

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA MARIA DE MENEZES

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC
AUDITORIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS MOTRIZ, ILUMINAÇÃO E
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL APLICADO EM UM CONSUMIDOR
COMERCIAL DE BAIXA TENSÃO

Joinville, Santa Catarina

2016

ANA MARIA DE MENEZES

**AUDITORIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS MOTRIZ, ILUMINAÇÃO E
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL APLICADO EM UM CONSUMIDOR
COMERCIAL DE BAIXA TENSÃO**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira.

JOINVILLE/SC

2016

ANA MARIA DE MENEZES

**AUDITORIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS MOTRIZ, ILUMINAÇÃO E
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL APLICADO EM UM CONSUMIDOR
COMERCIAL DE BAIXA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membros:

Prof. MSc. Marcos Fergütz

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Prof. Dr. Fabiano Ferreira Andrade

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Joinville, SC, 02/12/2016

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais Marli e Rui por toda a paciência, amor e dedicação que investiram a mim, e pela educação que me passaram durante minha vida.

Ao professor Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira pelo auxílio, ensinamentos e apoio durante este projeto.

Aos professores que de toda forma me ajudaram a me desenvolver no âmbito profissional e pessoal.

Aos meus amigos e colegas que me ajudaram quando precisei e sempre estiveram ao meu lado por toda a graduação.

À minha avó Iolanda, por sempre me incentivar a não desistir.

Ao meu namorado por me acompanhar nas tardes horas de estudo.

A minha família e entes queridos que sempre torceram pelo meu sucesso e minha felicidade.

RESUMO

Devido à demanda de energia elétrica no Brasil possuir tendência de crescimento e, sua matriz energética não acompanhar isto, são necessárias melhorias nas instalações residenciais, comerciais e fabris visando a economia de energia. Neste TCC será realizado uma auditoria energética com ênfase na melhoria do desempenho dos sistemas de iluminação (luminotécnica), sistema motriz e condicionamento ambiental em um consumidor comercial de baixa tensão, e com a ajuda do Guia de M&V da Aneel foi possível analisar se a nova adequação dos sistema foram viáveis ou não para implementação tanto aplicado à edital da Celesc, como o sistema motriz que obteve a RCB menor que 0,8 como requerido pelo módulo 7 do Guia de M&V, ou se esta adequação se tornará somente benéfica ao consumidor ao aplicá-la como será observado no estudo do sistema luminotécnico e de condicionamento de ar.

Palavras-chave: projeto eficiência energética, medição e verificação, luminotécnica, condicionamento ambiental, sistemas motrizes.

ABSTRACT

Due to the demand for electric power in Brazil, it has a tendency to grow and its energy matrix does not follow this, it is necessary to improve the residential, commercial and industrial facilities in order to save energy. In this TCC an energy audit will be carried out, with the emphasis on improving the performance of lighting systems (motor lighting), driving system and environmental conditioning in a commercial consumer of low voltage, and with the help of the Aneel M&V Guide it was possible to analyze if the new Whether the system was feasible or not for implementation both applied to the Celesc tender, and the driving system that obtained the RCB less than 0.8 as required by module 7 of the M&V Guide, or whether this adjustment will only be beneficial to the consumer when apply it as will be observed in the study of the lighting and air conditioning system.

Keywords: energy efficiency project, measurement and verification, lighting engineering, environmental conditioning, driving systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas do PEE.....	18
Figura 2 - Fases do projetos e atividades de M&V	30
Figura 3 - Selo procel	33
Figura 4 - Lâmpada incandescente	40
Figura 5 - Lâmpada halógena	41
Figura 6 - Lâmpada fluorescente compacta.....	41
Figura 7 - Lâmpada fluorescente tubular.....	42
Figura 8 - Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão	43
Figura 9 - Lâmpada a vapor metálicas.....	44
Figura 10 - Lâmpada mista.....	44
Figura 11 - Lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão.....	45
Figura 12 - Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.....	46
Figura 13 - Partes constituintes de motores de indução trifásicos.....	59
Figura 14 - Distribuição percentual das perdas em função da carga	60
Figura 15 - Distribuição percentual das perdas em função da potência do motor.....	61
Figura 16 - Rendimentos mínimos de motores de acordo com a norma NBR-7094 A – motores de alto rendimento; B – motores de projeto padronizado.....	62
Figura 17 - Discrepâncias de resultados sob diferentes normas	64
Figura 18 - Instrumentos utilizados em análises expeditas	64
Figura 19 - Curvas características do motor de 100cv	65
Figura 20 - Curvas características do motor de 90cv	66
Figura 21 - Medida de Potência com Wattímetro Alicata	68
Figura 22 - Linearização da Curva de Corrente	69
Figura 23 - Luxímetro ICEL Manaus LD-510	75
Figura 24- Luminária utilizada no projeto.....	78
Figura 25 - Fator de utilização.....	78
Figura 26 - Refletância de materiais e cores.....	79
Figura 27 - Vista superior do mercado	81
Figura 28 - Simulação do interior do mercado	82
Figura 29 - Relatório de simulação do corredor de rações	82
Figura 30 - Localização do mercado via Google Maps.....	92
Figura 31 - Selo PROCEL de economia de energia	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas de iluminação	21
Tabela 2 - Sistemas de condicionamento ambiental.....	23
Tabela 3 - Sistemas motrizes	24
Tabela 4 - Faixa de comprimento de onda das cores do espectro visível.....	35
Tabela 5 - Fatores de manutenção	35
Tabela 6 - COP típico para condicionadores de ar autônomos.....	57
Tabela 7 - Valores de x e tipos de cargas associadas	70
Tabela 8 - Valores de $\Delta\theta F$ e TA	73
Tabela 9 - Dados coletados.....	76
Tabela 10 - Dados ABNT 8995-1.....	77
Tabela 11- Resultados da simulação	80
Tabela 12 - Equipamentos a serem trocados	83
Tabela 13 - Sistemas de iluminação	84
Tabela 14 - Dados coletados do sistema motriz atual	86
Tabela 15 - Análise do dimensionamento e carregamento do motor	88
Tabela 16 - Novos Equipamentos.....	88
Tabela 17 - Comparação das potências do sistema	89
Tabela 18 - Equipamentos a serem trocados	89
Tabela 19 - Relação dos aparelhos de ar condicionado.....	92
Tabela 20 - Relação dos aparelhos de ar condicionado.....	95
Tabela 21 - Relação dos aparelhos de ar condicionado.....	96
Tabela 22 - Equipamentos a serem trocados	96
Tabela 23 - Sistemas de condicionamento ambiental.....	98
Tabela 24 - Relação dos aparelhos de ar condicionado.....	100
Tabela 25 - Relação dos aparelhos de ar condicionado.....	101
Tabela 26 - Aparelhos substituídos	102
Tabela 27 - Sistemas de condicionamento ambiental.....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACES

MME – Ministério de Minas e Energia

SEE – Secretaria de Energia Elétrica

PEE – Programa de Eficiência Energética

ProPEE – Procedimentos do Programa de Eficiência Energética

M&V – Medido e Verificao

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ONG – Organizao não Governamental

PROCEL – Programa Nacional de Conservao de Energia Elétrica

SGPEE – Sistema de Gestão de Eficiência Energética

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

AEE – Aoes de Eficiência Energética

RDP – Reduo de Demanda na Ponta

EE – Energia Economizada

RCB – Relao Custo Benefício

PIMPV – Protocolo Internacional de Medido e Performance

EVO – *Efficiency Valuation Organization*

RGR – Reserva Global de Reversão

E_m - Iluminamento

URG – ndice de Ofuscamento Unificado

R_a – Reproduo de Cor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA.....	14
1.2	QUESTÃO DA PESQUISA.....	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
1.4	ESTRUTURA DO TEXTO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	EFICIENCIA ENERGÉTICA	16
2.2	PROPEE	17
2.2.1	Módulo 4 – Tipologia de Projetos	19
2.2.2	Módulo 7 – Cálculo da viabilidade.....	26
2.2.3	Módulo 8 – medição e verificação dos resultados.....	27
2.3	PROCEL.....	32
2.4	EFICIENCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS LUMINOTÉCNICOS.....	33
2.4.1	Definições:.....	34
2.4.1.1	Eficiencia luminosa (EL) de uma fonte.....	34
2.4.1.2	Espectro eletromagnético	34
2.4.1.3	Depreciação do fluxo luminoso.....	35
2.4.1.4	Fator de manutenção (Fm).....	35
2.4.1.5	Fator de utilização (Fu).....	36
2.4.1.6	Fluxo luminoso (ϕ)	36
2.4.1.7	Iluminância (E).....	36
2.4.1.8	Índice de reprodução de cor (IRC)	36
2.4.1.9	Intensidade luminosa (IL).....	36
2.4.1.10	Luminância (L).....	37
2.4.1.11	Temperatura de cor correlata (TCC)	37
2.4.1.12	Vida mediana nominal (horas)	37
2.4.2	Equipamentos Auxiliares:.....	37

2.4.2.1	Luminárias	37
2.4.2.2	Controlador de Luz	37
2.4.2.3	Difusor	38
2.4.2.4	Reator.....	38
2.4.2.5	Starter.....	38
2.4.2.6	Refletores.....	38
2.4.2.7	Refratores.....	38
2.4.2.8	Sensor de Presença	39
2.4.2.9	Sistema de Controle Fotoelétrico	39
2.4.2.10	Minuterias	39
2.4.2.11	Dimmers	39
2.4.3	Lâmpadas:	39
2.4.3.1	Lâmpadas incandescentes (tradicional)	40
2.4.3.2	Lâmpadas incandescentes halógenas	40
2.4.3.3	Lâmpada fluorescentes compactas	41
2.4.3.4	Lâmpadas fluorescentes tubulares	42
2.4.3.5	Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão.....	42
2.4.3.6	Lâmpadas a vapor metálicas	43
2.4.3.7	Lâmpadas mistas.....	44
2.4.3.8	Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão	45
2.4.3.9	Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão	46
2.4.3.10	Diodo emissor de luz (LED).....	47
2.4.4	Cálculo de Iluminação em Projetos de Eficiência Energética:	47
2.4.4.1	Escolha do nível de iluminamento (E).....	48
2.4.4.2	Determinação do fator do local (K)	48
2.4.4.3	Escolha de lâmpadas e luminárias	48
2.4.4.4	Determinação do fator de utilização (Fu)	48
2.4.4.5	Determinação fluxo total (ϕT)	49
2.4.4.6	Cálculo do Número de Luminárias.....	49
2.4.4.7	Distribuições de luminárias	50
2.5	EFICIENCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	50
2.5.1	Melhorias Relativas à Estrutura	52
2.5.1.1	Transmissão térmica	52

	12
2.5.1.2	Insolação..... 52
2.5.1.3	Infiltração de ar e umidade 52
2.5.2	Melhorias por Tipo de Sistema de Ar Condicionado 53
2.5.2.1	Sistema com vazão de ar variável (VAV) 53
2.5.2.2	Sistemas com vazão de ar constante (VAC)..... 53
2.5.2.3	Sistemas de indução..... 54
2.5.2.4	Sistemas duplo duto..... 54
2.5.2.5	Sistemas de zona única 55
2.5.2.6	Sistema com reaquecimento terminal..... 55
2.5.3	Controle e Regulagem 56
2.5.4	Rendimentos dos Equipamentos de Condicionamento de Ar 56
2.6	EFICIENCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE SISTEMAS MOTRIZES ... 57
2.6.1	Perdas e Rendimento da Máquina “Motor de Indução” 58
2.6.2	Motor de Alto Rendimento 61
2.6.3	Análise de Carregamento 63
2.6.3.1	Dados de fabricantes..... 65
2.6.3.2	Método da linearização..... 66
2.6.4	Análise do Processo Dinâmico 69
2.6.5	Análise Térmica 72
2.6.6	Viabilidade Econômica 73
3	ESTUDO DE CASO 75
3.1	PROJETO DE EFICIENCIA LUMINOTÉCNICA 75
3.1.1	Levantamento dos dados e análise 76
3.1.2	Investimento Inicial 83
3.1.3	Resultados e benefícios 83
3.2	PROJETO DE EFICIENCIA EM MOTRIZ 85
3.2.1	Levantamento dos dados e análise 86
3.2.2	Investimento Inicial 89
3.2.3	Resultados e benefícios 90
3.3	PROJETO DE EFICIENCIA EM CONDICIONAMENTO AMBIENTAL 91
3.3.1	Levantamento dos dados e análise 91
3.3.2	Investimento Inicial 96
3.3.3	Resultados e benefícios 97

3.3.4 Análise	100
3.3.5 Investimento Inicial	101
3.3.6 Resultados e benefícios	102
4 CONCLUSÃO	105
4.1 TRABALHOS FUTUROS	106
REFERÊNCIAS:	107
APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS EM SIMULAÇÃO	107
APÊNDICE B – VALORES DOS EQUIPAMENTOS	1079

1 INTRODUÇÃO

Recentemente o país sofreu com uma crise em sua matriz hídrica, forçando assim o aumento da geração de energia via fontes térmicas, que possuem um alto custo de geração, tornando o custo de energia muito elevado. Por conta de crises como esta, surgiu assim à necessidade de realizar melhorias tanto no âmbito de geração de energia, quanto na eficiência do seu consumo.

Nota-se que há grande desperdício de energia por utilização de equipamentos pouco eficientes e/ou obsoletos e, mal dimensionados. Para isso, no âmbito do Ministério das Minas e Energia (MME), dentro da Secretaria de Energia Elétrica (SEE) e por meio do Programa de Eficiência Energética da Aneel (PEE), existem procedimentos técnicos e de gestão com o viés da Eficiência Energética, que devem ser realizados a fim de adequar as instalações.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Estudo referente às áreas de luminotécnico, condicionamento ambiental e motriz realizado no Mercado Horodenski..

1.2 QUESTÃO DA PESQUISA

As questões que norteiam este estudo são as seguintes:

- a) É possível realizar um projeto luminotécnico, motriz e condicionamento ambiental energeticamente eficientes seguindo as normas do PROPEE?
- b) É possível tornar um mercado de pequeno porte numa instalação mais eficiente avaliando quais alterações serão necessárias nos âmbitos luminotécnico, motriz e condicionamento ambiental?
- c) É possível avaliar a eficiência energética das ações de eficiência energética realizadas na instalação com os métodos de Medição e Verificação?

1.3 OBJETIVOS

A seguir serão enunciados os objetivos geral e específico do estudo.

1.3.1 Objetivo geral

Realizar um projeto de eficiência energética para o mercado Horodenski e analisar sua viabilidade por meio dos métodos de M&V da Aneel.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar o levantamento de carga referente às áreas de luminotécnica, sistemas motrizes e condicionamento ambiental do Mercado Horodenski;
- b) Definir o número de amostras de medição com base em conhecimento estatísticos e aplicar metodologias do guia de M&V da ANEEL;
- c) Elaboração de soluções para serem propostas no projeto de eficiência energética;
- d) Analisar a viabilidade do projeto com base na Relação de Custo e Benefício..

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

Nos capítulos a seguir, serão apresentados a referência bibliográfica no qual foram estudados o conceitos de eficiência energética, os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) e seus módulos, o estudo sobre eficiência energética nos âmbitos de luminotécnica, condicionamento ambiental e motriz e o estudo em projetos nestas áreas.

Em seguida, no terceiro capítulo, após a revisão bibliográfica serão apresentados as propostas de projetos que podem ser realizados no mercado Horodenski nos âmbitos de luminotécnica, condicionamento ambiental e motriz, a fim de tornar o mercado mais eficiente nestas áreas.

Finalmente, serão apresentados as conclusões, os resultados e as sugestões para futuros projetos na área estudada neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo de eficiência energética nos âmbitos de luminotécnica, sistema motriz e condicionamento ambiental são tópicos abordados neste capítulo, a fim de guiar na realização de projetos de eficiência nestas áreas.

2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Por muito tempo, a sociedade tem utilizado a energia sem a preocupação com relação ao desperdício em seu consumo e seus custos. Por conta deste uso desregrado e inconsciente, as despesas de todos os setores de nossa economia tem se tornado elevado.

No caso do setor de comércio, em especial, verificava-se que o custo de energia não era a principal preocupação, visto que este era representado, normalmente, pelo consumo em sistemas de iluminação, refrigeração e motriz.

Hoje, porém, nota-se que esta situação tem mudado, o consumo de energia tem se tornado custoso, sendo assim, combatido pelos consumidores, comerciantes, empresas, indústrias e, até mesmo, pelos governos e ONGs (Organizações Não Governamentais). Diversos programas vêm sendo desenvolvidos em âmbito internacional, com a intenção de conscientizar a população de o quão importante é o uso eficiente de energia, isto é, consumir menos de modo que não haja qualquer prejuízo nos níveis de conforto, segurança e produtividade[1].

Segundo os dados fornecidos pela Associação Brasileira de Supermercados (Abras), no ano de 2014, o consumo de energia no segmento foi de 8,6 GWh, que resulta em 2,5% do consumo total do país no mesmo ano. O consumo médio por estabelecimento ficou em 103 MWh, resultando num gasto de cerca de 3,5 bilhões somente em conta de energia. Com o cenário atual, verificou-se a necessidade de gerir eficientemente o consumo de energia, gerando assim uma despesa menor que pode refletir numa política de descontos para o consumidor, conseqüentemente, aumentando as vendas e o lucro [2].

Hoje no Brasil, a preocupação da sociedade com a redução da energia elétrica, em especial por lojistas, foi concretizada em 1985 com a criação do PROCEL

(Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Este foi criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME), com a finalidade de definir estratégias e mobilizar os vários segmentos da sociedade para que se possa levar a todas as pessoas a importância do uso consciente de energia elétrica. [1]

Com a necessidade de alcançar maior eficiência energética nas instalações e no sistema de geração e distribuição de energia elétrica, projetos de eficiência energética (ProEE) têm se mostrado uma opção para que torne-se efetivo. Devido a isso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovou em julho de 2013 a Resolução Normativa nº 556, que define as diretrizes para futuros projetos, chamado de Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE)[3].

2.2 PROPEE

Os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) são um guia que determina os procedimentos dirigidos às distribuidoras, para a elaboração e execução de Projetos de Eficiência Energética (ProPEE) regulados pela ANEEL.

É definido no PROPEE a estrutura e forma de apresentação dos projetos, seus critérios de avaliação e de fiscalização e os tipos de projetos que podem ser realizados com os recursos do PEE. São apresentados, também, os procedimentos para a contabilização de custos e apropriação dos investimentos a serem realizados.

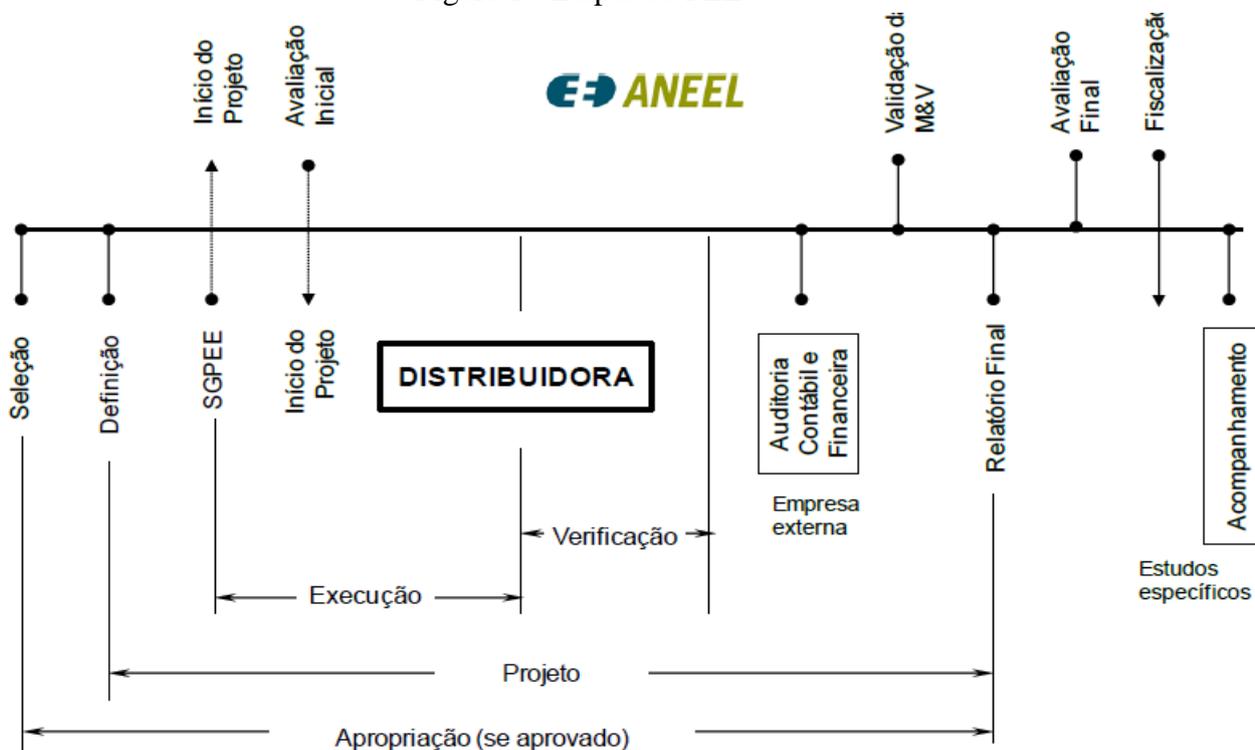
O Programa de Eficiência Energética (PEE) visa promover o uso eficiente e consciente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que visem a importância e a viabilidade econômica das ações de combate ao desperdício de energia e quanto à melhoria da eficiência energética dos equipamentos, processos e usos finais da energia.

As etapas do PEE, como demonstrado na Figura 1, consiste em:

- **Seleção:** são incluídas as atividades de prospecção, pré-diagnóstico e seleção dos projetos por meio de Chamadas Públicas ou diretamente pela distribuidora;
- **Definição:** são definidas quais ações de eficiência energética a ser implantada com a respectiva análise técnica-econômica e as bases para a atividade de M&V;
- **SGPEE:** Sistema de Gestão de PEE, sistema da ANEEL que tem por finalidade a realização do cadastro de todos os projetos do PEE;

- **Avaliação Inicial:** projetos que necessitem de avaliação inicial, conforme o Módulo 9 do PROPEE, deverão ser submetidos à aprovação prévia da ANEEL;
- **Execução:** elaboração do Plano de M&V e implementação das ações que foram definidas na etapa de definição;
- **Verificação:** realização das ações e da etapa inicial do período da determinação da economia das atividades de M&V;
- **Validação da M&V:** validação do processo M&V realizada pela ANEEL;
- **Auditoria Contábil:** formulação do relatório da Auditoria;
- **Relatório Final:** realizado a fim de apresentar os resultados obtidos após a conclusão do projeto, devendo ser carregado no SGPEE junto dos Relatórios de M&V e de Auditoria;
- **Avaliação Final:** é obrigatória após o término de todos os projetos desenvolvidos no âmbito do PEE, é definido segundo o Modulo 9 de PROPEE;
- **Fiscalização:** realizado pela ANEEL, segundo o Modulo 10 do PROPEE;
- **Acompanhamento:** avalia a continuidade das ações de eficiência energética implementadas e as mudanças do mercado.

