalente

A energia economizada com a inserção de relés com Selo Procel também equivale à energia fornecida, em um ano, por uma hidrelétrica com capacidade em MW, Equação 8.4.

Conforme o “Relatório de Resultados do Procel 2015: Ano Base 2014” (PROCEL, 2015):

A usina equivalente obtida a partir da energia economizada, considerando um fator de capacidade médio típica de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% (100% - 85%) de perdas médias na T&D. Considerando-se esse nível de perdas, tendo em vista que a grande parcela de utilização da energia elétrica se dá no sistema de distribuição em baixa tensão.

Cálculo da usina equivalente (8.4)

$GER = EES / 0,56 \cdot 0,85 \cdot 8760 \cdot 1000$

$GER =$ Usina equivalente (MW)

$EES =$ Economia total de energia devido ao Selo Procel no ano (GWh/ano)

A tabela 8.2 mostra para os 3 cenários de economia de energia, a usina equivalente, as emissões evitadas de gases de efeito estufa e o número de veículos correspondentes à estas emissões.

Tabela 8.2 - Usina equivalente, emissões evitadas de gases de efeito estufa e o número de veículos.

Cenário	Economia de Energia (GWh)/ano	Usina equivalente (MW)	Emissões evitadas de gases de efeito estufa (mil tCO ₂ e)	Número de veículos
20%	40,32	10	5,24	1.842
50%	100,79	24	13,10	4.604
100%	201,58	48	26,20	9.209

Fonte: Elaboração própria

Com o aumento da energia economizada ao ano com a inserção de relés com Selo Procel, há um aumento das emissões evitadas do CO₂, as quais correspondem às emissões proporcionadas por N veículos. Constata-se que N aumenta com o aumento das referidas emissões.

A energia economizada por veículo está relacionada com o CO₂ emitido em 1 ano/Veículo (Kg) e o Fator Médio Anual (tCO₂/GWh). Caso esta energia economizada diminua, ocorrerá o aumento do número de veículos correspondentes a estas emissões.

8.3 Número de residências atendidas

Em função da economia de energia proporcionada pela utilização do Selo Procel por ano e o consumo médio mensal por residência, tem-se o número de residências atendidas por ano, Equação 8.5. A Tabela 8.3 mostra que com o aumento da energia economizada há um aumento do número de residências atendidas. Se o consumo médio mensal por residência em 1 ano é maior, o número destas residências atendidas diminui.

Residências atendidas em 1 ano

$$\mathbf{RES} = \mathbf{EES} / (\mathbf{C}_{\text{méd-m-res}}) \cdot 1000000 \quad (8.5)$$

RES = Residências atendidas em 1 ano;

EES = Economia total de energia devido ao Selo Procel no ano (GWh/ano)

C méd-m-res (kWh/mês/consumidor²²) = Consumo médio mensal por residência em 12 meses;

C_{méd-m-res} = 167 (kWh/mês/consumidor).

Tabela 8.3 - Número de residências atendidas em 1 ano

Cenário	Economia de Energia (GWh)	Residências atendidas em 1 ano
20%	40,32	19.893
50%	100,79	49.729
100%	201,58	99.457

Fonte: Elaboração própria

22

Considerando que o consumo médio mensal de energia de uma residência no Brasil é de 167 kWh (Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, ano VIII, nº 88, Janeiro de 2015, EPE).

9 Conclusões e sugestões para estudos futuros

Nesta dissertação, foi elaborada uma proposta de metodologia para estudar o impacto do desempenho dos relés fotocontroladores sobre a eficiência energética na iluminação pública, baseada na diferença entre a estimativa de consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública real e o consumo de um sistema hipotético, em que esses relés são corrigidos para atenderem à norma.

Primeiramente, para atingir o objetivo principal do trabalho, foi apresentada uma revisão bibliográfica com temas referentes ao estudo em questão: referencial teórico na área de iluminação; tecnologia dos relés fotocontroladores de iluminação pública; instrumentos de promoção da eficiência energética na iluminação pública no Brasil e no mundo; e alguns estudos realizados sobre relés fotocontroladores.

Em seguida, foi apresentado o método desenvolvido e, posteriormente, a sua aplicação para estimar o impacto energético que a concessão do Selo Procel para relés fotocontroladores causaria sobre o parque brasileiro de iluminação pública. A fim de alcançar um dos objetivos desta dissertação, foram apresentados três cenários de implantação destes dispositivos analisados, a saber: o cenário 1 - 20%; o cenário 2 - 50% e o cenário 3 - 100%. Para um cenário com 100% dos relés fotocontroladores, há uma economia de energia de 201,58 GWh, com um custo de expansão evitado do sistema elétrico brasileiro de 22,57 milhões de R\$ e emissões evitadas de gases efeito estufa de 26,20 mil tCO_{2e}. Estas emissões evitadas de gases de efeito estufa correspondem, ainda, às emissões proporcionadas por 9.209 veículos durante um ano.

Com essa economia, há também como benefício a postergação de entrada de usina de 48 MW e suprimento de 99.457 residências brasileiras durante 1 ano. Em acréscimo, conforme o capítulo sobre a especificação do relé fotocontrolador (capítulo 3), a utilização do modo de falha desligado colabora com a economia de energia e seria a melhor condição para a concessão do Selo Procel.

Como os benefícios estimados são significativos, sugere-se sob o ponto de vista técnico a inclusão dos relés fotocontroladores no Programa do Selo Procel de Economia de Energia.

Propõe-se, também:

- Avaliar infraestrutura laboratorial para ensaios em relés fotocontroladores;
- Continuidade deste estudo considerando ângulo solar, latitude, crepúsculo e condições climáticas;

- Avaliar o custo incremental para os relés fotocontroladores se adequarem à proposta do Selo Procel.

10 Referências

ABNT NBR 5123:1998 - **Relé Fotoelétrico e Tomada para Iluminação** - Especificação e Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

ALL-BIZ. Chave de comando. Imagem. Disponível em: <<http://riodejaneiro.all.biz/chave-de-comando-cip90-05-g59635#.VXYb87fbIu4>>. Acesso em: 20 mar 2013.

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

ANEEL. (Brasil.) **Resolução Normativa 414/2010**: atualizada até a REN 499/2012. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Direitos e deveres do consumidor de energia elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica. - Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf> Acesso em: 24 out 2014.

BRAGA, N. C. **Relés – Circuitos e aplicações**. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2012.