Figura 1 - Etapas do PEE



O objeto da criação do PROPEE é padronizar os procedimentos e determinar regra e documentos para que os recursos do PEE possam ser devidamente aplicados. Tem-se que este é dividido em 10 módulos:

1. **Introdução:** Apresenta o Programa, seus aspectos legais e regulatórios relacionados;
2. **Gestão do Programa:** Apresenta os aspectos gerenciais que permeiam as ações do PEE e os recursos destinado aos Planos de Gestão das Distribuidoras;
3. **Seleção e Implantação de Projetos:** Apresenta a forma preferencial para a seleção dos projetos e orienta qual a melhor forma de implantação junto aos interessados e consumidores;
4. **Tipologias de Projetos:** Apresenta os tipos de projetos do PEE e quais as suas características principais;
5. **Projetos Especiais:** Específicas projetos que merecem atenção especial, tanto das distribuidora quanto do regulador;
6. **Projetos com Fontes Incentivadas:** Aborda os projetos de eficiencia com fontes incentivadas, que tem como objetivo estabelecer as diretrizes para projetos com adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica;
7. **Cálculo da Viabilidade:** trata dos diferentes fatores e formas de cálculo da viabilidade econômica do projeto realizado;
8. **Medição e Verificação de Resultados:** Estabelece todos os procedimentos para aferição e avaliação de resultado e benefícios energéticos provenientes do projeto;
9. **Avaliação dos Projetos e Programa:** Estabelece todos os procedimentos para a avaliação dos projetos do PEE;
10. **Controle e Fiscalização:** Estabelece todos os procedimentos para a apuração e fiscalização dos gastos dos projetos do PEE.

2.2.1 Módulo 4 – Tipologia de Projetos

Este módulo apresenta as características das tipologias de projetos do PEE e indica as sessões onde se encontram as diretrizes para nortear a sua realização. São

definidos todos os documentos que deverão ser entregues à Aneel para a fase de Definição de projetos ser concluída.

O PEE inclui projetos de eficiência energética em todos os setores da economia, classes de consumo e usos finais. Alguns destes projetos possuem características especiais quanto à importância para o desenvolvimento da eficiência energética ou suas formas de contratação. O PEE também indica a forma prioritária de prospecção de projetos.

As tipologias de projetos caracterizadas por este módulo são: Indústria, Comércio e Serviços, Poder Público, Serviços Públicos, Rural, Residencial, Baixa Renda, Gestão Energética Municipal, Educacional e Iluminação Pública.

Os equipamentos instalados a serem adquiridos com recurso do PEE devem ser energeticamente eficientes, detentor do Selo Procel de Economia de Energia ou pelo Selo Procel (ELETROBRAS/PROCEL, em parceria com o INMETRO), dentro de cada categoria definida no projeto.

Neste módulo, são estabelecidas as diretrizes gerais a serem obedecidas na elaboração, execução e gerenciamentos dos projetos com Ações de Eficiência Energética (AEEs) para a melhoria de instalação e gestões energéticas. Estas ações podem ser no âmbito de Iluminação, Condicionamento Ambiental, Sistemas Motrizes, Sistemas de Refrigeração, Aquecimento Solar de Água, Gestão de Energia e Gestão Energética Municipal, Bônus para Eletrodomésticos Eficientes, Treinamento e Capacitação e Descarte de Equipamentos.

Serão foco de estudo neste trabalho as áreas de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Sistemas Motrizes.

Para projetos em iluminação temos as seguintes ações de eficiência energética:

- Substituição dos equipamentos: lâmpadas, reatores ou luminárias;
- Instalação de dispositivos de controle: interruptores, sensores de presença, dimmers, etc;
- Maior aproveitamento da iluminação natural.

Os dados mínimos a serem enviados à ANEEL seguem na Tabela 1:

Tabela 1 - Sistemas de iluminação

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Tipo de Lâmpada		
Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1	
Quantidade	qa_1	
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times qa_1}{1000}$	
Funcionamento (h/ano)	ha_1	
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1 = \frac{Da_1}{Pa_1}$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pa_1 \times ha_1}{1000}$	$Ea = \sum Ea_i$
Demanda média na ponta (kW)	Da_1	$Da = \sum Da_i$
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Tipo de Lâmpada		
Potência (lâmpada + reator) (W)	pp_1	
Quantidade	qp_1	
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times qp_1}{1000}$	
Funcionamento (h/ano)	hp_1	
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_1 = \frac{Dp_1}{Pp_1}$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pp_1 \times hp_1}{1000}$	$Ep = \sum Ep_i$
Demanda média na ponta (kW)	Dp_1	$Dp = \sum Dp_i$
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	$RDP = \sum RDP_i$
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	$EE = \sum EE_i$
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

Fonte: [2]

Com as seguintes observações:

- Agrupar as lâmpadas em Sistemas que tenham o mesmo regime de funcionamento e sejam trocadas por um determinado tipo de lâmpada (deve-se usar sistemas diferentes para trocas diferentes);
- Tipo de lâmpadas (incandescente, fluorescente, LED, etc.) e potência nominal;

- Incluir a potência média consumida pelos reatores por cada lâmpada; especificando se são reatores eletromagnéticos ou eletrônicos;
- Quantidade de lâmpadas em cada Sistema considerado;
- Potência total instalada;
- Funcionamento médio anual (h/ano);
- Fator de coincidência na ponta;
- Energia Consumida (MWh/ano);
- Demanda média na ponta (kW);
- O funcionamento só será diferente se forem instalados dispositivos de controle adicionais. Troca-se o substrito *at* (atual) por *pr* (proposto);
- Redução de Demanda na Ponta (RDP);
- RDP em termos percentuais;
- Energia Economizada;
- EE em termos percentuais.

Para projetos em condicionamento ambiental têm-se as seguintes ações de eficiência energética:

- Substituição de equipamentos individuais de janela ou equivalentes;
- Substituição de chillers.

Os dados mínimos a serem enviados à ANEEL seguem na Tabela 2:

Tabela 2 - Sistemas de condicionamento ambiental

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		
Potência Refrigeração (btu/h)	pa_1	
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	ca_1	
Quantidade	qa_1	
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times 0,293 \times qa_1}{1000 \times ca_1}$	
Potência Média utilizada (kW)	Pua_1	
Funcionamento (h/ano)	ha_1	
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPa_1$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pua_1 \times ha_1}{1000}$	$Ea = \sum Ea_i$
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pua_1 \times FCPa_1$	$Da = \sum Da_i$
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		
Potência Refrigeração (btu/h)	pp_1	
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	cp_1	
Quantidade	qp_1	
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times 0,293 \times qa_1}{1000 \times ca_1}$	
Potência Média utilizada (kW)	Pup_1	
Funcionamento (h/ano)	hp_1	
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPp_1$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pup_1 \times hp_1}{1000}$	$Ea = \sum Ea_i$
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pup_1 \times FCPp_1$	$Da = \sum Da_i$
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	$RDP = \sum RDP_i$
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	$EE = \sum EE_i$
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

Fonte: [2]

Com as seguintes observações:

- Agrupar os aparelhos com as mesmas características de instalação e funcionamento e especificar, por tipo: tecnologia (janela, *split*, etc.), horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para troca diferentes (se um tipo de equipamento for trocado por 2 tipos diferentes, considerar tipos diferentes).
- Potência nominal de refrigeração.
- Usar dados do INMETRO de preferência.
- Quantidade de aparelhos do tipo considerado.
- Potência instalada
- Potência média consumida, considerado o regime de funcionamento do sistema e o perfil de temperatura médio assumido (igual à potência instalada vezes um fator de utilização)
- Funcionamento médio anual
- Fator de coincidência na ponta: deve refletir os hábitos de uso e temperaturas neste horário
- Energia consumida anualmente
- Demanda média na ponta – deve ser estimada em cada caso 11 a 20 – mesmas considerações acima. O funcionamento só será diferente se houver alguma mudança justificada.
- Redução de demanda na ponta (RDP)
- RDP em termos percentuais
- Energia economizada (EE)
- EE em termos percentuais

Para projetos em sistemas motrizes têm-se as seguintes ações de eficiência energética:

- Substituição de motores elétricos de indução com carga constante por unidades de maior rendimento, com ou sem adaptação da potência nominal;
- Instalação de acionadores de velocidade ajustável (conversores de frequência), máquina e instalação acionados.
- Os dados mínimos a serem enviados à ANEEL seguem na Tabela 3:

Tabela 3 - Sistemas motrizes

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Potência Nominal do Motor (cv)	pa_1	
Carregamento (l)	γa_1	
Rendimento Nominal (%)	ηna_1	
Rendimento no ponto de Carregamento (%)	ηa_1	
Quantidade	qa_1	
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times 0,736 \times qa_1}{\eta na_1}$	
Potência Média utilizada (kW)	$Pua_1 = Pa_1 \times \gamma a_1 \times \frac{\eta na_1}{\eta a_1}$	
Funcionamento (h/ano)	ha_1	
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPa_1$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pua_1 \times ha_1}{100}$	$Ea = \sum Ea_i$
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pua_1 \times FCPa_1$	$Da = \sum Da_i$
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Potência Nominal do Motor (cv)	pp_1	
Carregamento (l)	γp_1	
Rendimento Nominal (%)	ηnp_1	
Rendimento no ponto de Carregamento (%)	ηp_1	
Quantidade	qp_1	
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times 0,736 \times qp_1}{\eta np_1}$	
Potência Média utilizada (kW)	$Pup_1 = Pp_1 \times \gamma p_1 \times \frac{\eta np_1}{\eta p_1}$	
Funcionamento (h/ano)	hp_1	
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPp_1$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pup_1 \times hp_1}{100}$	$Ep = \sum Ep_i$
Demanda Média na Ponta (kW)	$Dp_1 = Pup_1 \times FCPp_1$	$Dp = \sum Dp_i$
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	$RDP = \sum RDP_i$
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	$EE = \sum EE_i$
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

Fonte: [2]

Com as seguintes observações:

- Agrupar os motores com as mesmas características de instalação e funcionamento (potência, carregamento, horas de funcionamento). Usar tipos diferentes para trocas diferentes;
- Carga acionada / carga nominal (deve ser estimado por medição de potência, corrente ou rotação);
- Usar o valor calculado por simuladores (a exemplo BDmotor, disponível na página do Procel Info);
- Quantidade de motores do tipo considerado;
- Utilizar o rendimento nominal para o cálculo;
- Atentar para o regime de produção quando na medição e o médio considerado para determinação das economias;
- Funcionamento médio anual;
- Potência média na ponta / Potência média utilizada;
- Energia anual consumida estimada;
- Redução da Demanda na Ponta (RDP);
- RDP em termos percentuais;
- Energia Economizada (EE);
- EE em termos percentuais.

2.2.2 Módulo 7 – Cálculo da viabilidade

Este módulo visa tratar de diferentes fatores e formas de cálculo da viabilidade econômica de um projeto realizado no âmbito do PEE. Estabelece as diretrizes e procedimentos para o cálculo da viabilidade econômica que deverão ser aplicados aos projetos do PEE.

O principal critério de avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE, abordado neste módulo, é a Relação Custo Benefício (RCB) do projeto. O benefício que o RCB poderá proporcionar a ser considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. O custo são os indícios para que o projeto possa ser realizado.

Deve ser realizado dois tipos de avaliação, previsto por este módulo:

- Avaliação *ex ante*: com os valores estimados, pela fase de definição, quando se avalia o custo e o benefício baseado em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços de mercado
- Avaliação *ex post*: com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução da demanda na ponta avaliadas pelas ações de Medição e Verificação e os custos realmente despendidos.

A avaliação realizada para o cálculo do RCB considera a ótica quanto ao sistema elétrico, valorando a economia de energia e a redução da demanda, e ao consumidor, valorando as grandezas pagas pelo consumidor; excetuando o caso de Fontes Incentivadas, onde se pode tomar como referência o preço efetivamente pago pelo consumidor.

Pela ótica do sistema elétrico, para que um projeto do PEE possa ter validade a sua execução, seu RCB calculado deve ser igual ou inferior a 0,8 (oito décimos). Este índice considera se o investimento despendido para este projeto será vantajoso ao se comparar com o mesmo investimento voltado para a expansão do sistema elétrico. Porém, alguns projetos podem apresentar outros benefícios mensuráveis, além de energia economizada e demanda evitada, podendo incluir nesses benefícios os seguintes:

- Ganhos de produtividade;
- Melhoria na qualidade do produto;
- Impacto socioambientais positivos.

Assim, podem existir projetos que excedam o limite proposto para o RCB, onde os benefícios devem ser avaliados por técnicas semelhantes às empregadas para a Medição e Verificação. Nestes projetos, o limite do RCB será de 1,0 (um).

2.2.3 Módulo 8 – medição e verificação dos resultados

Este módulo estabelece os procedimentos para aferição dos resultados e benefícios energéticos proporcionados pelos projetos. Tem como objetivo estabelecer as diretrizes para as atividades de Medição e Verificação que devem ser empregadas em todos os projetos do PEE para avaliação dos resultados.

Este módulo, muito citado pelos módulos anteriores, é importante, pois estabelece os requisitos mínimos a serem observados e que orientam as atividades de M&V nas avaliações dos projetos de eficiência energética, sendo que essa não pode ser medida diretamente, gerando assim, uma incerteza considerável.

Visando padronizar as atividades e aprimorar conceitos de forma a realizar o relatório de medição e verificação mais detalhado e preciso, a Aneel utilizou como base o Protocolo Internacional de Medição e Performance (PIMVP).

O PIMVP é uma publicação da EVO (Efficiency Valuation Organization [3]) que tem por objetivo aumentar os investimentos na eficiência energética e no consumo eficiente de água, gestão da demanda de energia e nos projetos em energia renovável por todo o mundo.

O PIMVP promove investimento eficazes por meio das seguintes atividades:

- Documenta termos comuns e métodos para avaliar o desempenho dos projetos de eficiência energética, dirigidos a consumidores, financiadores e fornecedores destes projetos;
- Fornece métodos, com níveis de custo e exatidão diferentes, que possuem a função de determinar economias para toda a instalação ou para as ações individuais de eficiência energética (AEEs);
- Especifica o conteúdo de um plano de M&V, onde este plano deve aderir aos princípios fundamentais de M&V aceitos em todo o mundo, produzindo relatórios da economia verificada;
- É aplicado em uma grande gama de instalações, incluindo edificações novas, já existentes e processos industriais.

O protocolo também prevê quatro opções utilizadas para determinar a economia em âmbito de eficiência energética, que podem ser utilizadas nos projetos do PEE:

- **Medição dos Parâmetros-chave:** a economia é determinada pelas medições no campo dos parâmetro-chave, que definem o uso de energia dos sistemas afetados pelas AEEs. A frequência de medição se altera conforme as variações esperadas nos parâmetros medidos e na duração do período da determinação da economia. Os parâmetros que não foram selecionados para medição no campo são estimados, e essas estimativas podem basear-se em dados históricos, especificações dos fabricantes ou por avaliação da engenharia;

- **Medição de Todos os Parâmetros:** a economia é determinada pela medição no campo do consumo de energia do sistema afetado pelas AEEs. A frequência destas medições é variável, dependendo das variações esperadas na economia e da duração do período de determinação desta economia;
- **Toda a Instalação:** a economia é determinada pela medição do consumo de energia em nível de toda a instalação. As medições são contínuas, são relacionadas com o consumo de energia de toda a instalação e são efetuadas durante todo o período de determinação da economia;
- **Simulação Calibrada:** a economia é determinada por simulação do consumo de energia de toda a instalação. São realizadas rotinas que tem por finalidade de modelar adequadamente o desempenho energético real medido na instalação.

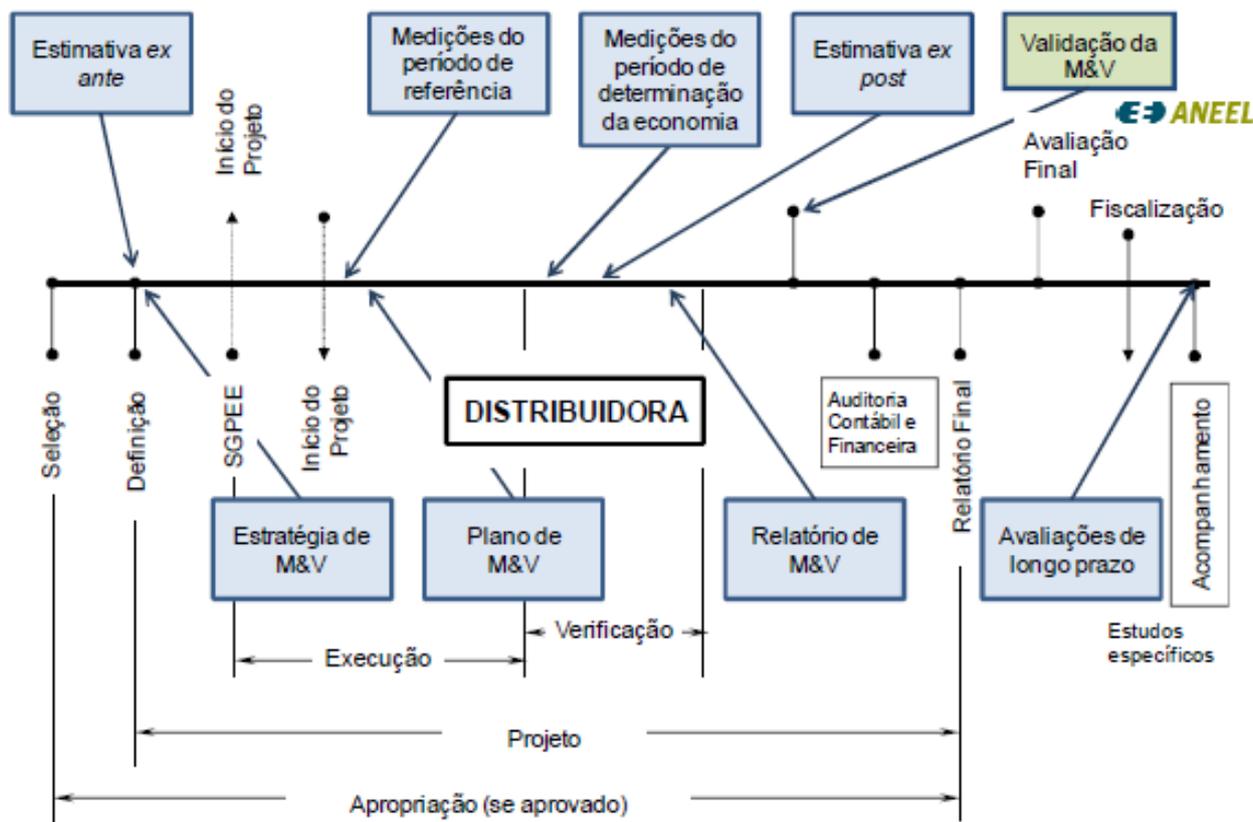
Deve-se ter cautela na elaboração de projetos e nos cálculos da economia de energia, observando principalmente a linha base utilizada durante as medições. O ajuste desta linha deve ser feito mediante a cálculos de engenharia e/ou medições, para poder modificá-la de modo a incluir as novas condições que surgirem na instalação ou em seu funcionamento.

O PIMVP exemplifica duas formas de medição de economia de energia, que são as seguintes:

- Energia Evitada: quando são consideradas as condições do período da determinação da economia;
- Energia Normalizada: quando são fixadas as condições, que é a mais recomendada pelo PEE.

As fases dos projetos de PEE e as atividades de M&V que foram descritas quando o ProPEE foi apresentado estão esquematizadas na Figura 2:

Figura 2 - Fases do projetos e atividades de M&V



Fonte: [2]

As atividades de M&V especificadas pelo módulo 8, são as seguintes:

- **Avaliação ex ante:** onde são estimados os resultados com as ações de eficiência energética sugeridas para o uso final, definido pelo módulo 4;
- **Estratégia de M&V:** fase onde é realizado o diagnóstico energético da instalação, onde é conhecido o uso a energia e sua relação com a rotina da instalação. São definidas as bases para as atividades de M&V que são: variáveis independentes, fronteira de medição, opção do PIMVP, modelo de consumo da linha de base e cálculo das economias;
- **Medições no Período da Linha de Base:** primeira atividade a ser realizada na fase de Execução, deve ser antes da implementação das medidas propriamente ditas. Engloba as medições do consumo e de demanda e das variáveis independentes relativas ao mesmo período. São muito utilizadas as técnicas de amostragem nesta atividade, que podem simplificar a quantidade de medições a serem feitas;

- **Plano M&V:** elaboração do plano de M&V, realizado após as medições do período de linha e estabelecimento do modelo completo do consumo da linha de base. Contêm todos os procedimentos e considerações para o cálculo das economias;
- **Medições do Período de Determinação da Economia:** após a implementação das ações de eficiência energética, deverão ser realizadas as medidas iniciais do período para a determinação da economia. As medições devem ser aperfeiçoadas ao longo do tempo, conforme o estabelecimento dos índices, que deverão ser comprovados e consolidados a cada projeto;
- **Estimativa *ex post*:** após realizadas as medições, deve-se calcular as economias conforme definido no Plano de M&V e assim poderá ser calculada a RCB do projeto;
- **Relatório de M&V:** deve ser emitido, com os resultados dessas medições e dos cálculos das economias, e deve ser apresentado conforme modelo apresentado no item 3.7.1 da seção 8.2 do ProPEE, que deve constar:
 - a) Dados observados durante o período de determinação da economia de energia;
 - b) Descrição e justificativa de qualquer correção feita aos dados observados;
 - c) Valores estimados acordados;
 - d) Valores da energia e demanda utilizados, analisados pelos pontos de vista sistema elétrico e pelo consumidor;
 - e) Desvios eventuais das condições apresentadas no Plano de M&V;
 - f) Economia calculada em unidades monetárias e de energia, analisadas pelo ponto de vista do sistema elétrico e do consumidor;
 - g) Desvio observado em relação a avaliação da *ex ante*.
- **Validação da M&V:** a validação dos critérios adotados pela distribuidora para a M&V dos projetos ficará à cargo da ANEEL, que designará um agente credenciado para realizá-la, onde será avaliada a adequação dos procedimentos às determinações deste módulo de da PIMVP;
- **Avaliações a Longo Prazo:** as avaliações a longo prazo, que podem ser feitas ao longo do contrato de desempenho energético em vários períodos de determinação da economia, serão realizadas por estudos específicos definidos pela ANEEL[4].

2.3 PROCEL

O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) é um programa coordenado pelo MME (Ministério de Minas e Energia) e a Eletrobrás, promove o uso de eficiência, combate o desperdício e visa reduzir os custos e os investimentos setoriais. Foi criado pelo governo federal em 1985 e executado pela Eletrobras, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais. As ações do Procel tem contribuído para aumentar a eficiência de bens e serviços, fomenta hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente de energia, além de postergar investimentos no setor elétrico, reduzindo assim os impactos ambientais, colaborando para que o país se torne mais sustentável[5].

O Procel possui as seguintes áreas de atuação:

- **Equipamentos:** por meio de ensaios, são classificados por meio do Selo Procel, os equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, induzindo assim o desenvolvimento e o aprimoramento destes produtos disponíveis no mercado do país[6];
- **Edificações:** ocorre de forma distinta para edificações públicas, de serviço e comerciais. Pode ser concedido em dois momentos, na fase de projeto ou após a construção da edificação. Pode ser avaliado por simulação, inspeção *in loco* ou pelo método prescritivo[7];
- **Iluminação Pública:** promove o desenvolvimento de sistemas eficientes de Iluminação Pública, sinalização pública e valorização dos espaços públicos, visando a melhora da segurança para a população[8];
- **Poder Público:** apoia as prefeituras quanto ao planejamento e implementação de projetos que visem a redução de consumo de energia dos municípios e o uso eficiente da energia elétrica, água e área de saneamento[5];
- **Indústria de Comércio:** realiza treinamentos e auditorias, disponibiliza manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução de desperdício de energia elétrica nestes setores, visando a otimização dos sistemas produtivos[5];
- **Conhecimento:** disseminar informações que tem por objetivo aumentar a conscientização e o conhecimento da sociedade com relação ao consumo eficiente de energia. Isto é realizado por meio de publicação de material técnico, informativos e ações educacionais[5].

Após a criação do PROCEL, foi instituído o Selo Procel por decreto presidencial em 8 de Dezembro de 1993. “A partir de sua criação, foram firmadas parcerias junto ao Inmetro, a agentes como associações de fabricantes, pesquisadores de universidades e laboratórios, como o objetivo de estimular a disponibilidade, no mercado brasileiro, de equipamentos cada vez mais eficiente”[9].

“Para isso, são estabelecidos índices de consumo e desempenho para cada categoria de equipamento. Cada equipamento candidato ao Selo desse ser submetido a ensaios em laboratórios indicados pela Eletrobras. Apenas os produtos que atingem esses índices são contemplados com a Figura 3, Selo Procel.”[9].

Figura 3 - Selo procel



Fonte: [9]

2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS LUMINOTÉCNICOS

De acordo com [10] “a iluminação é responsável por, aproximadamente, 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica”.

Para [12] “nas edificações, o sistema de iluminação geralmente se encontra fora dos padrões técnicos adequados. Os tipos mais comuns dessas ocorrências são:

- Iluminação em excesso;
- Falta de aproveitamento da iluminação artificial;
- Uso de equipamentos de baixa eficiência luminosa;
- Falta de comandos (interruptores) das luminárias;
- Ausência de manutenção, depreciando o sistema;
- Hábitos de uso inadequado;”
- Mal posicionamento das luminárias.

2.4.1 Definições:

Esta seção define os tópicos relacionados ao projeto de eficiência energética em luminotécnica

2.4.1.1 Eficiência luminosa (EL) de uma fonte

Segundo [10], “é o quociente do fluxo luminoso total emitido por uma fonte de luz em lúmens e a potência por ela consumida em Watts”, e segundo [12], “se uma luminária com mais de uma lâmpada for utilizada, a potência considerada deverá ser a soma das potências da lâmpada”.

2.4.1.2 Espectro eletromagnético

Segundo [10], “o espectro eletromagnético contém uma série de radiações, que são fenômenos vibratórios, cuja velocidade (v) de propagação é constante e que diferem entre si por sua frequência (f) e por seu comprimento de onda (λ), tal que $v=\lambda.f$. Para o estudo da iluminação, é especialmente importante o grupo de radiações compreendidas entre os comprimentos de onda de 380 e 780 nanômetros (nm), pois elas são capazes de estimular a retina do olho humano.” Este intervalo é conhecido como Espectro Visível. Na Tabela 4, temos as faixas de comprimento de onda de cada cor do espectro visível:

Tabela 4 - Faixa de comprimento de onda das cores do espectro visível

Comprimento de Onda	Cor
de 380 a 436nm	Violeta
de 436 a 495nm	Azul
de 495 a 566nm	Verde
de 566 a 589nm	Amarelo
de 589 a 627nm	Laranja
de 627 a 780nm	Vermelho

Fonte: [10]

2.4.1.3 Depreciação do fluxo luminoso

Segundo [10], “é a diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias, e, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas”.

2.4.1.4 Fator de manutenção (Fm)

Segundo [10], “é a razão da iluminância média no plano de trabalho, após um certo período de uso, pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova”. Os valores são dados pela Tabela 5:

Tabela 5 - Fatores de manutenção

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente Limpo	Ambiente Médio	Ambiente Sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,84	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,58
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

Fonte: [10]

2.4.1.5 Fator de utilização (Fu)

Segundo [10], “é a razão do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É um índice da luminária e influi no rendimento desta”

2.4.1.6 Fluxo luminoso (ϕ)

Segundo [10], é a “quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida pela radiação, de acordo com a sua ação sobre o receptor seletivo, cuja sensibilidade espectral é definida pelas eficiências espectrais padrão. Unidade: lúmen – lm”.

2.4.1.7 Iluminância (E)

Segundo [10], “é definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido.

A unidade de medida usual é o lux, definido como sendo a iluminância de uma superfície plana, de área igual a 1m^2 , que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lm, uniformemente distribuído”.

Na norma NBR 8995, há a definição da quantidade de lux necessária para a execução de determinada tarefa de iluminância de interiores.

2.4.1.8 Índice de reprodução de cor (IRC)

Segundo [10], “no sistema internacional de medidas, é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. O IRC identifica a aparência como as cores dos objetos e pessoas serão percebidos quando iluminados pela fonte de luz em questão. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio entre as cores”

2.4.1.9 Intensidade luminosa (IL)

Segundo [10] “a Intensidade Luminosa de uma fonte, numa dada direção, é o quociente do fluxo luminoso saindo da fonte, propagado num elemento de ângulo sólido, contendo a direção dada e o elemento de ângulo sólido. Unidade: candela – cd”.

2.4.1.10 Luminância (L)

Segundo [10], “a luminância de uma superfície é uma medida de luminosidade que um observador percebe refletido desta superfície. Unidade: candela por metro quadrado – cd/m^2 ”.

2.4.1.11 Temperatura de cor correlata (TCC)

Segundo [10], “é um termo usado para descrever a cor de uma fonte de luz. A TCC é medida em Kelvin, variando de 1500K, cuja aparência é laranja/vermelho até 9000K, cuja aparência é azul. As lâmpadas com TCC maior de 4000K são chamadas de aparência ‘fria’, as lâmpadas com TCC menores que 3100K são de aparência ‘quente’ e as lâmpadas com TCC entre 3100 e 4000K são chamadas de aparência ‘neutra”.

2.4.1.12 Vida mediana nominal (horas)

Segundo [10], “corresponde ao valor no qual 50% de uma amostra de lâmpadas ensaiadas se mantém acesas sob condições controladas em laboratório”.

2.4.2 Equipamentos Auxiliares:

2.4.2.1 Luminárias

Segundo [12], “são equipamentos que recebem a fonte de luz (lâmpada) e modificam a distribuição espacial do fluxo luminoso produzido pela mesma. Suas partes principais são apresentadas na sequência.

2.4.2.2 Controlador de Luz

Segundo [10], “é a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas, pode ser do tipo refletor, refrator, difusor, lente e colméia”.

2.4.2.3 Difusor

Segundo [10], é o “dispositivo colocado em frente à fonte de luz com a finalidade de diminuir sua luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento”.

2.4.2.4 Reator

Segundo [10], é o “equipamento que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e também fornece a tensão adequada para dar partida na lâmpada. Pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico, com partida rápida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência”.

2.4.2.5 Starter

Segundo [10], é o “equipamento que fecha o circuito de partida convencional da lâmpada fluorescente para aquecer os filamentos, e depois abre o circuito para a partida da lâmpada”.

2.4.2.6 Refletores

Segundo [12], “são dispositivos que servem para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso de uma fonte. Os perfis de refletores mais utilizados são os circulares, os parabólicos, os elípticos e os assimétricos. Cada tipo de refletor possui sua aplicação específica. Podem ser constituídos de vidro ou plástico espelhados, alumínio polido, chapa de aço esmaltada ou pintada de branco. O vidro espelhado, apesar de sua alta refletância, é pouco utilizado devido sua fragilidade, peso elevado e custo. O alumínio polido é uma ótima opção, pois alia as vantagens da alta refletância, razoável resistência mecânica, peso reduzido e custo relativamente baixo”.

2.4.2.7 Refratores

Segundo [12], “são dispositivos que modificam a distribuição do fluxo luminoso de uma fonte utilizando o fenômeno da transmitância. Em muitas luminárias, esses dispositivos têm como finalidade principal a vedação da luminária, protegendo a parte interna contra poeira, chuva, poluição e impactos.

2.4.2.8 Sensor de Presença

Segundo [12], é o “dispositivo que sente o movimento, utilizando ondas ultrassônicas ou radiação infravermelha, e envia o sinal apropriado para a unidade de controle. A unidade de controle então processa o sinal de entrada para fechar ou abrir o relé que controla a potência da luz.

2.4.2.9 Sistema de Controle Fotoelétrico

Segundo [12], “este sistema possui sensores que identificam a presença de luz natural, fazendo a devida diminuição ou até mesmo o bloqueio da luz artificial através de dimmers controlados automaticamente. Quanto maior a quantidade de luz natural disponível no ambiente, menor será a potência elétrica fornecida às lâmpadas e vice-versa”.

2.4.2.10 Minuterias

Segundo [12], “sistema que possui um temporizador, que após o tempo programado, desativa as lâmpadas, evitando o desperdício de energia”.

2.4.2.11 Dimmers

Segundo [12], “controlam, através de um circuito eletrônico, a potência fornecida à lâmpada. Este aparelho é normalmente encontrado para lâmpadas incandescentes. Alguns modelos de reatores eletrônicos e mesmo eletromagnéticos incorporam a função do dimmer, permitindo o controle contínuo da luminosidade da lâmpada fluorescentes”.

2.4.3 Lâmpadas:

Segundo [12], “as lâmpadas modernas são fontes luminosas de origem elétrica. As com filamento convencional ou halógenas produzem lux pela incandescência, assim como o sol. As de descarga aproveita a luminescência, assim como os relâmpagos e descargas atmosféricas. E os diodos utilizam fotoluminescência, assim como os vaga-lumes.

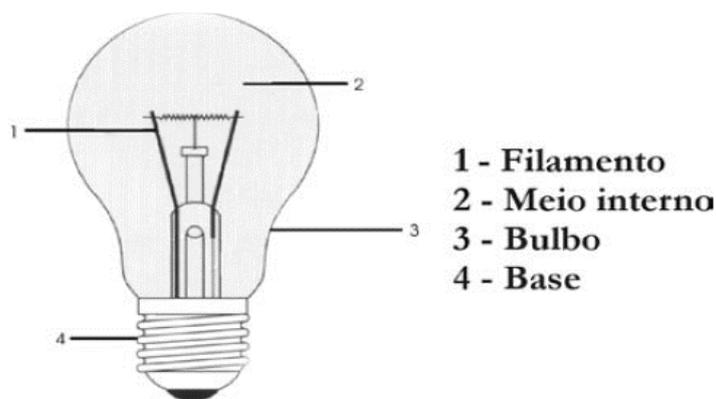
Existem ainda lâmpadas mistas, que combinam incandescência e luminescência, e as fluorescentes, cuja característica é o aproveitamento da luminescência e da fotoluminescência”.

2.4.3.1 Lâmpadas incandescentes (tradicional)

Segundo [10], “funciona através da passagem da corrente elétrica pelo filamento de tungstênio que, como aquecimento, gera luz. Sua oxidação é evitada pela presença de gás inerte ou vácuo dentro do bulbo que contém o filamento. Com a temperatura de cor agradável, na faixa de 2700k (amarela), e reprodução de cor de 100%.” Sua eficiência energética é baixa, pois transforma a maior parte da energia consumida em calor.” Ilustrado na Figura 4.

Segundo [10], “as lâmpadas incandescentes possuem eficiência energética em torno de 17lm/W e vida mediana de 1000h”.

Figura 4 - Lâmpada incandescente



Fonte: [11]

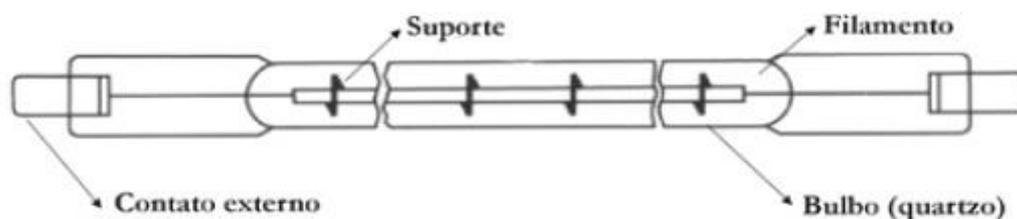
Este tipo de lâmpada, com potência superior a 25W, já não está sendo mais comercializada para fins residenciais, somente para fins específicos.

2.4.3.2 Lâmpadas incandescentes halógenas

Segundo [12] “tem o mesmo princípio de funcionamento das incandescentes, porém foram incrementadas com a introdução de gases halógenos que, dentro do bulbo, se combinam com as partículas de tungstênio desprendidas do filamento. Esta combinação, somada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas se

depositem de volta no filamento, criando assim o ciclo regenerativo do halogênio. O resultado é uma lâmpada com vantagens adicionais, quando comparada às incandescentes tradicionais. Possuem vida mediana entre 2000 a 4000h.” Ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Lâmpada halógena

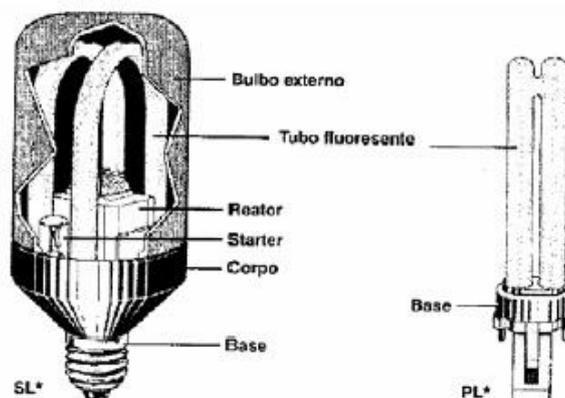


Fonte: [11]

2.4.3.3 Lâmpada fluorescentes compactas

Segundo [10], “são lâmpadas fluorescentes reduzidas, criadas para substituir com vantagens as lâmpadas incandescentes em várias aplicações. Estão disponíveis em várias formas e tamanhos, podendo vir com o conjunto de controle incorporado ou não, e ainda com base tipo Edison (rosca) ou Pino. Suas vantagens, em relação às incandescentes, estão, principalmente, no fato de apresentarem maior fluxo luminoso com potências menores, o que gera uma economia de energia de até 80%, um vida útil maior, além de possuírem uma boa definição de cores.” Ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Lâmpada fluorescente compacta

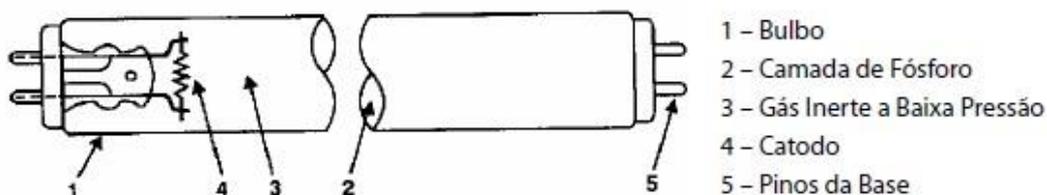


Fonte: [11]

2.4.3.4 Lâmpadas fluorescentes tubulares

Segundo [10], “estas lâmpadas são a clássica forma para uma iluminação econômica. Sua alta eficiência e longa durabilidade garantem sua aplicação nas mais diversas áreas comerciais e industriais. A descarga elétrica em seu interior emite quase que totalmente radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que, por sua vez, será convertida em luz pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. É da composição deste pó fluorescente que resultam as mais diferentes alternativas de cor de luz adequadas a cada tipo de aplicação. Apresenta eficiência luminosa de até 70lm/W, temperatura de cor variando entre 4100K e 6100K e índice de reprodução de cor de 48 a 78%”. Ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Lâmpada fluorescente tubular



Fonte: [10]

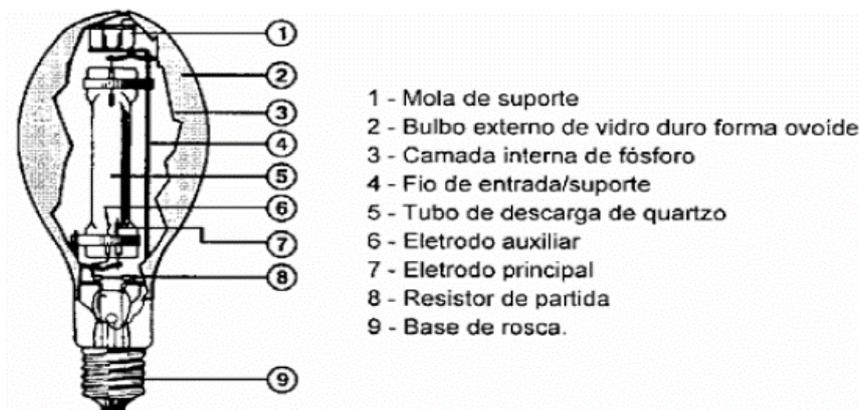
2.4.3.5 Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão

Segundo [10], “consta basicamente de um bulbo de vidro duro, que contém em seu interior um tubo de descarga feito de quartzo para suportar altas temperaturas. Possui em seu interior argônio e mercúrio que, quando vaporizado, produzirá o efeito luminoso. Em cada uma de suas extremidades possui um eletrodo principal de tungstênio. Junto a um dos eletrodos principais existe um eletrodo auxiliar ligado em série com um resistor de partida que se localiza na parte externa do tubo de descarga.

No interior do bulbo externo é colocado gás inerte na pressão atmosférica para estabilizar a lâmpada, mantendo-a em temperatura constante. Possui vida mediana superior a 15000h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período. Sua eficiência energética é de em torno de 66lm/W. Estas lâmpadas devem ser instaladas em

locais que possuam um pé direito superior a 4 metros para não produzir ofuscamento para as pessoas”. Ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão

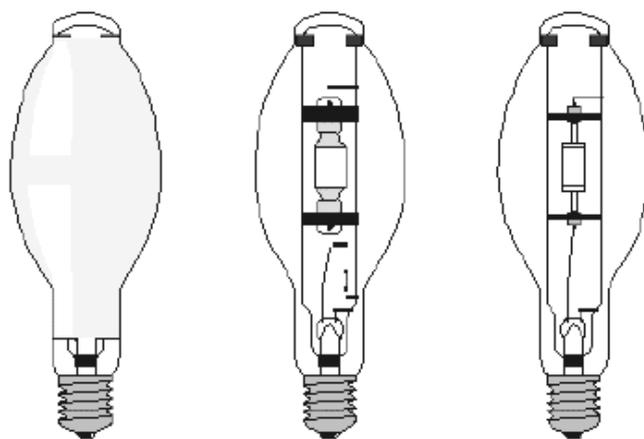


Fonte: [10]

2.4.3.6 Lâmpadas a vapor metálicas

Segundo [10], “as lâmpadas de vapor metálico são semelhantes com as lâmpadas de vapor de mercúrio, com exceção da presença de iodetos metálicos, pelo seu maior desempenho, e pela possibilidade de variação da coloração da lâmpada em função da seleção dos iodetos metálicos presentes dentro do tubo de descarga. Esta lâmpada possui revestimento de alumina nas extremidades do tubo de descarga, cujo objetivo é refletir o calor produzido pela descarga para os eletrodos, impedindo a condensação dos iodetos no interior do tubo de descarga da lâmpada. A vida mediana está na ordem de 15000h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período e sua eficiência luminosa está em torno de 90lm/W”. Ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Lâmpada a vapor metálicas

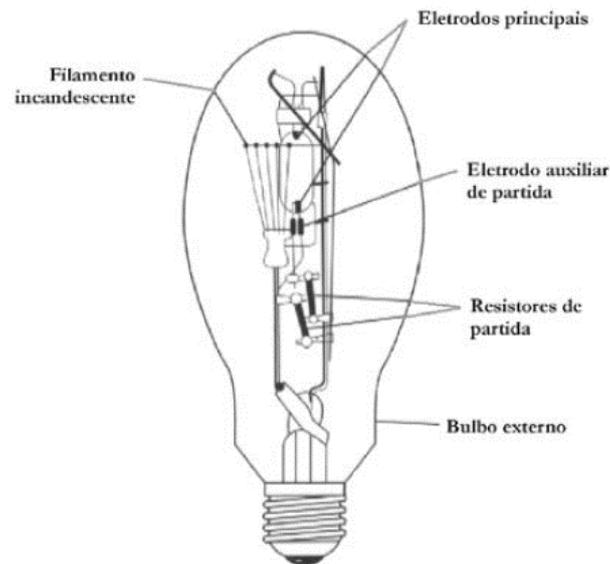


Fonte: [11]

2.4.3.7 Lâmpadas mistas

Segundo [10], “são idênticas às lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão, diferenciando-se apenas por possuírem um filamento montado ao redor do tubo de descarga ligado em série com este. Seu funcionamento é similar a lâmpada de vapor de mercúrio, porém, a lâmpada mista não necessita de reator para funcionar, pois o filamento além de emitir a energia luminosa, funciona também como elemento de estabilização da lâmpada. A vida mediana desta lâmpada é superior a 6000h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período. Possui eficiência luminosa em torno de 22lm/W, sendo mais eficiente apenas que a lâmpada incandescente. Devem ser instaladas em locais com pé direito superior a 4m”. Ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Lâmpada mista

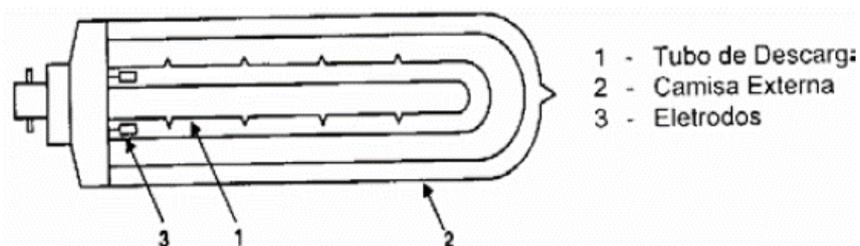


Fonte: [10]

2.4.3.8 Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão

Segundo [10], “consta de um tubo de descarga em forma de U, com um eletrodo em cada extremidade, e cheios de gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a partida contendo também sódio metálico que irá se vaporizar durante o funcionamento. O conjunto é protegido por um invólucro de vidro tubular no qual existe vácuo, coberto na superfície interno por óxido de índio, que funciona como um refletor infravermelho, mantendo a parede do tubo de descarga na temperatura de funcionamento apropriada (270°C). A vida mediana desta lâmpada é superior a 15000h com depreciação de 30% do fluxo luminoso no período e sua eficiência luminosa é da ordem de 200lm/W. Ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão



Fonte: [10]

2.4.3.9 Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão

Segundo [10], “seu formato é similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão, diferenciando-se apenas pelo formato do tubo de descarga que é comprido e estreito e feito de óxido de alumínio sinterizado translúcido, onde é colocado o xenônio para iniciar a partida, mercúrio para corrigir a cor e sódio em alta pressão, além de possuir em cada uma das suas extremidades um eletrodo principal feito de nióbio. O tubo de descarga é colocado dentro de um bulbo externo onde é produzido o vácuo entre eles visando diminuir a perda de calor externo, além de aumentar a pressão no tubo de descarga e a eficiência luminosa da lâmpada.