BRANCO, R. **Sustentabilidade e gestão de iluminação pública**. Porto: ISEP. 2010

BRASIL. Lei 10.295/2001. **Lei de Eficiência Energética**. DOU, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 23 out 2014.

CARUZZO, A. **Análise de uso de tecnologias eficientes em iluminação: um estudo considerando condições climáticas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia). UNIFEI. Itajubá, 2008.

CASTRO; BRANDÃO; DANTAS. **O Setor Elétrico Brasileiro e os compromissos de reduções das emissões de gases do efeito estufa**. Texto de Discussão do Setor Elétrico nº 46. GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico. UFRJ. Mar. 2012. Disponível em: <www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE46>. Acesso em: 12 ago 2015.

CECP. China Energy Conservation Program. Disponível em: <www.cecp.org.cn>. Acesso em: 05 nov 2014.

CELC. China Energy Label Center. Disponível em: <http://www.energylabel.gov.cn/en/About_celc.html>. Acesso em: 06 nov 2014.

CONUEE . Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Disponível em: <http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/Que_es_conae#que>. Acesso em: 30 out 2014.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação econômica**: cálculo e avaliação. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 562p. (Coleção Engenharia; 5)

CREPUSCULIS.NET - Crepúsculo. Representação gráfica. Disponível em: <<http://www.crepusculis.net/portal/index.php/artigo>>. Acesso em: 26 ago 2015.

CUNHA, L. Relés e contadores. **Revista O Setor Elétrico**. Edição 45. Out. 2009. Portal O Setor Elétrico. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/169-reles-e-contadores.html>>. Acesso em: 22 abr 2014.

ELETROBRAS; PUCRS. **Relatório Final do Projeto de Avaliação dos Sistemas de IP Financiados pelo Procel Reluz**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel/PUCRS, 2010.

ELETRO GLP. **Relé fotocontrolador azimuthal**. Disponível em: <<http://www.eletroglp.com.br/produtera/materiais-eletricos/reles>>. Acesso em: 10 abr 2014.

ELIZEUELETROTECNICO. **Campo Elétrico**. Disponível em: <http://elizeueletrotecnico.blogspot.com.br/2015_05_01_archive.html>. Acesso em: 11 ago 2015.

ENERGY STAR. Home Page. [s/l], [s/d]. Disponível em: <<http://www.energystar.gov/>>. Acesso em: 23 out 2014.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 10 mar 2015.

ESCARAVELHOS. **Crepúsculo**. Disponível em: <<http://escaravelhos.blogspot.com.br/2010/03/sol-e-lua-relacoes-entre-si.html>>. Acesso em: 26 ago 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Disponível em: <http://europa.eu/index_pt.htm>. Acesso em: 05 nov 2014.

EXATRON. **Chave de comando em grupo**. Disponível em: <<http://www.exatron.com.br/content/produtos/Default.aspx?sc=24&c=1>>. Acesso em: 10 mar 2015.

FIDE. Fideicomiso para el Ahorro de Energia Eléctrica. Disponível em: <<http://portal.fide.org.mx:8000/>>. Acesso em: 30 out 2014.

IESNA C136.10 (2010). Roadway and Area Lighting Equipment - Locking-Type Photocontrol Devices and Mating Receptacles - Physical and Electrical Interchangeability And Testing. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/aplicacao/gedweb/asp/resultado_avancado_2010.asp?p=1>. Acesso em: 05 mar 2015.

IESNA DG-13-98. Guide for the Selection of Photocontrols for Outdoor Lighting Applications. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/aplicacao/gedweb/asp/resultado_avancado_2010.asp?p=1>. Acesso em: 05 mar 2015.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**. [s/l], [s/d]. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acesso em: 23 out 2014.

MARGIRIUS. Relé fotocontrolador eletrônico temporizado. Disponível em: <<http://www.margirius.com.br/relés-fotoeletronicos-temporizados-cabos>>. Acesso em: 08 jan 2015.

MARGIRIUS. Relé fotocontrolador eletrônico temporizado. Disponível em: <<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-671593407-rele-fotoeletrico-nf-1000w-bivolt-ultravioleta-margirus- JM>>. Acesso em: 15 fev 2015.

MARTINS, F.R; PEREIRA, E.B; LONGO, K. **Níveis de iluminância do céu no alvorecer e no ocaso**. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004. Disponível em: <http://scholar.google.com.br/scholar?q=+N%C3%ADveis+de+Ilumin%C3%A2ncia+do+C%C3%A9u+no+Alvorecer+e+no+Acase&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5>. Acesso em: 14 jul 2013.

MCT. **Fator de emissão médio de CO2 equivalente**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora.1>>. Acesso em: 06 mar 2015.

MECATRÔNICA NA NET. **Parâmetros luminotécnicos mais importantes**. Luminância. 15 set. 2012. Disponível em: <http://mecatronicananet.blogspot.com.br/2012/09/parametros-luminotecnicos-mais_15.html>. Acesso em: 06 mar 2015.

MIGUENS, Altineu Pires. **Navegação**: a ciência e a arte. Volume II – Navegação astronômica e derrotas. Capítulo 24 – Nascer e pôr do sol e da lua. Crepúsculos. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap24.pdf>>. Acesso em: 26 ago 2015.

NOGUEIRA, F. J. *et al.* Avaliação de um sistema de telegerenciamento empregando luminárias LED de iluminação pública. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. 20 a 24 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte, 2014. p. 2763-2770. Disponível em: < <http://www.swge.inf.br/CBA2014/anais/PDF/1569934901.pdf>> Acesso em: 26 ago 2015.

O ECO. Jornalismo Ambiental. **Gases do efeito estufa:** dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄). 30 abr. 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/>>. Acesso: 12 ago 2015.

OSRAM. Espectro eletromagnético. Representação gráfica. **Manual Luminotécnico Prático.** Disponível em: < http://www.osram.com.br/osram_br/>. Acesso em: 14 jul 2013.

PEREIRA, E. M. D. *et al.* **Estudo da disponibilidade de luz natural em Belo Horizonte como base para programas em iluminação pública artificial noturna.** Para Programação da Iluminação Pública Artificial Noturna. Belo Horizonte: GREEN Solar, PUC Minas, Labcon EA/UFMG, CEMIG, 2009. 26 p. Disponível em: <http://scholar.google.com.br/scholar?q=Estudo+de+disponibilidade+de+luz+natural+em+belo+horizonte+como+base++para+programa%C3%A7%C3%A3o+da+ilumina%C3%A7%C3%A3o+p%C3%BAblica+artificial+noturna++&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5>. Acesso em: 14 jul 2013.