Seu funcionamento é similar ao das lâmpadas de descarga de modo genérico, frisando-se apenas que necessita de tensões altas para a partida em função da geometria do tubo de descarga e, portanto, é necessário o uso de um ignitor. Essas lâmpadas demoram cerca de 3 a 4 minutos para atingir seu brilho máximo. A vida média é superior a 24000h com 25% de depreciação do fluxo luminoso no período e sua eficiência luminosa é da ordem de 120lm/W”. Ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão



2.4.3.10 Diodo emissor de luz (LED)

Segundo [10], “são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com tamanho bastante reduzido, o LED oferece vantagens através de seu desenvolvimento tecnológico, tornando-o numa alternativa real na substituição das lâmpadas convencionais. Diferentemente do que ocorre com a lâmpada incandescente, que abrange todo o espectro de cores, o LED é monocromático, gerando apenas uma única cor, que depende do tipo de material utilizado.

A eficiência do LED aumentou consideravelmente e atualmente, dependendo da cor, chega a 40lm/W”.

Hoje em dia pode-se utilizar lâmpadas LED no lugar de lâmpadas fluorescentes compactas e incandescentes para iluminação de ambientes, iluminação de destaque, iluminação pública, etc.

2.4.4 Cálculo de Iluminação em Projetos de Eficiência Energética:

Segundo [11], “o método apresentado é o dos lúmens, que é utilizado para calcular o número de lâmpadas e luminárias, levando em conta as dimensões e o tipo do ambiente que será iluminado”.

As etapas para a realização deste método, são as seguintes:

- Escolha do nível de iluminamento (E);
- Determinação do fator do local (K);
- Escolha das lâmpadas e das luminárias;
- Determinação do fator de utilização (Fu);
- Cálculo do número de luminárias;
- Distribuição das luminárias.

Estas etapas serão descritas a seguir, conforme [11].

2.4.4.1 Escolha do nível de iluminamento (E)

“A primeira providência será a de escolher o nível médio de iluminamento em função do tipo de atividade visual que será desenvolvida no local.”

Este valor é encontrado em tabela fornecida pela NBR 8995-1/2013 “Iluminação de Ambiente de Trabalho”

2.4.4.2 Determinação do fator do local (K)

Calcula-se este fator a partir da equação (1), que depende das dimensões do ambiente:

$$K = \frac{C \times L}{(C+L) \times A} \quad (1)$$

Onde:

C – Comprimento do Local (m)

L – Largura do Local (m)

A – Altura da Luminária ao Plano de Trabalho (m)

2.4.4.3 Escolha de lâmpadas e luminárias

“Devem ser levados em conta fatores como adequação da iluminação do plano de trabalho, custo, manutenção, estética, índice de reprodução de cor, aparência visual e funcionalidade.” [11]

2.4.4.4 Determinação do fator de utilização (Fu)

“O fator de utilização é a razão do fluxo útil que incide efetivamente sobre um plano de trabalho e o fluxo total emitido. Este fator influencia na distribuição de luz e do rendimento da luminária, pois depende do índice de reflexão do teto, paredes e plano de trabalho ou piso a do fator local (K).

Para determinar o fator de utilização da luminária escolhida, admite-se para K o valor mais próximo do calculado e avaliam-se as reflexões médias do teto, das paredes, do plano de trabalho e do chão pelo seguinte critério de índices:

- 1 - Superfície Escura – 10% de reflexão;
- 3 - Superfície Média – 30% de reflexão;
- 5 - Superfície Clara – 50% de reflexão;
- 7 - Superfície Branca – 70% de reflexão”.

Em seguida, monta-se um número com três algarismos, nos quais o 1º refere-se ao teto, o 2º refere-se às paredes e o 3º refere-se ao chão.

2.4.4.5 Determinação fluxo total (ϕT)

Segundo [11], “para determinar o fluxo total é utilizado a equação (2), que determina o valor da iluminância média:

$$E = \frac{\phi T \times Fu \times Fm}{S} \Rightarrow \phi T = \frac{E \times S}{Fu \times Fm} \quad (2)$$

Onde:

E – Nível Iluminamento (lux)

S – Área do Ambiente (m)

Fu – Fator utilização

Fm – Fator manutenção”

O fator de manutenção é dado pela Tabela 5, dada anteriormente.

2.4.4.6 Cálculo do Número de Luminárias

Segundo [11], “cada tipo de lâmpada fornece um valor de lúmens (fluxo luminoso), conforme apresentadas nas tabelas dos fabricantes”.

Utilizando este valor obtido pela tabela, utiliza-se na equação (3) abaixo:

$$n^{\circ} \text{ de luminárias} = \frac{\phi T}{\phi l} \quad (3)$$

Onde:

ϕ_T – fluxo total (lum)

ϕ_l – lúmens por luminárias (lum)

2.4.4.7 Distribuições de luminárias

“O espaçamento entre as luminárias depende de sua altura ao plano de trabalho (altura útil) e da distribuição de luz. Esse valor situa-se geralmente, entre 1 a 1,5 vezes o valor da altura útil em ambas direções. O espaçamento até as paredes deverá ser a metade desse valor.” [11]

Normalmente, a quantidade de luminárias é incompatível aos limites estabelecidos por essas limitações, logo, deverão ser ajustados de modo a não haver ambientes que fiquem com sombras. Este ajuste consiste no aumento da quantidade de luminárias ou na mudança da distribuição das mesmas.

2.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

Segundo [10], “o condicionamento de ar é um processo que visa o controle simultâneo, num ambiente delimitado, de pureza, umidade, temperatura, e movimentação do ar. Ao contrário do que ocorre com a ventilação estes sistemas não dependem das condições climáticas exteriores. É indispensável em:

- Ambientes de trabalho, visando aumentar o conforto do operário e consequentemente a produtividade;
- Ambientes onde se exigem segurança, onde se operam inflamáveis ou produtos tóxicos;
- Processos de manufatura que exigem umidade, temperatura e pureza do ar controladas, como fabricação de produtos farmacêuticos e alimentícios, salas de desenho de precisão, impressão em cores, etc;
- Ambientes onde se processam materiais higroscópicos;
- Etapas de produção que exigem controle das reações químicas (cristalização, corrosão de metais, ação de microorganismos);

- Locais onde é necessário eliminar a eletricidade estática para prevenir incêndios ou explosões;
- Operações de usinagem com tolerância mínima;
- Laboratórios de controle e teste de materiais”.

De acordo com [11], “por serem responsáveis pela manutenção dos níveis de temperatura e umidade de um ambiente, de forma a atender as condições de conforto dos seus ocupantes ou às necessidades de um processo produtivo. O custo de operação destes sistemas pode ser bem significativo em algumas indústrias, tais como têxteis e gráficas, e principalmente em edificações comerciais. Neste caso, o consumo de energia pode chegar a 60% de toda energia consumida pela edificação. Portanto, a racionalização do uso de energia deve ser uma precisa tanto no projeto, quanto na operação e manutenção dos mesmos.

Diversos aspectos devem ser considerados para a redução do consumo de energia das instalações de condicionamento de ar, mas em linhas gerais, deve-se sempre procurar:

- Selecionar componentes e sistemas que resultem em instalações econômica e energeticamente eficientes;
- Monitorar e controlar efetivamente as condições internas da edificação, mantendo temperatura e umidade dentro dos limites requeridos;
- Fornecer a quantidade adequada de ar externo para renovação, de forma a manter a qualidade do ar interno (QAI);
- Utilizar equipamentos e sistemas de baixa relação kW/TR;
- Minimizar a liberação de substâncias que agredem a camada de ozônio ou contribuam para o aquecimento global;
- Estabelecer programas de manutenção adequados, de forma que as condições dos equipamentos e sistemas permaneçam próximas das condições de projeto.

As melhorias possíveis para se economizar energia em uma instalação de condicionamento de ar podem ser agrupadas em duas categorias: melhorias relativas à estrutura e melhorias relativas ao sistema de condicionamento de ar”.

2.5.1 Melhorias Relativas à Estrutura

Segundo [11], “a estrutura é composta pelo conjunto de elementos que configuram os edifícios ou locais servidos pelas instalações de ar condicionado”.

2.5.1.1 Transmissão térmica

Segundo [11], “as medidas para minimizar ganhos ou perdas de calor por transmissão envolvem:

- Aplicar isolamento nos telhados, forros falsos e paredes. Esta medida reduz o consumo de energia, porém necessidade de uma análise econômica detalhada;
- Sempre que possível, ventilar os espaços vazios debaixo dos telhados;
- Instalar vidros duplos em lugares de vidros simples.

2.5.1.2 Insolação

Segundo [11], “as medidas para minimizar ganhos de calor por insolação envolvem:

- Utilizar, se possível, de telhados e paredes de cor clara;
- Instalar vidros reflexivos ou películas plásticas nas janelas de vidro. É importante avaliar o efeito desta medida sobre a iluminação natural; deve-se chegar a um ponto ótimo entre o consumo de energia para climatização e para iluminação;
- Instalar persianas exteriores ou brises, nas janelas dos ambientes climatizados;
- Revestir com material opaco, as janelas que não estejam contribuindo efetivamente para a iluminação natural”.

2.5.1.3 Infiltração de ar e umidade

Segundo [11], “as medidas para minimizar ganhos de calor por infiltração de ar e umidade envolvem:

- Verificar a vedação das portas e janelas, e se possível, instalar juntas de vedação;

- Substituir vidros quebrados e corrigir imperfeições nas vedações dos mesmos (reaplicar a massa de vedação/sustentação, caso necessário);.
- No caso de portas com duas folhas, reduzir ao máximo possível as frestas entre as folhas”.

2.5.2 Melhorias por Tipo de Sistema de Ar Condicionado

2.5.2.1 Sistema com vazão de ar variável (VAV)

Segundo [11], “os sistemas VAV podem fornecer ar aquecido ou refrigerado, à temperatura constante, para todas as zonas servidas. Caixas VAV terminais, localizadas em cada zona, controlam a vazão insuflada no ambiente em função da sua carga térmica. Como medidas para a redução do consumo de energia destes sistemas podem ser citadas:

- Reduzir o volume total de ar tratado pelo sistema até o mínimo satisfatório;
- Reduzir a temperatura da água quente e aumentar a temperatura da água fria de acordo com os requerimentos do sistema;
- Trabalhar com temperaturas do ar refrigerado não inferior à necessária para satisfazer a zona com carga térmica máxima;
- Instalar controles de pressão estática, aumentando assim a eficiência da operação (regulagem) dos registros (dampers) de desvio;
- Instalar registro de regulagem na sucção do ventilador, caso não exista”.

2.5.2.2 Sistemas com vazão de ar constante (VAC)

Segundo [11], “a maioria dos sistemas com vazão de ar constante faz parte de um outro sistema. As oportunidades para a redução do consumo de energia destes sistemas são:

- Determinar e utilizar a mínima vazão de ar necessária para atender as cargas térmicas;
- Investigar a possibilidade de conversão destes sistemas para vazão de ar variável”.

2.5.2.3 Sistemas de indução

Segundo [11], “estes sistemas fornecem ar primário à alta velocidade para os condicionadores de indução instalados nas diferentes zonas. Nestes condicionadores, o ar primário é descarregado através de bocais, induzindo o escoamento do ar do ambiente através de serpentinas de aquecimento ou resfriamento. Como métodos para a redução do consumo de energia destes sistemas podem ser citados:

- Fixar a vazão de ar primário em valores iguais aos de projeto quando for efetuado o balanceamento da instalação;
- Inspeccionar os bocais. Verificar se houve alargamento dos orifícios dos bocais em decorrência da utilização. Se houve alargamento, balancear novamente a quantidade de ar primário. Manter os bocais limpos a fim de evitar perda de carga excessiva;
- Manter a temperatura da água fria no máximo valor possível durante o período de resfriamento;
- Considerar a utilização de ajuste manual da temperatura do ar primário durante o aquecimento em vez de ajuste automático em função das condições externas”.

2.5.2.4 Sistemas duplo duto

Segundo [11], “o condicionador central dos sistemas duplo duto fornece ar aquecido ou refrigerado, ambos à temperatura constante. Cada zona é servida por dois dutos, um com ar quente e outro com ar refrigerado, que alimentam uma caixa de mistura onde as duas correntes se juntam em proporções adequadas para compensar a carga térmica da zona em questão. Como medidas para a redução do consumo de energia, podem ser citadas:

- Reduzir a temperatura do ar quente e elevação da temperatura do ar refrigerado;
- Reduzir a vazão de ar para todas as caixas de mistura ao nível mínimo aceitável;
- Quando não existirem cargas de resfriamento, fechar o duto de ar frio e desligar o sistema frigorífico. Operar o sistema como se fosse constituído de um único duto, reduzindo assim a vazão de ar e economizando energia;

- Quando não existirem cargas de aquecimento, fechar o duto de ar quente e desligar o sistema de aquecimento. Operar o sistema como se fosse constituído de um único duto.”

2.5.2.5 Sistemas de zona única

Segundo [11], “um sistema de zona única é aquele que fornece ar aquecido ou refrigerado para uma única zona, isto é, um ou mais recintos controlados por um único termostato. O condicionador de ar pode estar instalado dentro da própria zona ou fora desta em local apropriado, e o ar ser insuflado diretamente no ambiente ou distribuído por dutos curtos. Pontos que podem resultar em redução do consumo de energia são:

- Reduzir a vazão de ar ao valor mínimo necessário, se o sistema assim permitir, reproduzindo-se, assim, a potência requerida do ventilador. Uma vez que a potência do ventilador varia com o cubo da vazão, 10% de redução da vazão correspondem a 27% de redução na potência do ventilador;
- Aumentar a temperatura de insuflamento durante o verão e reduzi-la durante o inverno;
- Remover a serpentina de aquecimento e utilizar a serpentina de resfriamento para fornecer tanto resfriamento como aquecimento por meio da mudança da tubulação de água (fria ou quente). Isto resulta em economia de energia de duas formas: (a) Redução da perda de carga do sistema e conseqüentemente economia de energia no ventilador; (b) Uma vez que as dimensões das serpentinas de resfriamento são muito maiores do que as de aquecimento, é possível trabalhar com temperaturas menores da água quente. Deve-se observar, porém, que a remoção da serpentina de aquecimento não é recomendada se o controle de umidade é crítico na zona considerada”.

2.5.2.6 Sistema com reaquecimento terminal

Segundo [11], “nestes sistemas, o condicionador central fornece ar a uma dada temperatura para todas as zonas servidas pelo mesmo. Paralelamente, serpentinas de reaquecimento, instaladas em cada zona, aquecem ar primário em função da carga térmica da zona considerada. As oportunidades para a redução do consumo de energia destes sistemas residem em:

- Redução da vazão de ar para sistemas com zona única ou até a vazão mínima para satisfazer todas as zonas;
- Se for necessária um controle preciso da temperatura e da umidade das zonas, deve-se reduzir a temperatura e a vazão de água da serpentina de reaquecimento aos valores mínimos necessários;
- Se não for necessário um controle preciso de umidade e temperatura, deve ser analisada a possibilidade de conversão do sistema para VAV, eliminando-se as serpentinas de reaquecimento.

2.5.3 Controle e Regulagem

Segundo [11], “algumas medidas envolvendo o controle e a regulagem da instalação de climatização que podem resultar em redução no consumo de energia são:

- Proteger os termostatos e outros sensores para evitar sua manipulação por pessoas não autorizadas;
- Instalar os termostatos longe dos locais que sofrem com grande influência de focos de calor ou frio;
- Sempre que possível, instalar controles de temperatura ambientes em cada um dos locais climatizados;
- Manter os sensores limpos;
- Avaliar a possibilidade de trocar as válvulas de três vias por válvulas de duas vias, instalando-se um sistema de bombeamento com velocidade variável;
- Avaliar a possibilidade de instalação de termostatos de controle flutuante, permitindo que a temperatura ambiente flutue entre margens relativamente amplas”.

2.5.4 Rendimentos dos Equipamentos de Condicionamento de Ar

Segundo [11], “o rendimento de um equipamento frigorífico pode ser expresso pelo seu COP, “EER” ou através da relação kW/TR. O índice EER é expresso em Btu/W.h, representando a relação entre o efeito útil (capacidade de refrigeração da instalação) e a quantidade de trabalho requerida para produzi-lo. A relação entre estes índices de eficiência é dado pela equação (4):

$$\frac{kW}{TR} = \frac{3,52}{COP} \quad EER = 3,41COP \quad (4)$$

Na Tabela 6, estão representados alguns valores típicos de eficiência (COP) de alguns equipamentos utilizados para o condicionamento de ar. Cabe ressaltar que estes valores devem ser utilizados apenas como referência e, sempre que possível, valores mais precisos devem ser obtidos junto aos fabricantes”.

Tabela 6 - COP típico para condicionadores de ar autônomos

Tipo de Equipamento	COP
Aparelhos de Janela	
Compressores alternativos	2,2 a 2,5
Compressores rotativos	2,7 a 2,9
Mini-splits	2,3 a 3,0
Multi-splits	2,6 a 3,0
Self-Contained	
Resfriados a ar	2,1 a 3,1
Resfriados a ar – condensação remota	2,3 a 3,2
Resfriados a água	3,0 a 3,5

Fonte: [11]

2.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE SISTEMAS MOTRIZES

Segundo [11], “os desenvolvimentos iniciados com Nikola Tesla no final do século XIX conduziram a uma extraordinária, robusta, confiável e eficiente máquina que, quando bem especificada, pode, virtualmente, ser aplicada em qualquer ambiente e condições de carga: o motor de indução trifásico.

O motor de indução trifásico é uma máquina intrinsecamente eficiente. O formato de sua curva de rendimento revela um largo patamar que cobre uma faixa de 50^a 100% de carga com altos rendimentos. Tal comportamento não é facilmente encontrado em outras concepções de máquinas, tais como as hidráulicas ou as térmicas, onde o rendimento cai rapidamente quando se opera fora das condições nominais”.

Segundo [10], “ mesmo sendo os motores de indução trifásica máquinas intrinsecamente eficientes, estes se constituem como um grande potencial de conservação de energia. Tal fenômeno pode ser explicado através de duas razões

principais, a saber: a quantidade de motores instalados e a aplicação ineficiente dos mesmos.

É muito comum encontrar-se o chamado motor sobredimensionado, ou seja, motores acionando cargas muito inferiores à sua capacidade nominal, acarretando em baixos fatores de potência e rendimentos, contribuindo para a sua aplicação ineficiente”.

Segundo [11], “problemas de acoplamento mecânico tais como desalinhamento e tensão inadequada de correias, problemas de limpeza e lubrificação, além de seu mau dimensionamento, são exemplos de más aplicações, as quais contribuem com a redução do rendimento de todo o sistema motor-carga.

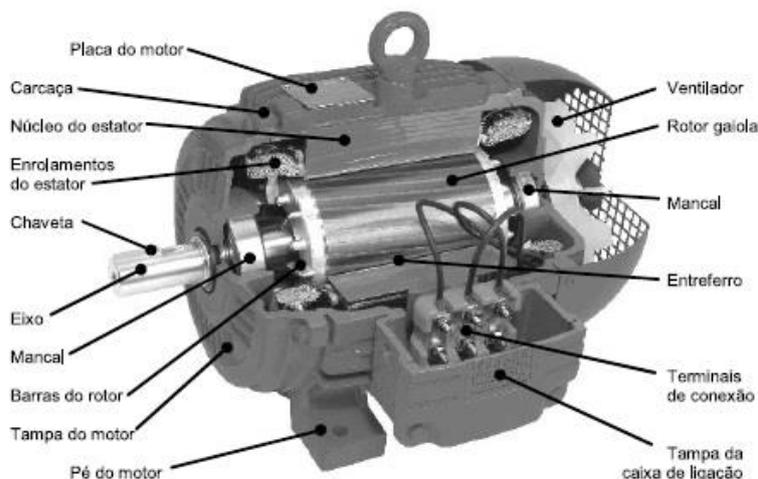
O sobredimensionamento não é um problema de falta de técnica, mas também de falta de informação. O completo desconhecimento das características dinâmicas da carga, usualmente, conduz à adoção de fatores de segurança generosos e especificações equivocadas.

No entanto, descobrir se um motor está realmente sobredimensionado não é uma tarefa simples. Mais complicada ainda é o processo de tomada de decisões se um motor suposto sobredimensionado pode ser substituído ou não, já que ele envolve não somente a condição de operação em regime permanente, mas também a dinâmica da partida e o comportamento térmico durante o ciclo de operação”.

2.6.1 Perdas e Rendimento da Máquina “Motor de Indução”

Segundo [11] “o motor de indução trifásico é um equipamento que, baseado em fenômenos eletromagnéticos, converte energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, quando passa a se chamar gerador. Naturalmente, esta conversão não é completa devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina durante este processo. Tais perdas podem ser agrupadas da seguinte forma: perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro, perdas na dispersão e perdas por atrito e ventilação”. Ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Partes constituintes de motores de indução trifásicos



Fonte: [10]

Segundo [10], “as perdas por efeito Joule no estator (P_{J1}) e no rotor (P_{J2}) resultam da passagem de corrente elétrica pelos seus enrolamentos. As perdas no ferro são constituídas pelas perdas por histerese e Foucault (P_{HF}). A perda por histerese resulta da constante de reorientação do campo magnético sobre o pacote de lâminas de aço-silício, já as perdas de Foucault são devidas às correntes induzidas no interior do material magnético, que circulando, produzem perdas na forma de calor. As perdas por histerese e Foucault ocorrem tanto na parte estacionária (maior parcela) como na parte girante do motor, As perdas por atrito e ventilação (P_{AV}) ocorrem devido ao atrito nos rolamentos da máquina e pelo arrasto aerodinâmico provocado pela geometria irregular do rotor e pelo próprio ventilador por vezes instalado na ponta do eixo. As perdas adicionais (P_{AD}), ou por dispersão, incluem todas as perdas não classificadas anteriormente e normalmente cresce com o carregamento da máquina.

A potência elétrica absorvida da rede (P_{el}) menos as perdas (ΣP) resulta na potência mecânica (P_m) disponível no eixo do motor. O rendimento (η) será dado pela relação entre a potência mecânica e potência elétrica. As equações a seguir explicitam estas afirmações:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}} \quad (5)$$

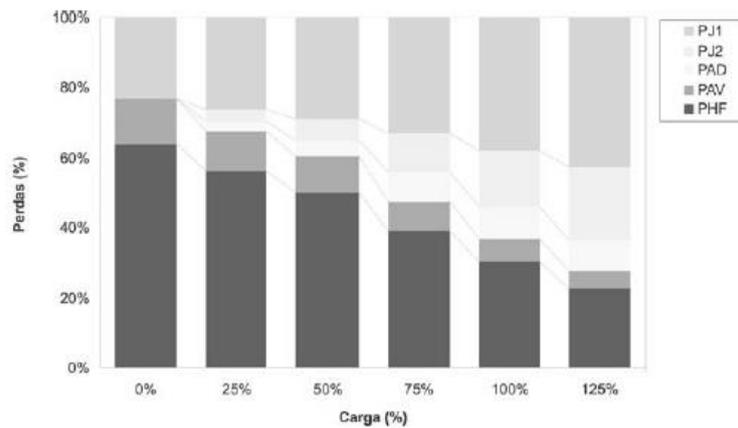
$$P_{el} = P_m + \Sigma P \quad (6)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}} = \frac{P_m}{P_m + \sum P} = \frac{P_{el} - \sum P}{P_{el}} \quad (7)$$

Esta última expressão para a determinação do rendimento é a mais usada, principalmente, pela facilidade de se medir a potência elétrica em relação à potência mecânica.

A distribuição das perdas em um motor varia de acordo com o seu carregamento. Fora das condições nominais, a distribuição percentual das perdas é totalmente diferente, uma vez que o valor absoluto de cada componente das perdas totais varia significativamente. Vide na Figura 14.

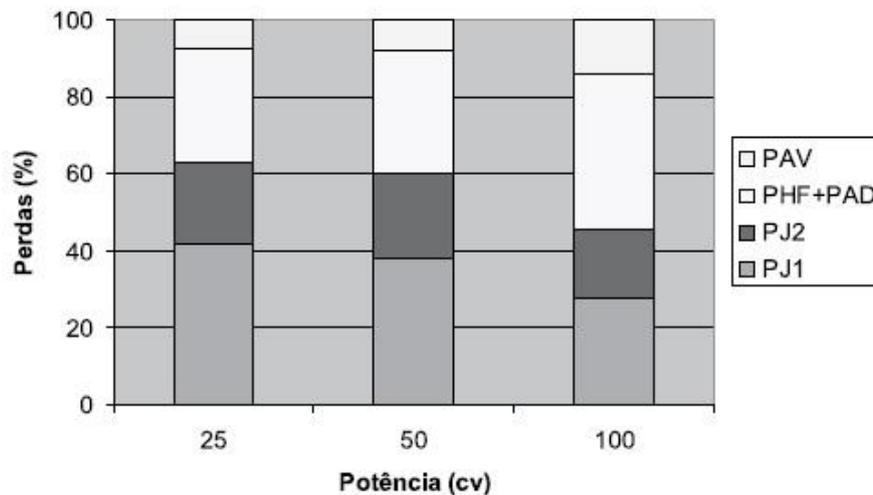
Figura 14 - Distribuição percentual das perdas em função da carga



Fonte: [10]

Além da distribuição das perdas variar em função da carga, ela também varia em função da potência do motor. Observa-se na Figura 15 que para potências maiores, percentualmente, as perdas Joule são menores e as perdas por Histerese e Foucault são maiores do que para motores de menores potência”.

Figura 15 - Distribuição percentual das perdas em função da potência do motor



Fonte: [10]

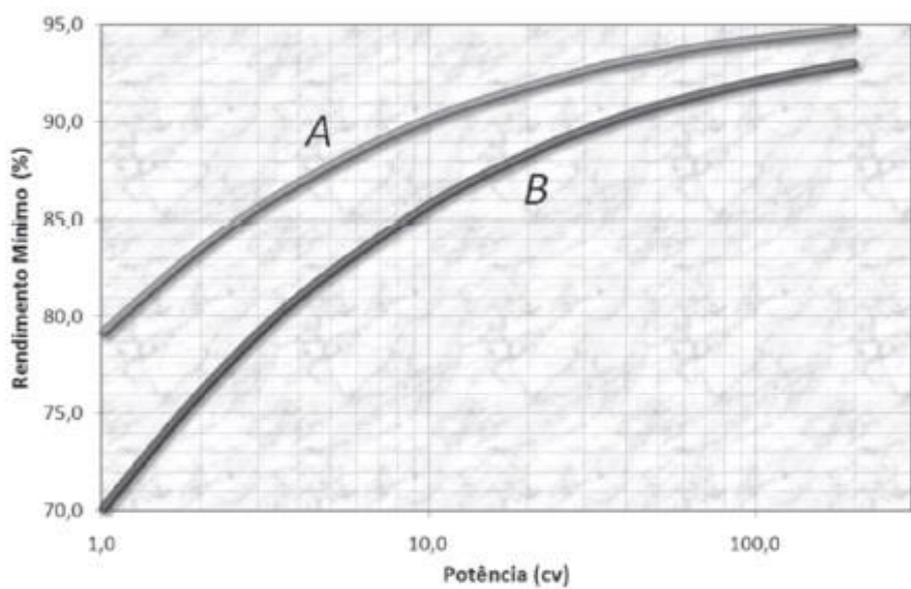
2.6.2 Motor de Alto Rendimento

Segundo [11], “os motores de alto rendimento se apresentam como uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes, muito embora não sejam as soluções definitivas para todos os problemas energético relacionados a motores de indução, posto que são suscetíveis a fatores exógenos (condições do alimentador, método de partida, ambiente de trabalho, etc.) quanto os motores de projeto padronizado.

A principal característica destes motores é a melhoria em pontos vitais do motor onde se concentram a maioria das perdas. Como exemplo, pode-se citar o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras, e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule; diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização; emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores para diminuir as perdas por atrito e ventilação; e, finalmente, regularidade do entre-ferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais. Estas medidas podem acarretar uma redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia de energia.

A norma NBR-7094 apresenta rendimentos mínimos para motores de projeto padronizado e motores de alto rendimento, para diversas rotações síncronas. A Figura 16 mostra uma representação gráfica destes valores

Figura 16 - Rendimentos mínimos de motores de acordo com a norma NBR-7094 A – motores de alto rendimento; B – motores de projeto padronizado



Fonte: [11]

Um grande potencial de aplicação de motores de alto rendimento pode ser encontrado no acionamento de pequenas máquinas, muitas vezes à margem em estudos de efficientização energética, já que é comum imaginar que motores com potência inferior a 10cv são pequenos demais para viabilizar a sua substituição. Porém, deve-se ter sempre em mente que estes motores contam com uma fatia de 85% dos motores instalados, contribuindo com cerca de 25% de todo o consumo industrial, e que a melhoria da eficiência em um motor de pequeno porte pode ser de 5 a 10 pontos percentuais, enquanto que este ganho para grandes motores é a ordem de apenas 2 a 4 pontos percentuais”.

Segundo [10], “a escolha de um motor de alto rendimento em relação a um motor de projeto padronizado passa, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica, uma vez que o primeiro custa mais caro do que o último. No cômputo do benefício energético, um importante fator a ser considerado é o número de horas de

operação por ano. Neste caso, acionamentos que possuam um fator de utilização reduzido dificilmente apresentarão méritos para o uso de um motor de alto rendimento.

Da mesma forma, um estudo acurado deve ser considerado ao analisar a viabilidade de se empregar motores de alto rendimento ao acionamento de cargas com elevada inércia. O fato é que, dependendo do ciclo de operação da carga, a perda decorrente da freqüente aceleração do motor, que depende do momento de inércia do conjunto e da variação de velocidade, pode ser muito maior do que a perda de operação, inviabilizando a utilização de um motor de alto rendimento.

Pode-se observar em alguns casos que, dependendo do projeto do motor, a elevação do rendimento tende a reduzir o fator de potência. Isto pode ser parcialmente explicado posto que as perdas contribuem com uma parcela significativa da potência ativa absorvida da rede; logo, a redução das perdas resultaria em uma redução do fator de potência”.

2.6.3 Análise de Carregamento

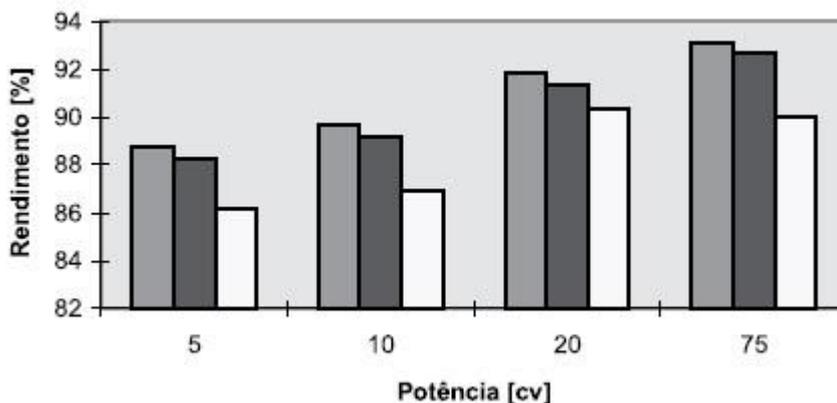
Segundo [10], “a avaliação das reais condições de carregamento dos motores elétricos deve ser feita partindo-se da obtenção das diversas características de operação dos mesmos. Tais características são um conjunto de grandezas elétricas, mecânicas e térmicas que exprimem o comportamento do motor sob várias condições operativas.

Os métodos para a obtenção destas características podem ser classificados em dois grandes grupos, ou seja, os métodos normalizados e os métodos expeditos. Os primeiros, face à complexidade do ferramental necessário e das condições excepcionais para a sua realização, são mais indicados para aplicação em laboratório. Dentre eles podem-se destacar: ensaio através de freio mecânico, ensaio através de dinamômetro, ensaio com máquina calibrada, ensaio de oposição elétrica e mecânica (back-to-back), determinação das perdas separadamente para a sua adição, determinação das perdas totais e o método do diagrama circular com ensaio de frequência reduzida.”

De acordo com [11], “os métodos normalizados mais aplicados são os definidos pelas normas IEEE 112-B, IEC 34.2 e JEC 37. Em função de premissas adotadas em cada um destes métodos, os mesmo conduzem a valores diferentes de rendimentos quando aplicados a um mesmo motor”. Segundo [10], “algumas discrepâncias podem

ocorrer entre os resultados quando aplicados a este mesmo motor”. Ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Discrepâncias de resultados sob diferentes normas



Fonte: [10]

Segundo [10], “em geral, o problema da determinação das condições de operação de um motor tem sido reduzido a um problema de medição de rendimento. Uma vez que a aplicação de métodos normalizados em campo é impraticável, vários trabalhos trazendo novas modelagens, sistemas de medição e métodos não-normalizados para determinação de rendimento em campo têm sido apresentados”.

Segundo [10], “o segundo grupo trata dos métodos de fácil execução em campo. Daí virem a ser chamados ‘metodologias expeditas’. Estes métodos utilizam-se de medidas de corrente, rotação, dados de placa e de catálogos de fabricantes e, quando muito, potência elétrica absorvida da rede. Alguns dos instrumentos utilizados estão explicitados na Figura 18:

Figura 18 - Instrumentos utilizados em análises expeditas



Fonte: [10]

Deve-se ressaltar que na aplicação destas metodologias não se está interessado na determinação exata do rendimento de trabalho dos motores, mas sim, do carregamento, para a observação do seu eventual sobredimensionamentos.

Com a disponibilidade de amperímetros e wattímetros alicate, além de tacômetros digitais e toda a sorte de sistemas de aquisição de dados, estes métodos encontram grande aplicabilidade em campo. Dentre as metodologias expeditas podem-se destacar as seguintes: diagrama circular inverso, circuito equivalente obtido através de dados de catálogos e método da linearização”.

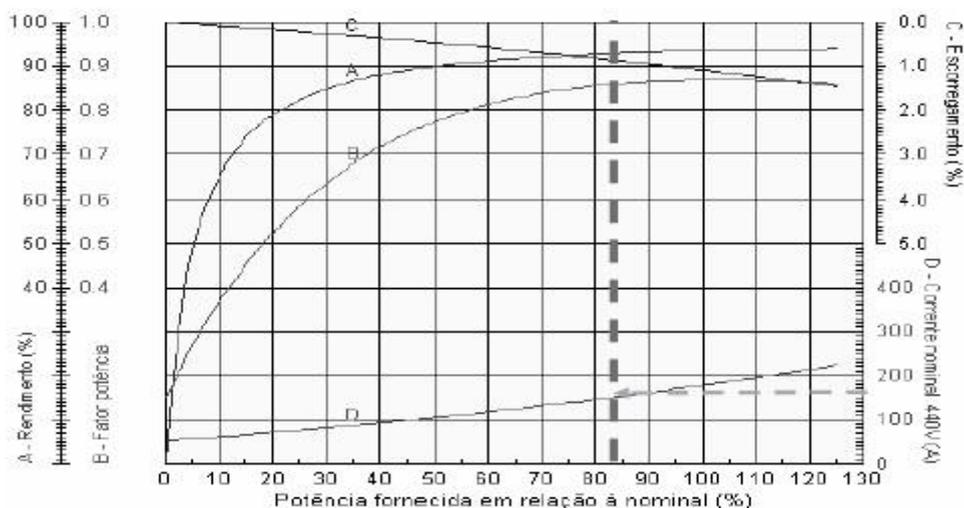
2.6.3.1 Dados de fabricantes

Segundo [10], “esta técnica faz uso de dados fornecidos por fabricantes para tecer-se análises técnicas sobre o carregamento de motores. Naturalmente, o seu uso parte do princípio de que se consideram a representatividade de tais dados.

Seja, por exemplo, o uso de um motor de projeto padronizado com potência de 100cv, IV pólos, em 440V, operando com uma corrente de 150A.

Levando a informação da corrente na curva do fabricante mostrada na Figura 19, pode-se obter a potência de trabalho, rendimento, fator de potência e outras informações. Neste caso, tem-se que a potência de trabalho deste motor é de aproximadamente 83%, ou seja, 85cv, com um rendimento de 93%.

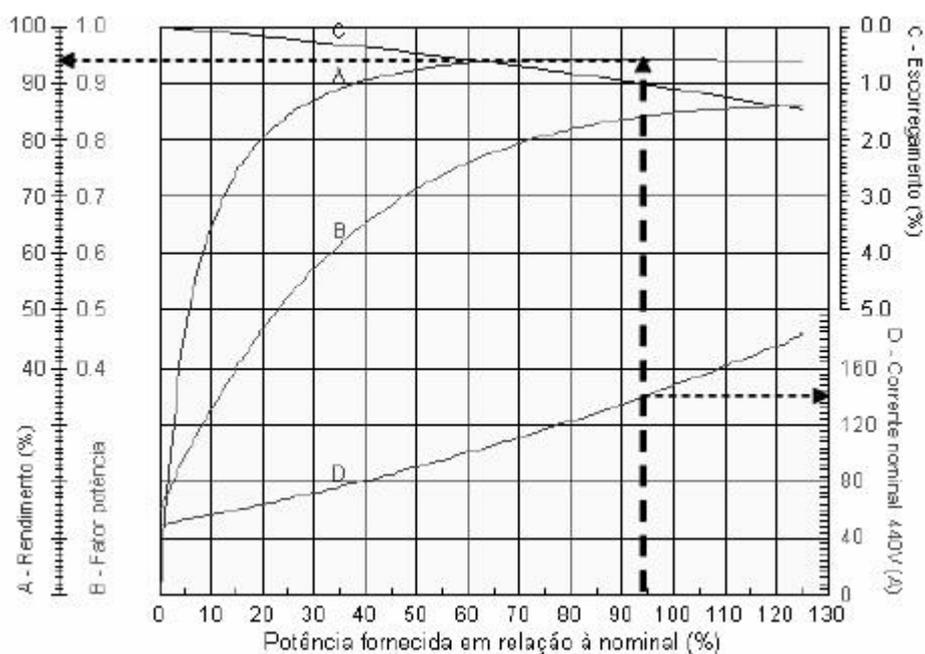
Figura 19 - Curvas características do motor de 100cv



Fonte: [10]

Neste caso, percebe-se que se pode empregar um motor mais próximo da potência da carga, por exemplo, um motor de 90cv de alto rendimento. Nestas novas condições, ter-se-á um rendimento de 95% e uma corrente de trabalho de 140A. Além do melhor rendimento, uma corrente menor reduzirá as perdas por efeito Joule nos alimentadores, havendo também uma pequena melhoria no fator de potência”. Ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Curvas características do motor de 90cv



Fonte: [10]

2.6.3.2 Método da linearização

Segundo [10], “a identificação de potenciais de conservação de energia em motores elétricos deve partir da avaliação das reais condições de operação da máquina. O carregamento de um motor pode ser entendido como a potência da carga instalada em relação à potência nominal do motor, ou seja, se a potência da carga for muito inferior à sua potência nominal, pode-se dizer, em um primeiro momento, que o motor se encontra

sobredimensionado. Observa-se que o carregamento de um motor bem dimensionado deve se situar acima de 75% da potência nominal.

Uma das técnicas mais simples e confiáveis de tecer estas avaliações é o método da linearização. Este método se baseia no fato de que a curva de conjugado versus rotação, dentro da região de operação do motor, pode ser aproximada por uma reta.

Nestas condições, a partir da simples medição da rotação de trabalho, pode-se obter o conjugado de trabalho, conhecendo-se o conjugado e rotação nominais e a rotação síncrona, da seguinte forma:

$$M_t = M_N \times \frac{(n_S - n_t)}{(n_S - n_N)} \quad (8)$$

Onde M é o conjugado (cv/rpm) e n é a rotação (rpm), os índices t, N e s correspondem aos pontos de trabalho, nominal e síncrono, respectivamente. O conjugado nominal é dado por:

$$M_N = \frac{P_N}{n_N} \quad (9)$$

A potência de trabalho (Pt) será dada por:

$$P_t = M_t \times n_t \quad (10)$$

Um parâmetro de grande interesse para verificar o dimensionamento de um motor é o chamado fator de carregamento (Fc). Este pode ser obtido pela relação entre a potência de trabalho e a potência nominal do motor.

$$Fc = \frac{P_t}{P_N} \quad (11)$$

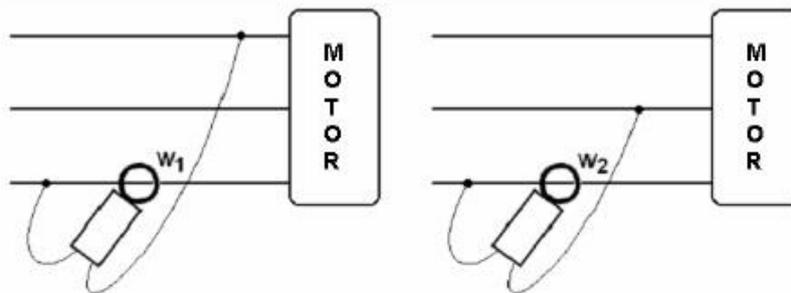
Se este valor estiver acima de 0,75, isto é, um carregamento superior a 75%, pode-se considerar que o motor está bem dimensionado, haja vista que o mesmo opera em uma região de operação com rendimentos elevados. Se, no entanto, o fator de carregamento estiver abaixo de 75%, não se pode afirmar, categoricamente, que tal motor esteja sobredimensionado, mas sim, que há indícios de que esteja. Isto porque existem situações tais como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia onde o uso de motores sobredimensionados se faz necessário.

Um valor aproximado do rendimento de operação poderá ser obtido com a medida da potência elétrica absorvida pelo motor nestas condições de operação, através da seguinte expressão:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{el}} \quad (12)$$

De uma maneira prática, considerando o motor de indução uma carga equilibrada, esta potência elétrica poderá ser medida em campo, empregando-se um Wattímetro alicate em duas etapas, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Medida de Potência com Wattímetro Alicate



Fonte: [10]

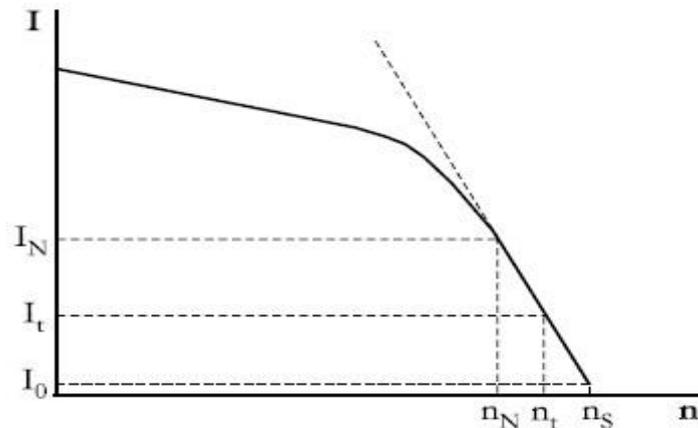
Considerando-se a carga invariante durante o processo de medição, tem-se:

$$P_{el} = W_1 + W_2 \quad (13)$$

Onde W_1 e W_2 são as potências medidas em cada etapa da medição.

Na impossibilidade da medição da rotação, pode-se também estimar o seu valor a partir da linearização da curva corrente versus rotação do motor, e medição da corrente de operação, como mostra na Figura 22:

Figura 22 - Linearização da Curva de Corrente



Fonte: [10]

A rotação de trabalho será dado por:

$$n_t = n_S - \left(\frac{I_t - I_0}{I_N - I_0} \right) \times (n_S - n_N) \quad (14)$$

Nesta expressão tem-se a corrente nominal (I_N), a corrente em vazio (I_0) e a corrente de trabalho (I_t) medida através de um amperímetro alicate. Caso o motor seja acoplado através de uma correia, a corrente em vazio poderá prontamente ser medida através da retirada ou simples afrouxe desta correia. Quando não for possível desacoplar o motor da carga, pode-se estimar o valor percentual da corrente em vazio usando a seguinte expressão:

$$\frac{I_0}{I_N} (\%) = A_0 - B_0 \times I_N (P_N) \quad (15)$$

Onde P_N é a potência nominal do motor em (cv), A_0 e B_0 são coeficientes que variam com o número de pólos do motor”.