PFLEGER, Z. **Conheça o relé fotoelétrico.** Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=A9MR_GB_sNU>. Acesso em: 16 jul 2015.

PMCONTROLS. Certificação do fotocontrolador pela CSA. Disponível em: <<http://pmcontrols.com/shop/photo-controls/locking-type-photocontrols-delayed-response-thermal-p-series/>>. Acesso em: 05 out 2014.

PORTAL ELETRICISTA. **Relé fotoelétrico aplicado a sistemas de iluminação.** 12 fevereiro 2014. Disponível em < <http://www.portaleletricista.com.br/rele-fotoeletrico/>>. Acesso em: 05 out 2014.

POWERLUX. **Relé fotocontrolador comutação por graduação em tensão elétrica.** Disponível em: < <http://powerlux.com.br/>>. Acesso em: 15 fev 2016.

PROCEL. **Proposta de critérios para concessão do Selo Procel a relés fotocontroladores.** Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2014a.

PROCEL. **Relatório de resultados do Procel 2014:** ano base 2013 (relatório completo). Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2014b. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B4694AC9F-90A4-4F92-B393->>

[16D42A40920F%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>](#).

Acesso em: 16 abril 2015.

PROCEL. **Relatório de resultados do Procel 2015**: ano base 2014. Sumário Executivo. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2015.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**: 2.ed. Rio de Janeiro: Procel, 2002.

ROSITO, Luciano H. Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. Capítulo IX - Sistemas de gestão da iluminação pública. **Revista O Setor Elétrico**. Set. 2009. Disponível em:

<http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/fas_desenv_ilumi_cap9.pdf>

Acesso em: 24 abr 2014.

_____. **Iluminação pública**. Centro de Treinamento EXPER. Apresentação em PDF. Maio 2013. Disponível em: <www.expersolution.com.br/#!/iluminacao-publica/chs>. Acesso em: 24 abr 2014.

SANTOS, A. M. **Proposta de um Programa de Eficiência Energética para equipamentos eletrorrurais**: estudo de caso nas Terras Altas da Mantiqueira. Dissertação (Mestrado) - Engenharia da Energia, UNIFEI, Itajubá, 2012.

SANTOS, C. R. A. **Iluminação pública e sustentabilidade energética**. Dissertação (Mestrado). – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

SCHRÉDER. **Sistema de Telegestão Schröder**. Disponível em: <<http://www.schreder.com/brs-pt/Empresa/SpiritOfInnovation/Pages/Telegestao.aspx>>.

Acesso em: 20 mar 2014.

SIMON - Tomadas e interruptores. **Relé fotoeletrônico zenital**. Disponível em: <<http://www.simonbrasil.com.br/default.aspx?pagina=rele>>. Acesso em: 10 abr 2014.

STIELETRÔNICA. **Relés fotoelétricos para comando de iluminação**. Disponível em: <<http://stieletronica.com.br/relés/#more-86>>. Acesso em: 06 mar 2013.

TESTTECH. **Análise de viabilidade e impactos da implementação de um Programa de Eficiência Energética para relés fotocontroladores**. Rio de Janeiro, 2012.

THEISEN, A. M. *et al.* Avaliação de sistema de iluminação pública do Procel Reluz. In: VASCONCELLOS, L. E. M.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Iluminação eficiente**: iniciativas da Eletrobras Procel e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2013.

THEISEN, A. M.; DAVID, R. M. Estudo sobre relés fotocontroladores. In: VASCONCELLOS, L. E. M.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Iluminação eficiente**: iniciativas da Eletrobras Procel e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2013.

THE PHYSICS CLASSROOM. Rays from Sun. Representação gráfica. Disponível em: <<http://www.physicsclassroom.com/class/light/Lesson-2/Blue-Skies-and-Red-Sunsets>>. Acesso em: 02 abr 2014.

TIMEANDDATE.COM – Twilight. Disponível em: <<http://www.timeanddate.com/astronomy/different-types-twilight.html>>. Acesso em: 04 set 2015.

TRENEV, G.; BERTOLDI, P. **The 2012 GreenLight Programme Evaluation**. European Commission. Joint Research centre. Institute for Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of European Union, 2014. Relatório disponível em: <<http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/energyefficiency/energyefficiency/energyefficiency/energyefficiency/tags/green-light-programme>> e <<http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenlight-programme/about-greenlight-programme>>. Acesso em: 05 out 2015.

Anexo A: Parque de iluminação pública no Brasil em 2008

O parque de iluminação levantado a partir de informações das empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil em 2008 pode ser verificado na Tabela 0.1.

Tabela 0.1 - Parque de iluminação pública no Brasil em 2008

Tipo de Lâmpada	Potência da lâmpada (W)	Total de lâmpadas (2008)
Vapor de Mercúrio	60	185
	70	5.757
	80	1.934.626
	100	2.690
	125	1.807.441
	150	5.990
	160	982
	200	1.408
	250	536.185
	300	14
	350	218
	360	3.127
	400	400.520
	500	688
	700	149
	1000	2.728
2000	304	
Vapor de Sódio	50	7.631
	70	4.054.420
	80	1.645
	100	1.468.142
	110	7.635
	125	77
	150	1.230.896
	160	2.115
	210	2.664
	215	47.168
	220	1
	225	3.188
	250	1.728.656
	300	216
	350	24.828
	360	107.983
	400	593.278
	500	11.235
	600	2.083
700	129	
1000	576	
2000	45	
Multi Vapor Metálico	35	32
	70	6.137
	100	851
	110	30
	150	11.828

Tipo de Lâmpada	Potência da lâmpada (W)	Total de lâmpadas (2008)
	175	389
	200	347
	250	21.189
	400	61.186
	500	69
	700	9
	1000	2.906
	1500	1.091
	2000	2.109
	Incandescentes	5
15		196
20		81
25		322
26		1.200
30		590
40		1.993
45		20
50		81
60		10.977
65		4
80		565
100		37.967
150		99.153
160		2.665
200		53.580
250		537
300		296
500		151
1000		11
2000	3	
Mistas	80	345
	100	60
	125	2.553
	150	511
	160	213.018
	200	906
	250	100.327
	300	25
	360	8
	400	886
	500	9.652
	1000	83
Fluorescentes	7	53
	9	718
	15	755
	20	3.937
	21	393
	23	90
	25	6.256
	26	5.452
	27	1.478
	30	1.989
	32	3.313
	35	642

Tipo de Lâmpada	Potência da lâmpada (W)	Total de lâmpadas (2008)
	36	192
	38	14
	40	80.268
	45	5.944
	58	52
	60	1.964
	65	45
	85	1.199
	90	29
	110	3.620
Halógena	50	75
	100	104
	114	116
	150	374
	250	68
	300	313
	350	2
	400	124
	500	1.269
	1000	2.389
Compacta	1500	10
	2000	174
	9	78
	15	90
	20	80
	23	53
	25	426
	26	158
	30	83
	35	19
Dicrónica	45	8
	46	215
	48	53
Total	17	38
		14.769.309

Fonte: Procel Reluz (2008)²³

²³ Informações contidas em planilha disponibilizada pelo subprograma Procel Reluz ao autor desta dissertação, com dados referentes ao ano de 2008.

Anexo B: Artigo apresentado no Agrener GD 2015

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



ESTUDO DO IMPACTO DO DESEMPENHO DOS RELÉS FOTOCONTROLADORES SOBRE O CONSUMO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Márcio Vargas Lomelino¹, Roberto Akira Yamachita², Jamil Haddad²

¹ Eletrobras Procel

² Universidade Federal de Itajubá
lomelinomarcio@yahoo.com.br

Resumo

A iluminação pública influencia no lazer, comércio noturno, segurança e na beleza de uma cidade. Estudos indicam que corresponde em torno de 3% do consumo total do sistema elétrico brasileiro. Os relés fotocontroladores como um dos componentes mais importantes do parque de iluminação pública consomem pouca energia, no entanto o seu mau funcionamento pode provocar o desligamento da lâmpada ou a sua permanência acesa ininterruptamente. No primeiro caso, podem ocorrer, principalmente, problemas com a segurança da população, e no segundo, o comprometimento da vida útil das lâmpadas e outros componentes desse parque, e o aumento das perdas de energia do sistema de distribuição. O objetivo deste trabalho é propor um método para estimar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo de sistemas de iluminação pública, mais especificamente a adequação desses dispositivos a critérios normativos, no que diz respeito aos níveis de operação previstos, tendo como base metodológica alguns resultados de estudos realizados pela Eletrobras Procel. Com a metodologia elaborada, estimou-se o impacto da concessão do Selo Procel, sendo constatado

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



que os benefícios estimados são significativos. Por conseguinte, recomenda-se a inclusão dos relés fotocontroladores no Programa Selo Procel.

Palavras-chave: Iluminação pública, Relé fotocontrolador, Eficiência energética, Selo Procel.

Abstract

Public lighting (IP) influence in the entertainment, night commerce, security, and in the beauty of a city. The studies show that an IP is 3% of the total consumption of the Brazilian system. The photocontrols, that are important elements of IP, they spend a few energy, however with bad performance they can switch off the lamp, or it can be lighted during the day. In the first case, it can damage the security of people and in second it can prejudice the useful life of lamps and others elements of IP, and the increase of the losses de energy in the distribution system. The purpose of this work is to suggest a method is estimate the influence of the performance of photocontrols about consumption of public lighting system, specifically, the adjustment of those elements to normative criterion, respecting the expected operation level, and it has a method basic with some results e studies of Eletrobras Procel. I t was considered with the elaborated method the influence of the concession of Procel Seal, and it was verified that the estimated benefits are significatives. Therefore, it is recommended the inclusion of photocontrols in the Seal Procel Program.

Keywords: Public lighting, Photocontrol, Energy efficiency, Selo Procel.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 (EPE, 2014), o consumo de energia elétrica na iluminação pública em 2013 foi de 13.512 GWh, correspondendo a 2,91 % do consumo total registrado naquele ano, estando próximo ao consumo do poder público e do serviço público, com 3,1% e 3,2%, respectivamente.

O Procel Reluz modernizou mais de 2,7 milhões de pontos de IP desde seu lançamento (ELETROBRAS PROCEL, 2014), no entanto apesar dos importantes avanços e benefícios alcançados, existia a necessidade de verificar a adequação dos equipamentos instalados nesses

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



sistemas de IP, colaborando com o aprimoramento do Programa e norteando novas ações da Eletrobras Procel.

Assim, em 2006 a Eletrobras firmou parceria com a Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul para a realização de um amplo estudo, que, entre outras constatações, verificou a inadequação de mais de 70% (ELETROBRAS E PUCRS, 2010) dos relés fotocontroladores em uso no estado do Rio Grande do Sul frente a critérios da Norma NBR 5123, especificamente no que diz respeito aos seus níveis liga e desliga.

Este resultado deu origem a um novo estudo da Eletrobras Procel, em parceria com a *Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), no qual a execução ficou sob responsabilidade dos Laboratórios TESTTECH. Neste, foi ensaiada uma amostra de modelos de relés representativos do mercado nacional, onde se constatou que 59% dos relés fotocontroladores (ELETROBRAS TESTTECH 2010) apresentaram funcionamento inadequado, uma vez que não atendiam aos níveis normativos vigentes.

Nesse sentido, o trabalho elaborado utilizou como base alguns dos resultados desses estudos para propor uma metodologia para avaliar o impacto do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo de sistemas de iluminação pública.

2. O RELÉ FOTOCONTROLADOR

Segundo a ABNT- NBR 5123 (1998): “Relé fotoelétrico²⁴ é um elemento do sistema que controla o acendimento e desligamento da lâmpada de acordo com o nível de luz presente no ambiente.” A Figura 1 mostra o relé fotocontrolador.

²⁴ A ABNT-NBR5123 em consulta pública denomina relé fotocontrolador

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Figura 1 - Relé fotocontrolador

O controle é realizado através do fechamento ou abertura dos contatos do relé que é feito em função da variação do nível de iluminância²⁵. Este intervalo é denominado de nível de operação, e a relação desliga/liga é determinada em função desses níveis. A tabela 1 mostra estes valores.