2.6.4 Análise do Processo Dinâmico

Segundo [11], “o sobredimensionamento de motores pode ocorrer na operação normal dos sistemas industriais quando, após a queima de um motor, o mesmo seja substituído por outro de maior potência. Entretanto, isto também pode ocorrer durante a fase de especificação de um novo motor, devido à falta de informações a respeito do comportamento dinâmico do motor ou da própria carga acionada.

Por outro lado, mesmo sabendo-se que um motor está sobredimensionado, a mesma falta de informação torna a tomada de decisão pela substituição de um motor mais adequado uma tarefa muito difícil, posto que, muitas vezes, o sobredimensionamento de um motor é uma real necessidade para a partida e aceleração de cargas de alta inércia e de alto conjugado resistente.

Para resolver esta questão, apresenta-se a seguir, um método para determinar as características dinâmicas da carga através do registro da velocidade do conjunto motor-carga após o desligamento do motor existente. A equação que governa o sistema dinâmico (Segunda Lei de Newton para o Movimento Curvilíneo) é:

$$M_M - M_C = \frac{2\pi}{60} \times J \times \frac{dn}{dt} \quad (16)$$

Onde M_M e M_C são os conjugados do motor e carga (Nm), respectivamente, J é o momento de inércia (kgm^2) e dn/dt é a taxa de variação da rotação (rpm/s).

A curva do conjugado da carga será considerada da seguinte forma:

$$M_C = K_1 + K_2 \times n^x \quad (17)$$

Onde K_1 (Nm) e K_2 (Nm.rpm^{-x}) são constantes e x representa a dependência do conjugado da carga com a velocidade.

O primeiro passo para a caracterização da curva de conjugado da carga é descobrir qual o valor de x . Quatro valores de x são considerados dependendo do tipo de carga. A Tabela 7 apresenta os valores de x e os tipos de carga associados.

Tabela 7 - Valores de x e tipos de cargas associadas

X	Carga
0	Cargas constantes: guinchos, esteiras e bombas de deslocamento
1	Cargas lineares: compressor pistão
2	Cargas quadráticas: bombas, ventiladores e compressores centrífugos
-1	Cargas hiperbólicas: tornos, bobinadeiras e moendas

Fonte:[11]

O segundo passo é determinar o momento de inércia, o que é feito usando a expressão (18) aplicada à curva velocidade-tempo no exato instante de desligamento. O momento de inércia do conjunto motor-carga pode ser obtido resolvendo a expressão (19).

$$J = - \left(\frac{60}{2\pi} \right)^2 \times \frac{0.735 \times P_N}{n_N} \times \frac{(n_S - n_t)}{(n_S - n_N)} \times 10^{-3} \left(\frac{dn}{dt} \Big|_{t = t_0^+} \right)^{-1} \quad (18)$$

$$\text{Com } FC = \frac{n_t}{n_N} \times \frac{n_S - n_t}{n_S - n_N} \quad (19)$$

Onde dn/dt é a taxa de variação da velocidade, a qual pode ser obtida gráfica ou numericamente, P_N é a potência nominal do motor (cv).

O terceiro passo é determinar os coeficientes K_1 e K_2 da curva do conjugado da carga. Isto é feito usando a mesma curva velocidade-tempo após o desligamento do motor.

As equações (16) e (17) podem ser re-escritas para cada ponto da curva velocidade-tempo. As derivadas podem ser substituídas por diferenças. Posto que o motor esteja desligado, seu conjugado é zero. O número de pontos da curva conduz a um sistema de equações, a partir do qual, os valores de K_1 e K_2 podem ser determinados usando, por exemplo, o método dos mínimos quadrados.

$$K_1 + K_2 \times n^x = - \frac{2\pi}{60} \times J \times \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (20)$$

Uma vez caracterizada a curva de conjugado da carga, pode-se calcular o tempo de partida para ambos os motores, existente e proposto. O cálculo do tempo de partida para o motor existente serve para validar o modelo de carga obtido. O tempo de partida é dado por:

$$t_p = \frac{2\pi}{60} \times J \times \int_0^{n_t} \frac{1}{M_M - M_C} \times dt = \frac{2\pi}{60} \times J \times I \quad (21)$$

A curva de conjugado do motor é obtida através de dados de fabricantes tais como conjugado de partida, conjugado máximo, conjugado nominal e conjugado nulo à rotação síncrona. Para o motor novo, a rotação de trabalho é estimada pela interseção da curva de conjugado do motor com a curva de conjugado da carga previamente determinada. Graficamente, a integral pode ser obtida calculando-se a área sob a curva da função $1/(M_M - M_C)$.

Um tempo de partida para o motor proposto, maior do que o seu tempo de rotor bloqueado, indica que o motor proposto é incapaz de atender às necessidade do processo de partida descartando a possibilidade da sua aplicação.

Por outro lado, um tempo de partida menor do que o tempo de rotor bloqueado não garante que o motor atual possa ser substituído pelo motor proposto já que existem regimes de operação. Sucessivas partidas e paradas, exigem um sobredimensionamento do motor por questões térmicas”.

2.6.5 Análise Térmica

De acordo com [11], “uma análise térmica sobre todo o regime de operação do motor se faz necessária, além da análise de seu fator de carregamento e tempo de partida, porém o desenvolvimento de um modelo térmico completo é muito complexo. No entanto, um modelo simplificado, conservador, pode ser construído considerando que a elevação de temperatura é proporcional ao quadrado da corrente de operação. Por outro lado, a diferença de temperatura do motor em relação à do ambiente, aliada à rotação do motor, são as principais variáveis relacionadas à troca de calor.

Entretanto, considerando o motor como um corpo homogêneo, a elevação de temperatura sobre a temperatura ambiente ($\Delta\theta$) em um determinado período é resultado do somatório de duas componentes: uma componente crescente devido ao carregamento do período em análise, e outra componente decrescente da temperatura final do período anterior.

$$\Delta\theta = \Delta\theta_F \times (1 - e^{-t/T_A}) + \Delta\theta_0 \times e^{-t/T_A} \quad (22)$$

Onde $\Delta\theta_F$ (°C) é a elevação final de temperatura que, na condição de operação do período em análise, o motor alcançaria em regime permanente; $\Delta\theta_0$ (°C) é a elevação final de temperatura do período anterior; t (s) é a duração do período em análise; e, T_A (s) é a constante de aquecimento do motor. Os valores de $\Delta\theta_F$ e T_A são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores de $\Delta\theta_F$ e T_A

Período de Operação	$\Delta\theta_F$ (°C)	T_A (s)
Partida	$\left(\frac{I_P}{I_N}\right)^2 \times \frac{n_N}{n_P} \times \Delta\theta_{LIM}$	Auto-ventilado: $(1,5 \text{ a } 2,5) \times T_{AR}$ Ventilação forçada: T_{AR}
Carga	$\left(\frac{I_t}{I_N}\right)^2 \times \frac{n_N}{n_t} \times \Delta\theta_{LIM}$	T_{AR}
Vazio	$\left(\frac{I_S}{I_N}\right)^2 \times \frac{n_N}{n_S} \times \Delta\theta_{LIM}$	T_{AR}
Parado	0	Auto-ventilado: $(1,5 \text{ a } 2,5) \times T_{AR}$ Ventilação forçada: T_{AR}

Fonte: [11]

Nesta tabela, I_P é a corrente de partida (A), n_P é a rotação média na partida (rpm), T_{AR} é a constante de tempo nominal (s), obtida de fabricantes para cada carcaça de motor e número de pólos. $\Delta\theta_{LIM}$ é a máxima elevação de temperatura admissível pela classe de isolamento do motor”.

2.6.6 Viabilidade Econômica

Segundo [11], “depois de aplicar as metodologias anteriores, pode-se encontrar dois tipos de motores sobredimensionados: os motores que podem ser substituídos por outro de menor potência e aqueles cujo sobredimensionamento é uma real necessidade do processo devido ao ciclo de carga ou à requisitos de partida.

No primeiro caso uma análise de viabilidade econômica deve ser empregada para saber se o motor pode ser imediatamente substituído ou se deve esperar sua queima, para que a sua substituição seja realizada. A resposta à esta questão é bem simples: o motor sobredimensionado deve ser imediatamente substituído se a economia das perdas ao longo de sua vida útil residual for suficiente para pagar o motor novo, ou seja:

$$I_{Novo} < T_R \times E \quad (23)$$

Onde I_{Novo} é o custo de investimento do motor novo (\$), T_R é a vida útil residual do motor existente (anos) e E é a economia anual com a instalação melhor dimensionado, dado por:

$$E = 0,745P_N \times \frac{n_t}{n_N} \times \frac{(n_S - n_t)}{(n_S - n_N)} \times H \times TE \times \left(\frac{100}{\eta_{Velho}} - \frac{100}{\eta_{Novo}} \right) \quad (24)$$

Onde H é o número de horas de operação por ano (h), TE é a tarifa de energia (\$/kWh), η_{Velho} e η_{Novo} são os rendimentos estimados de operação (%) dos motores velho e novo, respectivamente.

Uma vez que o motor velho ainda está operacional, pode-se usar seu valor residual para impulsionar a viabilidade econômica. Naturalmente, isto é válido quando o motor não for descartado, mas usado em outro acionamento mais adequado para explorar a sua capacidade nominal.

Por outro lado, quando o sobredimensionamento for uma real necessidade, deve-se buscar soluções tecnológicas. A redução da tensão de alimentação com a aplicação de eletrônica de potência ou pelo chaveamento da conexão dos enrolamentos do estator, têm se mostrado soluções econômicas quando o motor fica levemente carregado.

O desligamento do motor é uma tarefa alternativa que deve ser considerada quando o motor trabalha em vazio. Juntamente com restrições térmicas e de perda de vida útil devido a partidas sequenciais, o desligamento se torna interessante quando a energia consumida durante o processo for menor do que o consumo de energia durante o período de operação em vazio. De maneira simplificada, o motor poderá ser desligado quando a seguinte expressão for verdadeira:

$$4 \times k_C \times \frac{t_P}{t_V} < 1 \quad (25)$$

Onde t_P é o tempo de partida, t_V período de operação em vazio, k_C é uma constante associada à categoria do motor. Seu valor pode ser 1,35; 2,00 ou 2,50 para motores de categoria D, H ou N, respectivamente”.

3 ESTUDO DE CASO

O Mercado Horodenski é um mercado de pequeno porte, localizado em Joinville, no bairro Bom Retiro. O salão que permite afluência aos consumidores possui 400m², com 7 corredores de produtos. Possui um consumo médio de 12,8MWh, estando classificado como grupo B3 (comercial, convencional trifásico). O mercado fica na parte térrea do prédio em que se encontra, não possuindo entrada para iluminação externa.

Os projetos de eficiência energética a serem realizados, terão foco em melhorias e adequação aos níveis de iluminação de modo eficiente, ações para o aumento de eficiência no condicionamento ambiental do mercado e ações para o aumento de eficiência no sistema motriz deste.

3.1 PROJETO DE EFICIENCIA LUMINOTÉCNICA

O projeto luminotécnico tem como objetivo atender à norma de iluminação de interiores ABNT 8995-1 e, ainda, realizar um projeto de eficiência energética na área de iluminação de interiores com relação custo benefício aceitável para os parâmetros da Aneel. Para a realização deste, foram realizadas duas etapas, sendo que a primeira foi realizada as medições dos níveis de iluminamento do salão e consulta à norma e, em seguida foi realizada a proposta de mudança do projeto luminotécnico e os cálculos para a sua viabilidade.

A medição dos níveis de iluminamento do salão foi realizada com luxímetro digital da marca ICEL Manaus, modelo LD-510, como mostrado na Figura 23:

Figura 23 - Luxímetro ICEL Manaus LD-510



3.1.1 Levantamento dos dados e análise

Os valores medidos, suas respectivas áreas e altura do ambiente são mostradas na Tabela 9:

Tabela 9 - Dados coletados

Ambiente	Área (m²)	Altura (m)	Iluminamento (lux)
Corredor rações e cereais	43,38	2,7	280
Corredor das massas	15,00	2,7	218
Corredor de higiene	15,00	2,7	
Corredor de limpeza	17,36	2,7	140
Corredor de doces	15,19	2,7	140
Corredor de bolachas	23,33	2,7	195
Corredor de Bebidas	21,13	2,7	136
Hall entrada, caixa e bebidas	39,40	2,7	275
Açougue	24,85	2,7	359
Verduras	21,00	2,7	380
Escritório	4,8	2,7	190

Fonte: próprio autor

Para o realizar este projeto luminotécnico do mercado Horodenski, foi utilizado *software* computacional Dialux. Este *software* é uma ferramenta adequada para auxiliar no estudo do projeto luminotécnico, pois, ele possibilita realizar todo o projeto de uma edificação, desde simular os efeitos da iluminação externa, até o grau de ofuscamento. Este *software* possui em sua biblioteca lâmpadas e luminárias que foram disponibilizadas pelos fabricantes para que seus produtos possam ser simulados.

Segundo a norma de iluminação de interiores, há valores limites de iluminamento (E_m), ofuscamento (UGR_L) e reprodução de cor (R_a), como exemplificado na Tabela 10 cujos dados foram obtidos da norma ABNT 8995-1.

Tabela 10 - Dados ABNT 8995-1

Ambiente	Tarefa	E_m(lux)	UGR_L	R_a	Observação
Varejo	Área de vendas pequena	300	22	80	
Varejo	Área de vendas grande	500	22	80	
Varejo	Área de caixa registradora	500	19	80	
Varejo	Mesa do empacotador	500	19	80	
Escritório	Escrever, ler, teclar e processar dados	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10

Fonte: próprio autor

Como padrão para os corredores, será utilizado o parâmetro para área de vendas pequenas, pois são realizadas todas as tarefas descritas na especificação do item.

A análise pode ser feita por meio da comparação dos limites dados pela norma com os valores levantados na medição por meio de do luxímetro, considerando a sua margem de erro da precisão. Foi observado que 2 ambientes ultrapassaram o limite estipulado pela norma, dois ficaram próximos e os demais encontram-se muito abaixo dos limites da norma, mas, mesmo assim, serão realizadas simulações no ambiente, a fim de que o índices de ofuscamento sejam respeitados.

Para este projeto, como foi notado durante a coleta de dados, muitos ambientes do mercado não estavam de acordo com os limites dados pela norma, levando em consideração a margem de erro da precisão do luxímetro utilizado e a medição, por isso, resolveu-se realizar a simulação de todas as sessões do mercado para adequá-lo à norma.

Foi utilizado em simulação, a luminária modelo WT360C 2xTL5-24W/840 HFP C, da Philips, apresentada na Figura 24, que possui 2 lâmpadas LED em sua estrutura.

Figura 24- Luminária utilizada no projeto



Fonte: [22]

Figura 25 - Fator de utilização

Luminous emittance 1 / UGR diagram

Glare evaluation according to UGR													
ρ Ceiling		70	70	50	50	30	ρ Walls		50	30	50	30	30
ρ Floor		20	20	20	20	20	ρ Floor		20	20	20	20	20
Room size	Viewing direction at right angles to lamp axis	Viewing direction parallel to lamp axis											
X	Y												
2H	2H	21.4	22.7	21.7	23.0	23.3	20.5	21.8	20.9	22.1	22.4		
	3H	22.1	23.2	22.5	23.6	23.9	21.8	22.9	22.1	23.2	23.6		
	4H	22.1	23.2	22.5	23.6	23.9	22.1	23.2	22.5	23.6	23.9		
	6H	22.1	23.1	22.5	23.5	23.9	22.3	23.3	22.7	23.7	24.1		
	8H	22.1	23.0	22.5	23.4	23.8	22.3	23.2	22.7	23.6	24.0		
4H	12H	22.1	23.0	22.5	23.4	23.8	22.3	23.2	22.7	23.6	24.0		
	2H	22.0	23.1	22.4	23.4	23.8	21.3	22.4	21.7	22.8	23.1		
	3H	22.8	23.7	23.2	24.1	24.5	22.8	23.7	23.2	24.1	24.5		
	4H	22.9	23.7	23.3	24.1	24.5	23.3	24.1	23.7	24.5	24.9		
	6H	22.9	23.6	23.4	24.0	24.5	23.5	24.2	24.0	24.6	25.1		
8H	8H	22.9	23.5	23.4	24.0	24.5	23.5	24.2	24.0	24.6	25.1		
	12H	22.9	23.5	23.4	24.0	24.5	23.5	24.1	24.0	24.6	25.1		
	4H	23.0	23.6	23.5	24.1	24.6	23.3	24.0	23.8	24.5	25.0		
	6H	23.0	23.5	23.5	24.0	24.6	23.7	24.2	24.2	24.7	25.2		
	8H	23.1	23.5	23.6	24.0	24.6	23.7	24.2	24.3	24.7	25.3		
12H	12H	23.1	23.5	23.7	24.1	24.7	23.7	24.1	24.3	24.7	25.2		
	4H	23.0	23.6	23.5	24.0	24.6	23.3	23.9	23.8	24.4	24.9		
	6H	23.0	23.5	23.6	24.0	24.5	23.6	24.1	24.2	24.6	25.2		
	8H	23.1	23.4	23.6	24.0	24.6	23.7	24.1	24.3	24.6	25.2		
Variation of the observer position for the luminaire distances S													
S = 1.0H		+0.3 / -0.3					+0.2 / -0.2						
S = 1.5H		+0.4 / -0.5					+0.5 / -0.7						
S = 2.0H		+1.1 / -2.0					+0.8 / -1.4						
Standard table		BK03					BK04						
Correction summand		4.9					5.5						
Corrected glare indices referring to 5200lm Total luminous flux													

The UGR values are calculated in acc. with CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

Fonte: [Apêndice A]

O fator de utilização da luminária, dado pela Figura 25, é limitado para alguns níveis de refletância de cor para fins de cálculo, como por exemplo, o teto possui como padrão a refletância de 30%, 50% ou 70%, mas, na verdade, cada cor ou material tem sua própria refletância. A ABNT 8995-1 permite algumas faixas de refletâncias para cada área do ambiente:

- Teto: 0,6 a 0,9
- Paredes: 0,3 a 0,8
- Planos de trabalho: 0,2 a 0,6
- Piso: 0,1 a 0,5

Para simulação realizada no programa DIALux evo, da marca Dial, foram consideradas refletâncias diferentes do padrão para cálculo do fator de utilização. A Figura 26 mostra as refletâncias de alguns materiais e cores que foram seguidas em simulação.

Figura 26 - Refletância de materiais e cores

Materiais	%
Rocha	60
Tijolos	5..25
Cimento	15..40
Madeira clara	40
Esmalte branco	65..75
Vidro transparente	6..8
Madeira aglomerada	50..60
Azulejos brancos	60..75
Madeira escura	15..20
Gesso	80
Cores	%
Branco	70..80
Creme claro	70..80
Amarelo claro	55..65
Rosa	45..50
Verde claro	45..50
Azul celeste	40..45
Cinza claro	40..45
Bege	25..35
Amarelo escuro	25..35
Marrom claro	25..35
Verde oliva	25..35
Laranja	20..25
Vermelho	20..35
Cinza médio	20..35
Verde escuro	10..15
Azul escuro	10..15
Vermelho escuro	10..15
Cinza escuro	10..15
Azul marinho	5..10
Preto	5..10

Para todo o salão do mercado foram consideradas refletâncias de 80% para o teto que é da cor branca, 75% para as paredes que são cor creme claro e 45% para o chão que é cinza. Atualmente a iluminação do salão é feita por 33 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes T10 de 40W, cada, totalizando 66 lâmpadas. Para o projeto luminotécnico e de eficiência energética foi sugerido a troca das luminárias e das lâmpadas por luminárias 41 luminárias de LED de 24W de potência. A simulação dessa situação foi feita para o mesmo número de lâmpadas e luminárias e os resultados encontrados foram transcritos na Tabela 11. Todos os resultados satisfazem aos padrões da ABNT 8995-1:

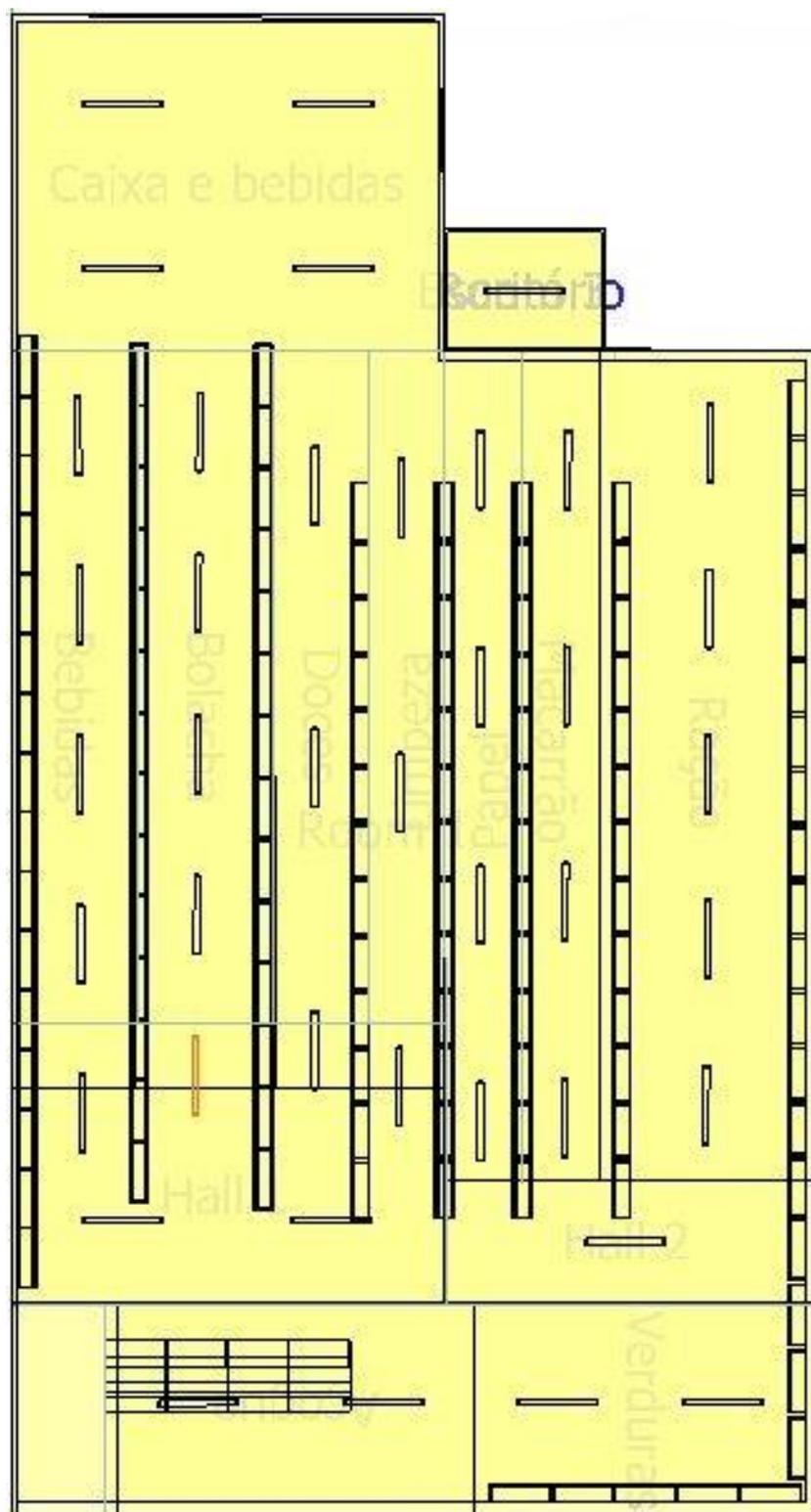
- Iluminamento próximo a 300 lux;
- UGR_L menor que 22.