Tabela 1 - Nível de operação

<i>Modo de operação</i>	<i>Níveis de operação Ligar</i>	<i>Níveis de operação desligar</i>	<i>Relação desligar/ ligar</i>
iluminância (lux)	3 a 20	até 80	1,2 a 4,0

O fotodetector é um componente do relé que apresenta a variação da característica elétrica em função da luz, sendo constituído pelo fotosensor que pode se apresentar como um LDR (*Light Dependent Resistor - Resistor Dependente da Luz*) ou sensor eletrônico que pode ser um fototransistor, conforme a Figura 2, ou uma fotocélula. Neste exemplo, o relé não é 100% eletrônico, apresentando componente eletromecânico.

²⁵ Iluminância - É a quantidade de fluxo luminoso uniformemente distribuído por unidade de área de uma superfície iluminada (lux ou lm/m²), Costa 2006.

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Figura 2 - relé fotocontrolador eletrônico (vista interna)

Os tipos de controle de iluminação pública mais aplicados no Brasil são: comando individual, comando em grupo. No primeiro caso o relé fotocontrolador controla o liga e desliga de uma só lâmpada, estando sempre energizado e conectado à rede, sendo a maneira mais econômica de se ligar a iluminação pública. Já no segundo tipo, o comando é realizado em duas ou mais lâmpadas.

A energia consumida pelo próprio relé fotocontrolador não é significativa, comparando com a função que o equipamento desempenha (TESTTECH, 2012). Quando ocorre o seu mau funcionamento, pode ocorrer o desligamento da lâmpada, ou o caso em que ela permanecerá ligada ininterruptamente, comprometendo a vida útil das lâmpadas e outros componentes da iluminação pública, provocando aumento das perdas da distribuição.

Uma característica importante na especificação do relé é o seu modo de falha:

Modo de falha desligado

Conforme a ABNT NBR 5123 (em consulta pública): “Relé fotocontrolador em que a carga tende a permanecer desligada quando ocorre falha. Não apresenta continuidade elétrica entre os contatos fase e carga quando desenergizado.”

Os contatos ficam abertos, e a lâmpada permanece apagada. Neste caso a lâmpada ficará apagada dia e noite até ser providenciada a manutenção. É uma situação aceitável no que se refere à conservação da energia, no entanto compromete a segurança da população.

Modo de falha ligado

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Conforme a ABNT NBR 5123 (em consulta pública): “Relé fotocontrolador em que a carga tende a permanecer ligada quando ocorre falha. Apresenta continuidade elétrica entre os contatos fase e carga quando desenergizado.” Nesta situação, ocorre o desperdício de energia devido à lâmpada permanecer acesa durante o dia.

3. METODOLOGIA PARA AVALIAR O IMPACTO ENERGÉTICO DO DESEMPENHO DOS RELÉS FOTOCONTROLADORES SOBRE O CONSUMO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

3.1 Cálculo do Impacto energético

O estudo do impacto energético (**IE**) do desempenho dos relés fotocontroladores é baseado na estimativa do consumo (**C**) de energia elétrica do parque de IP atual que é a linha de base (**LB**), e o consumo de **IP hipotético** que é o **IP adequado**.

Define-se (**IE**) como a diferença entre o consumo da (**LB**) em que são considerados os relés que operam e os que não operam dentro dos limites determinados pela norma e o consumo hipotético onde os relés são corrigidos para atenderem a norma, conforme a equação 3.1 a seguir:

$$\mathbf{IE = CIPatual - CIPadequado \text{ (GWh/ano)}} \quad (3.1)$$

Onde:

IE é o impacto energético anual da adequação de relés a critérios normativos (GWh/ano);

CIPatual é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema atual (GWh/ano);

CIPadequado é a estimativa do consumo anual de energia elétrica do sistema adequado à norma em estudo (GWh/ano).

Este impacto energético pode ser um acréscimo do consumo ou uma economia de energia. No primeiro caso a lâmpada fica acesa por menos tempo do que o necessário e com a adequação à norma há um aumento do tempo de funcionamento necessário e com isto um acréscimo de consumo da mesma. Na segunda situação ocorre o contrário.

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



O impacto energético **IE** que equivale à economia de energia **EEN**, é mostrado na Figura 3.

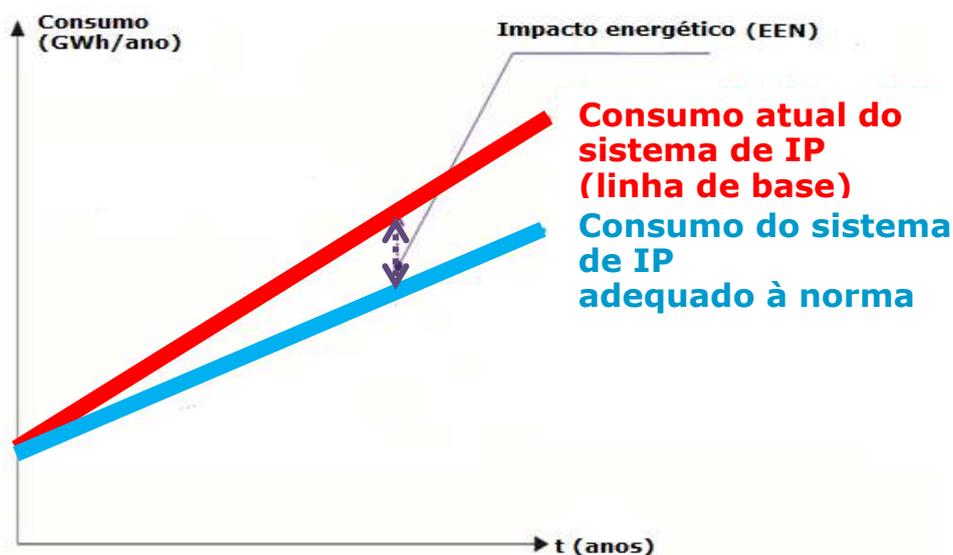


Figura 3 . Gráfico de linha de tendência considerando os relés adequados a NBR 5123

A Figura 4 mostra o fluxograma como as etapas para estimar o impacto energético do desempenho de relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública.

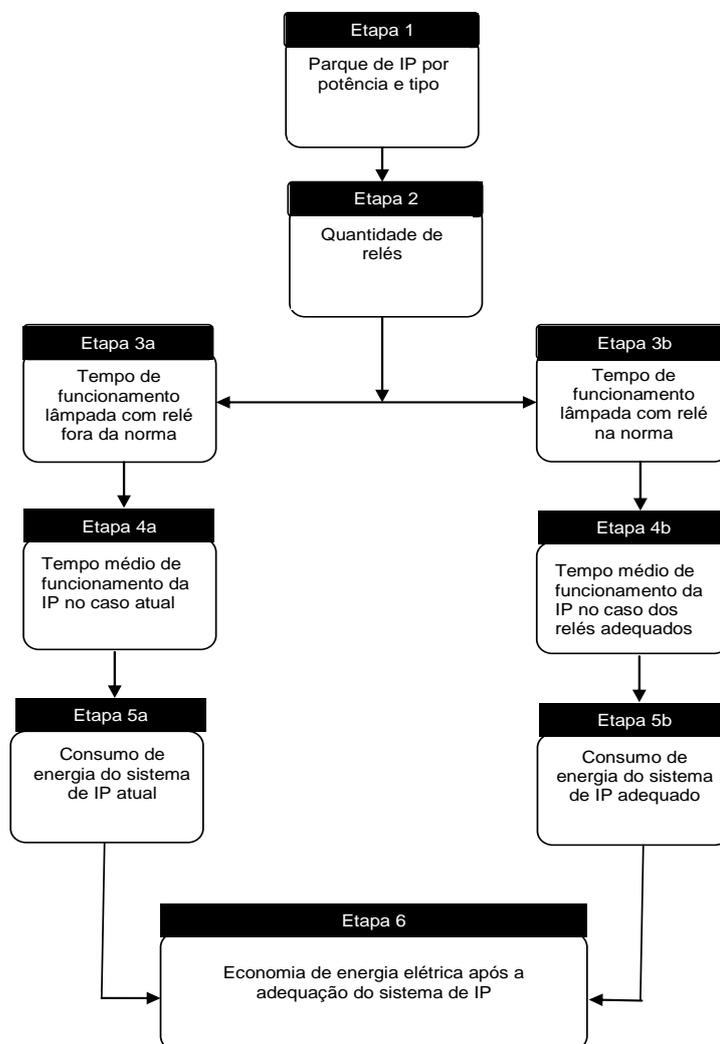


Figura 4 . Fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida

3.2 Aplicação do método para estimar o impacto da concessão do Selo Procel sobre o consumo de energia em iluminação pública no Brasil

Neste tópico será aplicada a metodologia desenvolvida para estimar o impacto energético que a concessão do Selo Procel a relés fotocontroladores poderia proporcionar ao sistema de iluminação pública brasileiro. Entende-se que o impacto gerado pela adoção do Selo Procel incorpore os resultados da adequação à Norma Brasileira NBR 5123, haja vista que essa adequação será uma das exigências para concessão do Selo Procel. A Figura 5, linha de tendência, mostra o impacto **IE** que é a economia de energia devido à adequação dos relés ao

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Selo Procel (**EES**). Nota-se no gráfico que o consumo do sistema de IP adequado à norma é maior do que o devido à adequação aos valores determinados para o Selo Procel. Portanto, no segundo os valores do nível de iluminância são mais rigorosos, conforme a tabela 2. Denomina-se **EENS**, a economia adicional de energia ao Selo Procel.

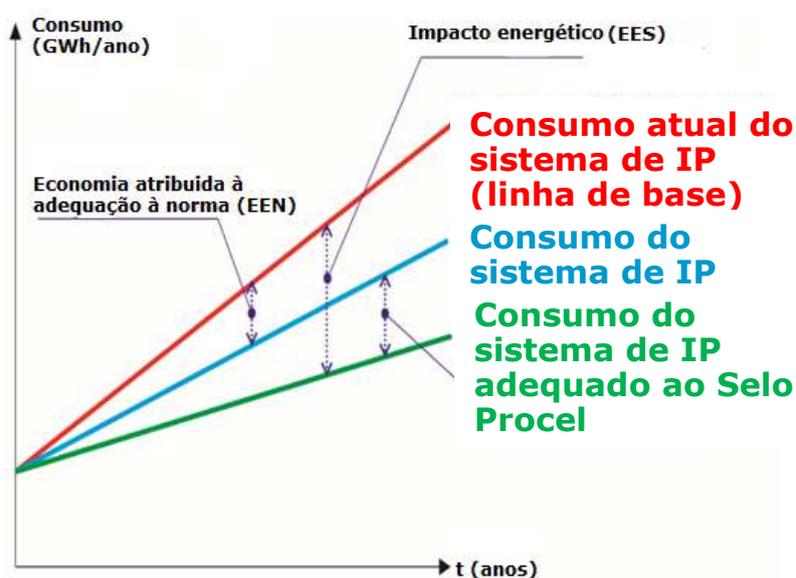


Figura 5 . Gráfico de linha de tendência considerando os relés adequados ao Selo Procel

Tabela 2. Níveis de iluminância para operação do relé para o Selo Procel

<i>Modo de operação</i>	<i>Nível liga</i>	<i>Nível desliga</i>
Iluminância (lux)	5 a 10	Até 30

Este estudo limitou-se a utilizar os dados das lâmpadas referentes à última atualização realizada pelo RELUZ (2008), em que o parque de IP brasileiro possui 14.769,309 milhões de pontos de iluminação, Posteriormente estimou-se a carga, dos anos seguintes baseada nos valores de consumo que constam no Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2014). Quanto à quantidade de relés, segundo especialistas do setor, 95% das lâmpadas são controladas de forma individual e 5% em grupo, os quais eram compostos em média por 25 lâmpadas. O total

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



de relés para o referido ano foi de 14.060.382, sendo 14.030.844 de controle individual e 29.538 de controle em grupo.

Foram utilizadas nos cálculos as curvas da iluminância amanhecer e anoitecer, Figuras 6 e 7, obtidas no estudo do Procel/PUCRS e o percentual de relés que são vendidos fora dos critérios normativos, ou seja, 59% do total, conforme o estudo Eletrobras Procel /Testtech. A tabela 3 mostra os resultados referentes ao impacto energético em 2008.