Tabela 11- Resultados da simulação

Local	Esimulado (lux)	Quantidade de Luminárias	Refletâncias (%) Teto/Paredes/Piso	UGRsimulado	Uniformidade
Caixa	338	4	80/75/45	19,5	0,84
Bebidas	338	4	80/75/45	19,6	0,78
Bolachas	347	5	80/75/45	21,5	0,79
Doces	310	3	80/75/45	20,2	0,81
Limpeza	334	3	80/75/45	19,6	0,73
Papel	322	4	80/75/45	19,8	0,74
Macarrão	346	4	80/75/45	20,1	0,79
Ração	333	5	80/75/45	19,2	0,86
Escritório	337	1	80/75/45	18,7	0,87
Hall 1	367	3	80/75/45	18,3	0,85
Hall 2	350	1	80/75/45	18,4	0,88
Verduras	354	2	80/75/45	19,8	0,83
Açougue	360	2	80/75/45	20,1	0,87

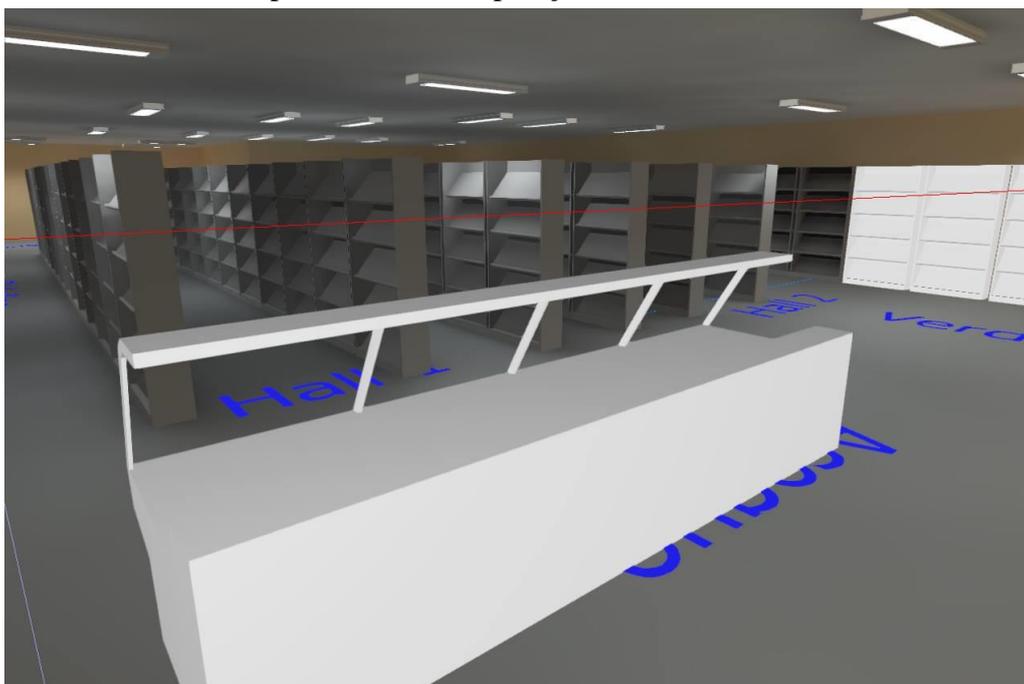
Fonte: próprio autor

Figura 27 – Disposição das luminárias via simulação (vista superior do mercado)



Fonte: próprio autor

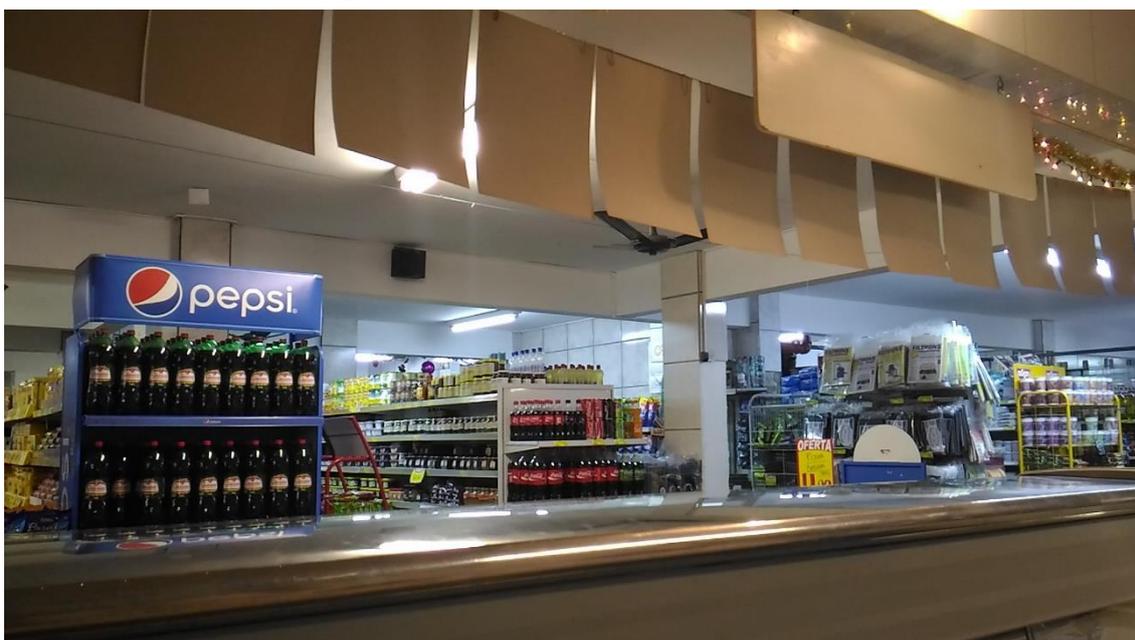
Figura 28 – Vista do interior do mercado via simulação, apresentando a disposição das luminárias



Fonte: próprio autor

A Figura 29 demonstra o interior do mercado por meio de uma foto tirada com um ângulo próximo ao utilizado na simulação (Figura 28).

Figura 29 – Foto do interior do mercado



Fonte: próprio autor

3.1.2 Investimento Inicial

Abaixo, na Tabela 12, temos os valores médios de cada equipamento que será substituído, com base nos valores da Tabela 1 do Apêndice B:

Tabela 12 - Equipamentos a serem trocados

Equipamento	Valor do equipamento (R\$)	Instalação do equipamento (R\$)
Luminária LED 25W	552,36	50,00

Fonte: próprio autor

Após realizar um levantamento de valores no mercado, temos um investimento de R\$H em equipamentos, mais o custo de instalação de R\$50,00, totalizando o investimento de R\$24696,76.

3.1.3 Resultados e benefícios

A Tabela 13, utiliza da tabela de iluminação do módulo 4 do guia do ProPEE para o cálculo do benefício que o projeto luminotécnico pode trazer para a instalação. Ao preencher esta tabela, obtêm-se os dados mínimos requeridos pela Aneel para a análise de viabilidade.

Considerando consumidor categoria B, o que acarreta uma tarifa de R\$0,520404/kWh, e, também, que a concessionária cobra a tarifa de bandeira vermelha, o que acarreta em um acréscimo de R\$0,045 para cada kWh que será consumido.

Com a economia de 56836,66W por mês, o mercado terá uma economia de R\$32135,67 + 25% ICMS dando um total de R\$40169,59 ao mês, obtendo uma economia de R\$482035,11/ano, referente à utilização dos novos equipamentos. Porém, se for considerado um cenário no qual será favorável à produção de energia elétrica por meio das hidrelétrica, ou seja, operando em bandeira verde, haverá uma economia de R\$29578,025 + 25% ICMS dando um total de R\$36972,53 ao mês, realizando uma economia de R\$443670,38/ano.

Tabela 13 - Sistemas de iluminação

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Tipo de Lâmpada		2xTubular 40W
Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1	80
Quantidade	qa_1	33
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times qa_1}{1000}$	2,64
Funcionamento (h/ano)	ha_1	4224
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1 = \frac{Da_1}{Pa_1}$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pa_1 \times ha_1}{1000}$	11,15
Demanda média na ponta (kW)	Da_1	NA
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Tipo de Luminária	LED	WT360C
Potência (lâmpada + reator) (W)	pp_1	25
Quantidade	qp_1	41
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times qp_1}{1000}$	1,025
Funcionamento (h/ano)	hp_1	4224
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_1 = \frac{Dp_1}{Pp_1}$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pp_1 \times hp_1}{1000}$	4,3296
Demanda média na ponta (kW)	Dp_1	NA
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	NA
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	NA
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	6,8204
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	0,6118

Fonte: [2]

Para o cálculo da relação custo benefício (RCB), temos que:

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (26)$$

Onde:

$$CA_T = \sum CE_N \frac{CT}{CE_T} FRC_U \quad (27)$$

$$FRC_U = \frac{i(1+i)^U}{(1+i)^U - 1} \quad (28)$$

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (29)$$

Onde:

- CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);
- CE_N – custo de cada equipamento (R\$);
- CT – custo total do projeto (R\$);
- CE_T – custo total em equipamentos (R\$);
- FRC_U – fator de recuperação do capital para U anos (1/ano);
- U – vida útil dos equipamentos (ano);
- i – Taxa de desconto considerada (1/ano);
- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano);
- EE – Energia anual economizada (MWh/ano);
- CEE – Custo unitário de energia (R\$/MWH);
- RDP – Demanda evitada na ponta (kW.ano);
- CED – Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW.ano).

Com taxa de desconto de 8% e vida útil do equipamento de 10 anos, sendo que o custo de energia consumida na ponta não é aplicado neste projeto, assim, temos que $BA_T = R\$3549,36/\text{ano}$, $FRC_U = 0,149$ e $CA_T = R\$89,75/\text{ano}$. Logo, teremos um $RCB = 1,037$, maior que o máximo de 0,8 estabelecido pelo módulo 7 do guia do ProPEE, mostrando, assim, que o projeto não é válido caso seja submetido à edital da concessionária para a realização de projetos de eficiência energética, porém tornou o sistema mais eficiente, trocando as luminárias mais antigas e com avarias por equipamentos mais econômicos, com fluxo luminoso e índice de ofuscamento próximos dos valores especificados pela norma.

Pela análise acima, adequando o sistema de iluminação, resultará numa economia significativa para o mercado Horodenski.

3.2 PROJETO DE EFICIENCIA EM MOTRIZ

Nesta sessão será realizado o estudo para a realização de um projeto de eficiência energética no mercado Horodenski voltado para sistemas motrizes. Sabe-se que a maior carga do mercado é referente ao sistema motriz, que atua nos freezers e refrigeradores do mercado, sendo esses, seus compressores. Os compressores dos refrigeradores e da câmara fria encontram-se fora do salão principal, dentro do estoque, os demais encontram-se internos a seus respectivos aparelhos.

3.2.1 Levantamento dos dados e análise

Os equipamentos e suas respectivas potências nominais e medidas estão apresentados na Tabela 14:

Tabela 14 - Dados coletados do sistema motriz atual

Equipamento	Potência do Fabricante (W)	Potência Medida (W)	Corrente Medida (A)	Tipo de alimentação
Freezer horizontal (batatas, hamburgers, ervilhas)	1321	1276	5,8	Monofásica
Freezer horizontal (aves)	1321	1276	5,8	Monofásica
Freezer horizontal (refeições congelados)	1321	550	2,5	Monofásica
Freezer horizontal (peixes)	745	220	1,0	Monofásica
Refrigerador (frios)	745	132	0,6	Monofásica
Refrigerador (Vegetais)	745	594	2,7	Monofásica
Refrigerador (Yogurts)	745	484	2,2	Monofásica
Refrigerador (Massas)	745	176	0,8	Monofásica
Câmara Fria	1350	952,6	2,5	Trifásica
Ventiladores	160	132	0,6	Monofásica
Freezer horizontal (sorvetes)	270	264	1,2	Monofásica

Fonte: próprio autor

Após realizado o levantamento da carga, analisa-se se o sistema está corretamente aplicado. Se a relação entre $P_m/P_n < 0,75$, pode-se considerar que o motor está mal dimensionado, onde P_m é a potência medida e P_n é a potência nominal. Porém, deve-se calcular o fator de carregamento do motor, a fim de confirmar se o motor está realmente sobredimensionado. Para isso, será realizado o cálculo do fator de carregamento pelo método normalizado definido pelas normas IEEE 112-B, IEC 34.2 e JEC 37. Este método, foi apresentado pela fonte [21].

$$FC = \frac{2I_t - I_0}{I_n - I_0} \quad (30)$$

$$I_0(\%) = 56,93 + 14,53 \ln(p) - 7,23 \ln(P_N) \quad (31)$$

$$\eta(\%) = FC \frac{0,735 P_N}{P_m} \times 100 \quad (32)$$

Onde:

- Fc – Fator de carregamento;
- I_t – Corrente de trabalho;
- I_0 – Corrente em vazio;
- I_N – Corrente nominal;
- $I_0(\%)$ – Corrente em vazio em porcentagem da nominal;
- p – número de pólos pares do motor;
- P_N – Potência nominal em cv;
- η – Rendimento de operação (%).

Logo, têm-se que, pela Tabela 15, 6 motores estão sobredimensionados e, portanto, com indicação para substituição, buscando tornar o sistema motriz do mercado Horodenski mais eficiente energeticamente. Pois, além de possuírem a relação entre $P_m/P_n < 0,75$, ainda possuem fator de carregamento e rendimento pouco eficientes. Os compressores a serem trocados são os dos refrigeradores de frios, yogurts e massas. Os freezers horizontais de refeições e peixes deverão ser trocados integralmente, pois, foi notado durante o levantamento da carga que há avarias no equipamento e mau estado de conservação e ainda, a câmara fria, integralmente, pois também se encontra em mau estado de conservação.

Tabela 15 - Análise do dimensionamento e carregamento do motor

Equipamento	P_m/P_n	$I_0(\%)$	I_N	I_0	I_t	F_c	$\eta (\%)$
Freezer horizontal (batatas, hamburgers, ervilhas)	0,9659	49,82	6,0	2,989	5,8	0,9556	72,71
Freezer horizontal (aves)	0,9659	49,82	6,0	2,989	5,8	0,9556	72,71
Freezer horizontal (refeições congelados)	0,4148	49,82	6,0	2,989	2,5	0,2232	39,40
Freezer horizontal (peixes)	0,2953	56,93	3,386	1,928	1,0	0,01486	3,69
Refrigerador (frios)	0,177	56,93	3,386	1,928	0,6	-0,1503	-60,96
Refrigerador (Vegetais)	0,797	56,93	3,386	1,928	2,7	0,7168	66,08
Refrigerador (Yogurts)	0,649	56,93	3,386	1,928	2,2	0,510	57,70
Refrigerador (Massas)	0,236	56,93	3,386	1,928	0,8	-0,0677	-7,26
Câmara Fria	0,706	71,30	3,543	2,526	2,5	0,5395	56,19
Ventiladores	0,825	78,12	0,727	0,568	0,6	0,7133	63,37
Freezer horizontal (sorvetes)	0,977	74,34	1,227	0,912	1,2	0,9650	72,54

Fonte: próprio autor

Na Tabela 16, estão listadas as potências dos novos equipamentos a serem instalados.

Tabela 16 - Novos Equipamentos

Equipamento	Potência Atual (W)	Potência Nova (W)	Economia (W)
Freezer horizontal (refeições congelados)	1321	591	729
Freezer horizontal (peixes)	745	254	491
Refrigerador (frios)	745	186	559
Refrigerador (Yogurts)	745	559,3	185,7
Refrigerador (Massas)	745	186	559
Câmara Fria	1350	1020	330

Fonte: próprio autor

A Tabela 17 apresenta a comparação entre as potências instalada dos equipamentos a serem trocados e requerida para os novos equipamentos que serão devem ser aplicados após este projeto, e sua respectiva economia alcançada:

Tabela 17 - Comparação das potências do sistema

Pot. Atual (W)	Pot. Requerida (W)	Economia (W)	Economia (%)
5651	2796,3	-2854,7	-50,5

Fonte: Próprio Autor

3.2.2 Investimento Inicial

Na Tabela 18, temos os valores médios de cada equipamento que será substituído, com base nos valores da Tabela 2 do Apêndice B:

Tabela 18 - Equipamentos a serem trocados

Equipamento	Valor do equipamento (R\$)	Instalação do equipamento (R\$)
Freezer horizontal (refeições congelados)	3500,00	400,00
Freezer horizontal (peixes)	1659,60	250,00
Refrigerador (frios)	473,77	500,00
Refrigerador (Yogurts)	793,52	700,00
Refrigerador (Massas)	473,77	500,00
Câmara Fria	5435,61	1000,00

Fonte: próprio autor

Da Tabela 18, se deduz que será necessário realizar um investimento de R\$12335,67 em equipamentos, mais o custo de instalação de R\$3350,00, totalizando o investimento de R\$15685,67.

3.2.3 Resultados e benefícios

Como o sistema motriz no Mercado Horodenski é utilizado para a conservação de alimentos refrigerados ou congelados, tem-se que este sistema trabalha continuamente, logo, por ser considerado consumidor categoria B, o que acarreta uma tarifa de R\$0,520404/kWh, e, também, que a concessionária cobra a tarifa de bandeira vermelha, o que acarreta em um acréscimo de R\$0,045 para cada kWh que será consumido.

Com a economia de 2854,7W por mês, o mercado terá uma economia de R\$1162,12 + 25% ICMS dando um total de R\$1452,65 ao mês, obtendo uma economia de R\$17431,8/ano, referente à utilização dos novos equipamentos. Porém, se for considerado um cenário no qual será favorável à produção de energia elétrica por meio das hidrelétrica, ou seja, operando em bandeira verde, haverá uma economia de R\$1069,63 + 25% ICMS dando um total de R\$1337,04 ao mês, realizando uma economia de R\$16044,45/ano.

Para o cálculo da relação custo benefício (RCB), temos que:

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (33)$$

Onde:

$$CA_T = \sum CE_N \frac{CT}{CE_T} FRC_U \quad (34)$$

$$FRC_U = \frac{i(1+i)^U}{(1+i)^U - 1} \quad (35)$$

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (36)$$

Onde:

- CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);
- CE_N – custo de cada equipamento (R\$);
- CT – custo total do projeto (R\$);
- CE_T – custo total em equipamentos (R\$);
- FRC_U – fator de recuperação do capital para U anos (1/ano);
- U – vida útil dos equipamentos (ano);

- i – Taxa de desconto considerada (1/ano);
- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano);
- EE – Energia anual economizada (MWh/ano);
- CEE – Custo unitário de energia (R\$/MWH);
- RDP – Demanda evitada na ponta (kW.ano);
- CED – Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW.ano).

Com taxa de desconto de 8% e vida útil do equipamento de 15 anos, sendo que o custo de energia consumida na ponta não é aplicado neste projeto, assim, temos que $BA_T = R\$12835,56/\text{ano}$, $FRC_U = 0,1168$ e $CA_T = R\$1832,175/\text{ano}$. Logo, teremos um $RCB = 0,01427$, menor que o máximo de 0,8 estabelecido pelo módulo 7 do guia do ProPEE, mostrando, assim, que o projeto é válido.

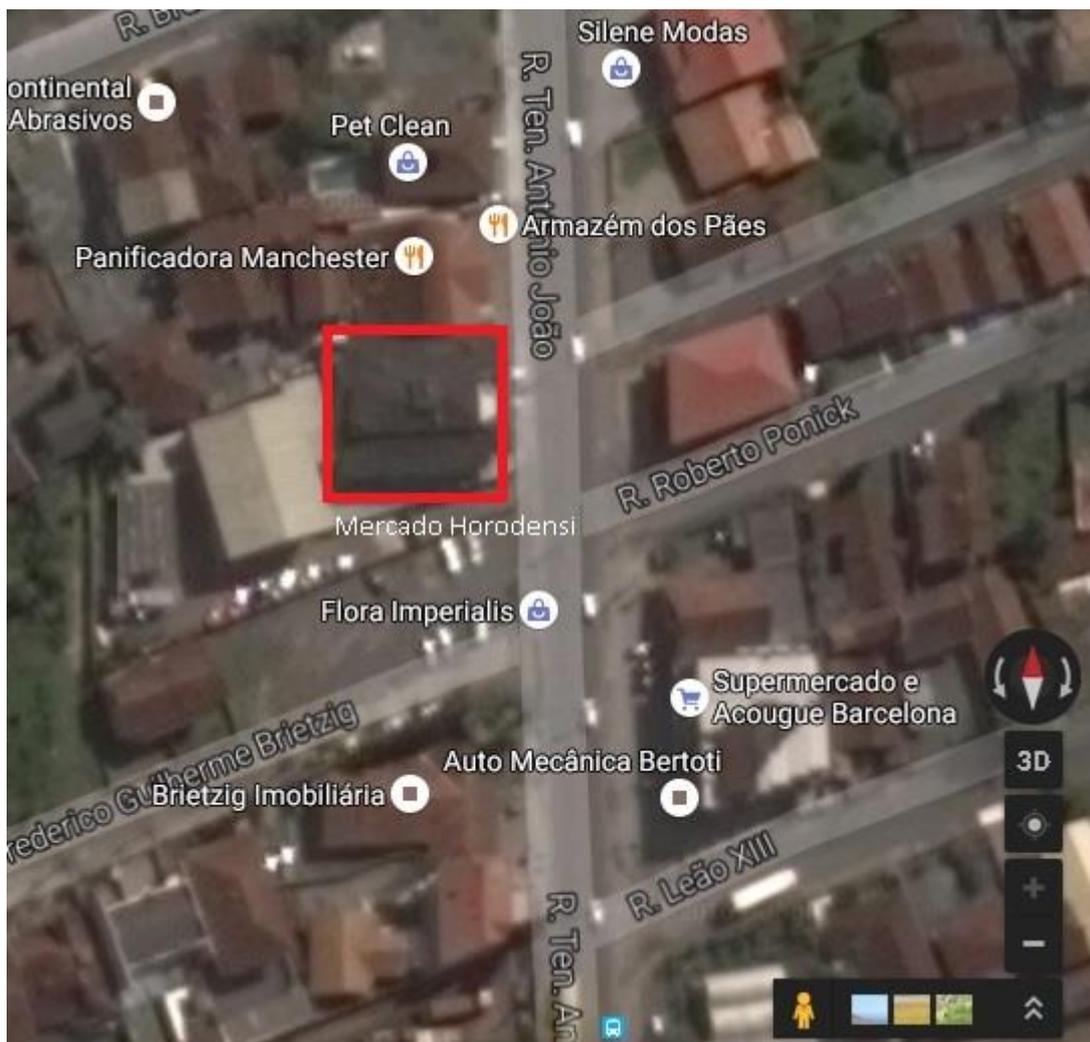
3.3 PROJETO DE EFICIENCIA EM CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

O horário de funcionamento do mercado em dia útil é das 6:30 às 20:30, aos sábado das 6:30 às 7:30 e aos domingos das 7:00 as 12:00. Nesta sessão será realizado o projeto de adequação do sistema de condicionamento ambiental do mercado, utilizando o cálculo de quanto calor deverá ser retirado do ambiente, seguindo a norma NBR 5858.