Tabela 3. Cálculo do impacto energético (*IE*)

<i>Ano</i>	<i>TFN (h/ano)</i>	<i>TN anual (h/ano)</i>	<i>Treal anual (h/ano)</i>	<i>Tadequado Selo anual (h/ano)</i>	<i>CIP atual (GWh/ano)</i>	<i>CIP adequado SeloProcel (GWh/ano)</i>	<i>IE (GWh/ano)</i>
2008	4701,2	4672	4.688,0	4.617,25	10.222,24	10.067,98	154,26

$$\mathbf{Trealanual} = (TN \cdot P_n + TFN \cdot P_{fn}) \cdot 365 \text{ (h/ano)}$$

Treal é o tempo médio diário de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP (h);

TFN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé fora da norma (h);

TN = tempo diário de funcionamento de uma lâmpada controlada por um relé adequado ao critério normativo (h);

P_n é o % de relés que operam de acordo com os critérios normativos

P_{fn} é o % de relés que operam em desacordo com os critérios normativos

$$\mathbf{Tadequado.Selo.Procel \text{ anual (TSelo)} = (TSelo) \cdot 365 \text{ (h/ano)}$$

PSelo é o % de relés que operam de acordo com os critérios do Selo Procel

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



T_{Selo} = tempo médio diário de funcionamento das lâmpadas do sistema de IP (h) para o relé com Selo

$$CIP_{2008} = \sum_{i=1}^n Pot_i \cdot T_{real} \cdot Q_{Li} / 10^9 \text{ (GWh/ano)}$$

i = índice que indica um determinado tipo e potência de lâmpada

n = quantidade de lâmpadas por tipos e potências

Pot_i = potência da lâmpada i

$$Q_{Li} = R_{ind.i} + R_{grupo.i} \cdot Q_{lampm.grupo}$$

Q_{Li} = quantidade de lâmpadas em função dos relés

$R_{ind.i}$ = quantidade de relés que controlam individualmente um tipo e potência i de lâmpada

$R_{grupo.i}$ = quantidade de relés que controlam em grupo um tipo e potência i de lâmpada

$Q_{lampm.grupo}$ = quantidade média de lâmpadas em um grupo controlado

$$CIP_{adequado.SeloProcel2008} = \sum_{i=1}^n Pot_i \cdot T_{adequado.SeloProcel} \cdot Q_{Li} / 10^9 \text{ (GWh/ano)}$$

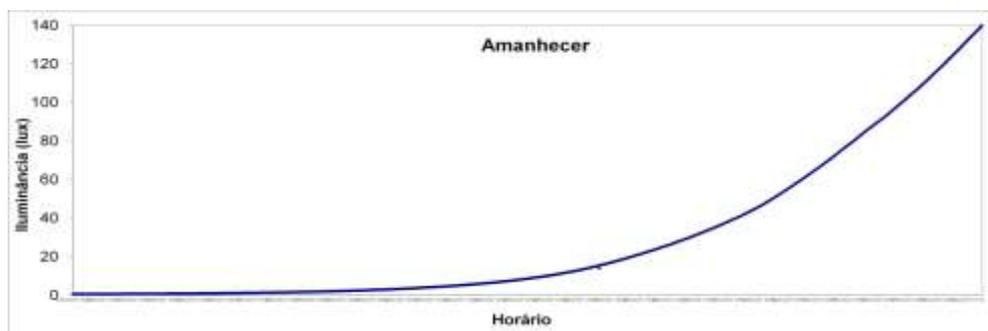


Figura 6. Curva de iluminância ao amanhecer (CEIP 2007)

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015

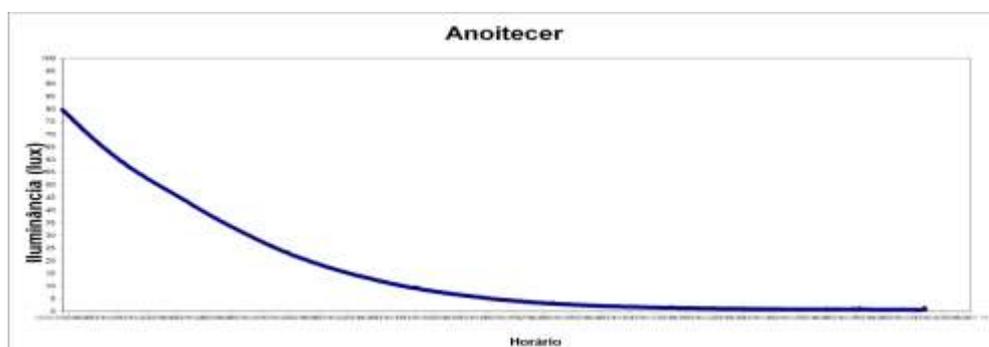


Figura 7. Curva de iluminância ao anoitecer (CEIP 2007)

Na atualização dos valores de consumo para o ano de 2016 foi utilizada a taxa média de evolução do consumo de IP no Brasil entre 2008 e 2016, 3,4 % ao ano, obtida a partir de dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 (EPE, 2014a):

CIPreal = 13.357,05 (GWh/ano)

CIPadequadoSelo Prcel= 13.155,47 (GWh/ano)

O impacto energético **IE** com a adequação de todos os relés aos critérios do Selo Procel, utilizando a equação 3.1 é: 201,58 GWh/ano Tabela 4 mostra este impacto energético para 3 potenciais técnicos em função dos percentuais de relés com Selo Procel instalados no sistema de iluminação pública em 2016.

Tabela 4 - Cenário de economia de energia com a evolução da quantidade de relés com Selo Procel em 2016

<i>Percentual de relés com Selo Procel</i>	<i>Economia de energia elétrica (GWh)</i>
20%	40,32
50%	100,79
100%	201,58

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



4. BENEFÍCIOS DA CONCESSÃO DO SELO PROCEL PARA RELÉS FOTOCONTROLADORES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O impacto proporcionado pela concessão do Selo Procel a relés fotocontroladores poderá trazer alguns benefícios ao setor elétrico nacional, assim como ao meio ambiente e às prefeituras do país. Para avaliar os benefícios referente aos 2 primeiros, foram utilizados três cenários: 20% de relés com selo Procel, que é a média de venda de equipamentos com o mesmo a outros equipamentos de IP, conforme Eletrobras Procel (2014b); 50% e 100% de relés com o Selo Procel. Estes benefícios, calculados a seguir, são: econômicos; ambientais; e residências atendidas com a economia de energia.

4.1 Benefício econômico

O benefício econômico é o custo evitado, que é calculado em função da energia economizada devido ao uso do relé com o Selo Procel e o custo marginal de expansão da geração²⁶. Na tabela 5 é apresentado este custo para 3 cenários.

$$CE = EES \cdot CME$$

CE = custo da expansão evitado (milhões de R\$)

EES = Economia de energia Selo Procel em relação ao consumo atual (GWh)

CME = Custo Marginal de Expansão (2016) = 112.000 R\$/GWh

Na tabela 5 é apresentado este custo para 3 cenários.

²⁶ A metodologia utilizada para o cálculo do custo evitado se baseia no Custo Marginal de Expansão (CME). O valor adotado para o CME foi de R\$ 112/MWh, conforme proposta do Plano Decenal de Expansão de Energia 2023.

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Tabela 5 - Custo de expansão evitado em milhões de R\$

<i>Cenário</i>	<i>Economia de Energia (GWh)</i>	<i>Custo de expansão evitado (CE) (milhões de R\$)</i>
20%	40,32	4,51
50%	100,79	11,30
100%	201,58	22,58

4.2 Benefícios ambientais

A energia economizada com a inserção de relés com Selo Procel pode ser convertida em emissões evitadas do CO₂, que correspondem às emissões proporcionadas por “n” veículos.

Propiciam, também, a postergação de entrada de uma nova usina no sistema.

4.2.1 Emissões evitadas (EME)

EME (mil tCO_{2e}) = Energia economizada por ano (GWh) · Fator de emissão médio (tCO₂/GWh)

Fator de Emissão médio = 130 tCO_{2e}/GWh²⁷

Energia economizada no ano (Veículos/ano)²⁸

Energia economizada no ano (Veículos/ano) = Energia total economizada no ano (GWh)/

Energia total economizada no ano (GWh)/veículo

²⁷ Utilizou-se o fator de emissão médio de CO₂ equivalente disponibilizado em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/321144.html#ancora> para os meses de janeiro a maio de 2015. Esse fator tem como objetivo estimar a emissão de CO₂ equivalente associada a uma geração de energia elétrica determinada.

²⁸ Conforme 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories e consulta a especialista da área.

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



4.2.2 Usina equivalente

A energia economizada com a inserção de relés com Selo Procel também equivale à energia fornecida, em um ano, por uma hidrelétrica com capacidade em MW.

Cálculo da usina equivalente (GER)²⁹

$$\mathbf{GER} = \text{EES} / 0,56 \cdot 0,85 \cdot 8760 \cdot 1000 \text{ (MW)}$$

EES = Economia de energia Selo Procel em relação ao consumo atual (GWh)

Na tabela 5 são apresentados este custo para 3 cenários a usina equivalente, emissões evitadas de gases efeito estufa e número de veículos.

Tabela 5. Usina equivalente, Emissões evitadas de gases de efeito estufa, e número de veículos.

<i>Cenário</i>	<i>Economia de Energia (GWh)(EES)</i>	<i>Usina equivalente (MW)</i>	<i>Emissões evitadas de gases de efeito estufa (mil tCO₂e)</i>	<i>Número de veículos</i>
20%	40,32	10	5,24	1.842
50%	100,79	24	13,10	4.604
100%	201,58	48	26,20	9.209

Com o aumento da energia economizada com a inserção de relés com Selo Procel, há um aumento das emissões evitadas do CO₂, e um aumento do número de veículos correspondentes a estas emissões.

4.3 Número de residências atendidas

²⁹ Resultados do Procel Ano Base 2014 (2015):

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



Em função da economia de energia proporcionada pela utilização do Selo Procel por ano e o consumo médio mensal por residência tem-se o número de residências que poderiam ser atendidas por ano. Com o aumento da energia economizada, há um aumento de residências, e se o consumo médio mensal por residência em 1 ano for menor, o número destas residências atendidas aumenta. A tabela 6 mostra o número de residências atendidas para os 3 cenários.

$$\mathbf{RES} = \mathbf{EES} / (\mathbf{Cméd-m-res}) \cdot 1000000$$

EES = Economia de energia Selo Procel em relação ao consumo atual (GWh)

Cméd-m-res (kWh/mês/consumidor)³⁰ = Consumo médio mensal por residência em 12 meses

Cméd-m-res = 167 (kWh/mês/consumidor)

Tabela 6 - Número de residências atendidas em 1 ano

<i>Cenário</i>	<i>Economia de Energia (GWh)</i>	<i>Residências atendidas em 1 ano (RE)</i>
20%	40,32	19.893
50%	100,79	49.729
100%	201,58	99.457

5. CONCLUSÕES

A metodologia para estimar o impacto do desempenho dos relés fotocontroladores sobre o consumo da iluminação pública é baseada na diferença entre a estimativa de consumo de

³⁰ Considerando que o consumo médio mensal de energia de uma residência no Brasil é de 167 kWh (Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, ano VIII, nº 88, Janeiro de 2015, EPE). .

AGRENER GD 2015**10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**

11 a 13 de novembro de 2015



energia de elétrica de um sistema real e o consumo de um sistema hipotético, onde os relés são corrigidos para atenderem à norma.

A aplicação do método contemplou 3 cenários, a saber: o cenário 1 - 20%; o cenário 2 - 50% e o cenário 3 - 100%. Para um cenário com 100% dos relés fotocontroladores em 2016, há uma economia de energia de 201,58 GWh, com um custo de expansão evitado do sistema elétrico brasileiro de R\$ 22,57 milhões e emissões evitadas de gases efeito estufa de 26,20 mil tCO₂e. Estas emissões evitadas de gases de efeito estufa correspondem ainda às emissões proporcionadas por 9.209 veículos durante um ano.

Com esta economia há também como benefício à postergação de entrada de usina de 48 MW e suprimento de 99.457 residências brasileiras durante 1 ano. Por conseguinte, recomenda-se a inclusão dos relés fotocontroladores no Programa Selo Procel, e a utilização do modo de falha desligado colaboraria com a economia de energia e seria a melhor condição para a concessão do Selo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5123:1998 - Relé Fotoelétrico e Tomada para Iluminação - Especificação e Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

COSTA, G. J. Iluminação Econômica. Técnicas para Planeta. Rio de Janeiro: Cepel, 2006.

ELETOBRAS e PUCRS. Relatório Final do Projeto de Avaliação dos Sistemas de IP Financiados pelo Procel Reluz. Rio de Janeiro, 2010.

ELETOBRAS e TESTTECH. Análise de Viabilidade e Impactos da Implementação de um Programa de Eficiência Energética para Relés Fotocontroladores. Rio de Janeiro, 2010.

ELETOBRAS PROCEL. Relatório de Resultados do Procel 2015: ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015b.

AGRENER GD 2015

10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural

11 a 13 de novembro de 2015



EPE - **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx> Consultado em 10/03/2015.