3.3.1 Levantamento dos dados e análise

Na Figura 30, temos o posicionamento do mercado retirado do Google Maps [24]:

Figura 30 - Localização do mercado via Google Maps



Fonte: [24]

O mercado Horodenski possui em seu sistema de condicionamento de ar 3 aparelhos, utilizados para condicionar o ambiente acessível aos consumidores, estes estão listados na Tabela 19.

Tabela 19 - Relação dos aparelhos de ar condicionado

Área (m ²)	Potência (BTU)	Eficiência	Tipo
400	30000	D	Janela
400	30000	D	Janela
400	12000	A	Split

Fonte: Próprio Autor

O principal objetivo deste projeto é dimensionar a carga ideal e, assim, identificar as melhores condições para realizar o aumento de eficiência.

Para otimizar o consumo de energia consumido pelo sistema, foi determinado quanto de calor deverá ser retirado do ambiente, seguindo a norma NBR 5858. Este cálculo foi realizado por meio de planilha de cálculo simplificado de acordo com apresentado na norma, com suas constantes já definidas para valores a serem considerados. O preenchimento correto desta planilha acarretará na potência em que o sistema de condicionamento ambiental deverá utilizar para o estabelecimento.

Para que este formulário possa ser preenchido corretamente, deve-se ter conhecimento dos seguintes dados:

- Dimensões do ambiente a ser condicionado;
- Janelas, portas e vãos livres com suas respectivas dimensões;
- Tipo de parede (pesada ou leve);
- Piso;
- Indicação da parede voltada ao sul;
- Número de lâmpadas com respectivas potências consumidas;
- Números de aparelhos elétricos e respectivas potências;
- O recinto é localizado sob telhado ou andar;
- Outros elementos que possam interferir na carga.

Os resultados em Btu/h encontrados por meio da planilha de cálculo, e apresentados na Tabela 20, serão comparados com os valores atuais dos aparelhos utilizados pelo sistema, para verificar se há necessidade de redimensionamento dos aparelhos e com proposta para a substituição por outro mais eficiente e adequado ao ambiente.

Para que possa ser estimado a eficiência do ambiente, foram utilizados os valores de eficiência disponibilizados pelo Procel, cujos valores são apresentados na Figura 31.

Figura 31 - Selo PROCEL de economia de energia

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL Data atualização: 19/02/2014

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,20	<CEE	309	28,9%	206	88,0%
B	3,00	<CEE ≤ 3,20	218	20,4%	17	7,3%
C	2,80	<CEE ≤ 3,00	337	31,5%	11	4,7%
D	2,60	<CEE ≤ 2,80	180	16,8%	0	0,0%
E	2,39	≤CEE ≤ 2,60	25	2,3%	0	0,0%
			1069 un	234 un		

Fonte: [19]

Tabela 20 - Relação dos aparelhos de ar condicionado

Ambiente: Mercado Horodenski						
Calculista: Ana Maria de Menezes						
Data: 10/11/2016						
Calor Recebido de:	Quantidade	Fatores				KJ/h (Quantidade x Fatores)
		Sem Proteção	Com Proteção Interna	Com Proteção Externa	Área x Fator	
1) Janelas: Insolação						3933
Norte	m ²	1000	480	290		
Nordeste	m ²	1000	400	290		
Leste	13,11m ²	1130	550	300	3933	
Sudeste	m ²	840	350	290		
Sul	m ²	0	0	0		
Sudoeste	m ²	1680	670	480		
Oeste	m ²	2100	920	630		
Noroeste	m ²	1500	630	400		
2) Janelas: Transmissão Vidro Comum	13,11m ²	210				2753,1
3) Paredes		Construção Leve		Construção Pesada		
a) Paredes externas						
Orientação - Sul	m ²	55		42		
Outra orientação	49,14m ²	64		50		2457
b) paredes internas	161,46m ²	33				5328,18
4 - Tetos:						
Entre Andares	400m ²	55				22000
Sob Telhado	m ²	75				
5) Piso (Exceto diretamente sobre o solo)	m ²	55				
6) Número de Pessoas	20	630				12600
7) Iluminação e aparelhos elétricos	10kW	4				40000
8) Portas ou vãos continuamente abertos	4,37m ²	630				2622
9) Subtotal (somar todos os valores da quantidade x fator)						89893,28
10) Carga Térmica Total		Fator do Mapa 0,9				80903,952BTU/h

Fonte: [20]

O levantamento de carga térmica realizada no mercado Horodenski, por meio da Tabela 20, permite verificar se instalação atual encontra-se adequada. A Tabela 21 apresenta a indicação dos valores atuais e os necessários para adequação para o novo sistema.

Tabela 21 - Relação dos aparelhos de ar condicionado

Pot. Atual (BTU/h)	Pot. Atual (W)	Etiqueta Atual	Pot. Requerida (BTU/h)	Pot. Requerida (W)	Etiqueta Proposta	Consumo (W)
72000	8085	D,D,A	80903,952	7360	B,A,A	-725

Fonte: Próprio Autor

Observa-se pela Tabela 21, que o consumo irá reduzir, foi observado também que existem dois aparelho tipo janela não se encontram em eficiencia adequada, pois por serem antigos, possuem desgaste nas peças, tempo de uso e mau estado de conservação. Como observado no cálculo da Tabela 20, o sistema atual está subdimensionado, obrigando assim o sistema trabalhar em sua máxima potência, contribuindo assim na sua diminuição da eficiencia energética.

O novo sistema, acarretará na substituição dos três condicionadores de ar atuais, por split teto inverter de 35000BTU/h posicionado ao fundo do mercado e dois split inverter de 22000BTU/h nas laterais próximos da entrada, locais estes escolhidos devido a dificuldades de instalação em outros pontos, estando próximo da carga térmica total calculada pela Tabela 20, assim os aparelhos de ar condicionado terão menos esforços para manter o ambiente em uma temperatura confortável.

3.3.2 Investimento Inicial

Após realizar um levantamento de valores médios dos equipamentos, será necessário um investimento de R\$14723,69, em equipamentos, mais o custo de instalação de R\$450,00, totalizando o investimento de R\$16073,69.

O valor médio de cada equipamento é dado pela Tabela 22 abaixo, com base nos valores da Tabela 3 do Apêndice B:

Tabela 22 - Equipamentos a serem trocados

Equipamento	Valor do Equipamento (R\$)
35000BTU/h	8073,93
22000BTU/h	3324,88

Fonte: Próprio Autor

3.3.3 Resultados e benefícios

Como apresentado anteriormente, a utilização do sistema de condicionamento de ar ocorre nos meses de dezembro a fevereiro, durante todo o horário de funcionamento do estabelecimento, logo, por ser considerado consumidor categoria B que acarreta, assim, uma tarifa de R\$0,520404/kWh, e também, a concessionária cobra a tarifa de bandeira vermelha que acarreta em um acréscimo de R\$0,045 para cada kWh que consumir.

Com a economia de 252300W por mês, o mercado terá uma economia de R\$142651,43 + 25% ICMS dando um total de R\$178314,29 ao mês, obtendo uma economia de R\$534942,86/ano, referente à utilização dos novos equipamentos. Porém, se for considerado um cenário no qual será favorável à produção de energia elétrica por meio das hidrelétrica, ou seja, operando em bandeira verde, haverá uma economia de R\$131297,93 + 25% ICMS dando um total de R\$164122,41 ao mês, realizando uma economia de R\$492367,24/ano.

A Tabela 23, que reproduz a Tabela 2 do módulo 4 do PROPEE, permite calcular a economia do sistema.

Tabela 23 - Sistemas de condicionamento ambiental

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		Janela e split
Potência Refrigeração (btu/h)	pa_1	72000
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	ca_1	2,82; 2,82; 3,24 Média = 2,96
Quantidade	qa_1	3
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times 0,293 \times qa_1}{1000 \times ca_1}$	21,38
Potência Média utilizada (kW)	Pua_1	8,085
Funcionamento (h/ano)	ha_1	1056
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPa_1$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pua_1 \times ha_1}{1000}$	8,538
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pua_1 \times FCPa_1$	NA
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		Ar split e teto inverter
Potência Refrigeração (btu/h)	pp_1	79000
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	cp_1	3,03; 3,24; 3,24 Média = 3,17
Quantidade	qp_1	3
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times 0,293 \times qp_1}{1000 \times ca_1}$	21,90
Potência Média utilizada (kW)	Pup_1	7,36
Funcionamento (h/ano)	hp_1	1056
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPp_1$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pup_1 \times hp_1}{1000}$	7,772
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pup_1 \times FCPp_1$	NA
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	NA
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	NA
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	1,178
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	0,1379

Fonte: [2]

Pelo último item da Tabela 23, o novo sistema é vantajoso, por ser mais eficiente e pela economia de energia que irá proporcionar.

Para o cálculo da relação custo benefício (RCB), temos que:

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (37)$$

Onde:

$$CA_T = \sum CE_N \frac{CT}{CE_T} FRC_U \quad (38)$$

$$FRC_U = \frac{i(1+i)^U}{(1+i)^U - 1} \quad (39)$$

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (40)$$

Onde:

- CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);
- CE_N – custo de cada equipamento (R\$);
- CT – custo total do projeto (R\$);
- CE_T – custo total em equipamentos (R\$);
- FRC_U – fator de recuperação do capital para U anos (1/ano);
- U – vida útil dos equipamentos (ano);
- i – Taxa de desconto considerada (1/ano);
- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano);
- EE – Energia anual economizada (MWh/ano);
- CEE – Custo unitário de energia (R\$/MWH);
- RDP – Demanda evitada na ponta (kW.ano);
- CED – Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW.ano).

Com taxa de desconto de 8% e vida útil do equipamento de 10 anos, sendo que o custo de energia consumida na ponta não é aplicado neste projeto, assim, têm-se que $BA_T = R\$613,04/\text{ano}$, $FRC_U = 0,1490$ e $CA_T = R\$2394,87/\text{ano}$. Logo, resultará em um $RCB = 3,91$, superior a 0,8, mostrando assim que o projeto não é válido caso seja submetido à edital da concessionária para a realização de projetos de eficiência energética.

Pela análise acima, adequando somente o sistema de condicionamento ambiental, isoladamente, nota-se pouca vantagem em sua aplicação, porém, será analisado este projeto novamente, a seguir, utilizando como base as mudanças sugeridas nos projetos de luminotécnica e motriz apresentados neste presente documento.

3.3.4 Análise

A seguir, será realizado o novo cálculo da quantidade de calor a ser retirado do ambiente, segundo a NBR 5858, considerando a carga do sistema motriz depois da adequação do sistema. Para tanto, serão utilizados os dados contidos na Tabela 24.

Tabela 24 - Relação dos aparelhos de ar condicionado

Ambiente: Mercado Horodenski Calculista: Ana Maria de Menezes Data: 10/11/2016						
Calor Recebido de:	Quantidade	Fatores				KJ/h (Quantidade x Fatores)
		Sem Proteção	Com Proteção Interna	Com Proteção Externa	Área x Fator	
1) Janelas: Insolação						3933
Norte	m ²	1000	480	290		
Nordeste	m ²	1000	400	290		
Leste	13,11m ²	1130	550	300	3933	
Sudeste	m ²	840	350	290		
Sul	m ²	0	0	0		
Sudoeste	m ²	1680	670	480		
Oeste	m ²	2100	920	630		
Noroeste	m ²	1500	630	400		
2) Janelas: Transmissão Vidro Comum	13,11m ²	210				2753,1
3) Paredes		Construção Leve		Construção Pesada		
a) Paredes externas						
Orientação - Sul	m ²	55		42		
Outra orientação	49,14m ²	64		50		2457
b) paredes internas	161,46m ²	33				5328,18
4 – Tetos:						
Entre Andares	400m ²	55				22000
Sob Telhado	m ²	75				
5) Piso (Exceto diretamente sobre o solo)	m ²	55				
6) Número de Pessoas	20	630				12600
7) Iluminação e aparelhos elétricos	7kW	4				28000
8) Portas ou vãos continuamente abertos	4,37m ²	630				2622
9) Subtotal (somar todos os valores da quantidade x fator)						79693,28
10) Carga Térmica Total		Fator do Mapa 0,9				71723,952BTU/h

Fonte: [20]

O levantamento de carga térmica realizada no mercado Horodenski, por meio da Tabela 24, permite verificar que o sistema atual pode estar inadequado. Na Tabela 25, temos a indicação dos valores atuais, do sistema necessário para adequação para o novo sistema, será também verificado se há desperdício de energia no sistema atual.

Tabela 25 - Relação dos aparelhos de ar condicionado

Pot. Atual (BTU/h)	Pot. Atual (W)	Etiqueta Atual	Pot. Requerida (BTU/h)	Pot. Requerida (W)	Etiqueta Proposta	Consumo (W)
72000	8085	D,D,A	71723,952	6580	B,A,A	-1505

Fonte: Próprio Autor

Observa-se pela Tabela 25 acima, que o consumo irá reduzir mais comparado com a proposta anterior, cerca de 780W a menos que o sistema anterior proposto.

O novo sistema, acarretará na substituição dos três condicionadores de ar atuais, por split teto inverter de 35000BTU/h posicionado ao fundo do mercado e dois split inverter de 18000BTU/h nas laterais próximos da entrada, locais estes escolhidos devido a dificuldades de instalação em outros pontos, estando próximo da carga térmica total calculada pela Tabela 24, assim os aparelhos de ar condicionado terão menos esforços para manter o ambiente em uma temperatura confortável.

3.3.5 Investimento Inicial

Após realizar um levantamento de valores médios dos equipamentos, temos um investimento de R\$13670,01 em equipamentos, mais o custo de instalação de R\$450,00, totalizando o investimento de R\$15020,01.

O valor de cada equipamento é dado pela Tabela 25, com base nos valores da Tabela 1 do Apêndice B:

Tabela 26 - Aparelhos substituídos

Equipamento	Valor do Equipamento (R\$)
35000BTU/h	8073,93
18000BTU/h	2798,04

Fonte: Próprio Autor

3.3.6 Resultados e benefícios

Como apresentado anteriormente, a utilização do sistema de condicionamento de ar ocorre nos meses de dezembro a fevereiro, durante todo o horário de funcionamento do estabelecimento, logo, por ser considerado consumidor categoria B que acarreta assim uma tarifa de R\$0,520404/kWh, e também, a concessionária cobra a tarifa de bandeira vermelha que acarreta em um acréscimo de R\$0,045 para cada kWh que consumir.

Com a economia de 523740W por mês, o mercado terá uma economia de R\$296124,69 + 25% ICMS dando um total de R\$370155,86 ao mês, obtendo uma economia de R\$1110467,59/ano, referente à utilização dos novos equipamentos. Porém, se for considerado um cenário no qual será favorável à produção de energia elétrica por meio das hidrelétrica, ou seja, operando em bandeira verde, haverá uma economia de R\$272556,39 + 25% ICMS dando um total de R\$340695,49 ao mês, realizando uma economia de R\$1022086,46/ano.

A Tabela 24, que reproduz a Tabela 2 do módulo 4 do PROPEE, permite calcular a economia do sistema.

Tabela 27 - Sistemas de condicionamento ambiental

Sistema Atual		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		Janela e split
Potência Refrigeração (btu/h)	pa_1	72000
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	ca_1	2,82; 2,82; 3,24 Média = 2,96
Quantidade	qa_1	3
Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times 0,293 \times qa_1}{1000 \times ca_1}$	21,38
Potência Média utilizada (kW)	Pua_1	8,085
Funcionamento (h/ano)	ha_1	1056
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPa_1$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pua_1 \times ha_1}{1000}$	8,538
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pua_1 \times FCPa_1$	NA
Sistema Proposto		
	Sistema 1	Total
Tipo de Equipamento/Tecnologia		Ar split e teto inverter
Potência Refrigeração (btu/h)	pp_1	71000
Coefficiente de Eficiência Energética (W/W)	cp_1	3,03; 3,24; 3,24 Média = 3,17
Quantidade	qp_1	3
Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times 0,293 \times qp_1}{1000 \times ca_1}$	19,69
Potência Média utilizada (kW)	Pup_1	6,580
Funcionamento (h/ano)	hp_1	1056
FCP (Fator de Coincidência na Ponta)	$FCPp_1$	NA
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pup_1 \times hp_1}{1000}$	6,948
Demanda Média na Ponta (kW)	$Da_1 = Pup_1 \times FCPp_1$	NA
Resultados Esperados		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	NA
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	NA
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	1,59
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	0,1862

Fonte: [2]

Pelo último item da Tabela 23, o novo sistema é vantajoso, por ser mais eficiente e pela economia de energia que irá proporcionar. O sistema trabalhará com menos esforços e reduzirá o custo de manutenção do equipamento, pois o sistema anterior já possui mais de 10 anos de uso, perdendo, assim, sua eficiência inicial.

Para o cálculo da relação custo benefício (RCB), utiliza-se:

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (41)$$

Onde:

$$CA_T = \sum CE_N \frac{CT}{CE_T} FRC_U \quad (42)$$

$$FRC_U = \frac{i(1+i)^U}{(1+i)^U - 1} \quad (43)$$

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (44)$$

Onde:

- CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);
- CE_N – custo de cada equipamento (R\$);
- CT – custo total do projeto (R\$);
- CE_T – custo total em equipamentos (R\$);
- FRC_U – fator de recuperação do capital para U anos (1/ano);
- U – vida útil dos equipamentos (ano);
- i – Taxa de desconto considerada (1/ano);
- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano);
- EE – Energia anual economizada (MWh/ano);
- CEE – Custo unitário de energia (R\$/MWh);
- RDP – Demanda evitada na ponta (kW.ano);
- CED – Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW.ano).

Com taxa de desconto de 8% e vida útil do equipamento de 10 anos, sendo que o custo de energia consumida na ponta não é aplicado neste projeto, assim, têm-se que $BA_T = R\$827,44/\text{ano}$, $FRC_U = 0,1490$ e $CA_T = R\$2237,98/\text{ano}$. Logo, teremos um $RCB = 2,70$, maior que o máximo de 0,8 admitido pela Aneel, mostrando, assim, que o projeto não é válido caso seja submetido à edital da concessionária para a realização de projetos de eficiência energética. Porém, como pode-se notar que este novo sistema proposto, poderá proporcionar um retorno do investimento mais rapidamente que o primeiro sistema, pois este economiza cerca de 0,412MWh/ano, a mais, que o primeiro sistema, trazendo, assim, uma economia de R\$214,41/ano, a mais.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como finalidade realizar uma auditoria energética em um consumidor comercial de baixa tensão, no caso sendo o Mercado Horodenski, a fim de propor projetos de eficiência energética nas áreas de iluminação, motriz e condicionamento de ar, para o mesmo, visando a melhoria de seus equipamentos, tornando assim eficiente o seu consumo.

Foram realizadas medições de iluminamento, consumo das luminárias, consumo e carregamento dos motores dos refrigeradores, câmara fria, e o sistema de condicionamento de ar da instalação a fim de pontuar cada equipamento a ser substituído.

Para o sistema de iluminação, teve como opção propor um projeto luminotécnico no qual visa a troca das luminárias, que atualmente são do tipo simples, sem aletas e não espelhadas, que possuem 2 lâmpadas tubulares fluorescentes, por luminárias LED com moderna tecnologia para melhora do iluminamento e assim, diminuindo também o índice de ofuscamento desta.

Notou-se nesse projeto de iluminação que não seria viável submetê-lo à edital da concessionária para projetos de eficiência energética, pois este requer que o RCB de cada projeto submetido a este seja menor ou igual à 0,8 requerido pelo módulo 7 do guia do ProPEE e o projeto de iluminação realizado neste trabalho obteve um RCB = 1,037. Porém, realizada as análises, nota-se que este projeto será benéfico ao consumidor, pois pode proporcionar a eficiência energética almejada para a instalação e consequentemente, uma redução do consumo.

Para o sistema motriz, foi realizada a análise do carregamento dos motores e a comparação entre as potências de operação e as indicadas pelos fabricantes, a fim de pontuar quais motores devem ser substituídos por outros mais modernos ou de menor potência e mais eficientes. Por esta análise, obteve-se o resultado de que é necessário realizar a troca de 6 equipamentos para que possa tornar a instalação eficiente.

Notou-se neste projeto motriz que é viável ser submetido ao edital da concessionária para projetos de eficiência, pois este obteve um RCB = 0,01427 que é bem abaixo do máximo de 0,8 como dito anteriormente. Assim, constata-se que este projeto é viável tanto para a concessionária investir neste, quanto para o consumidor, devido à redução de consumo de energia que este projeto irá proporcionar.

Para o projeto do sistema de condicionamento de ar, foram realizados dois projetos, no qual o primeiro foi realizado considerando o sistema atual de iluminação e motriz e o segundo leva em consideração as propostas de mudança nos sistemas motriz e luminotécnico.

Nos dois projetos de condicionamento de ar foram propostos a troca dos equipamentos utilizando como base de cálculo da retirada de calor a tabela da norma NBR 5858. As duas propostas se mostraram ser inviável serem submetidas à edital da concessionária, pois ambas apresentaram RCB muito acima do máximo estipulado. Apresentaram respectivamente 3,91 e 2,7, não sendo viável assim que a concessionária

realize o investimento neste projeto, porém, para o consumidor as mudanças se tornam viáveis, pois com a troca dos equipamentos propostos, o sistema se torna mais eficiente, consumindo assim menos potência e conseqüentemente, reduz o consumo de energia da instalação, tornando o ambiente mais confortável para os clientes que frequentam o estabelecimento, pois está dentro dos parâmetros que foram calculados pela norma.

Assim, após realizar a auditoria energética no consumidor comercial de baixa tensão escolhido para o estudo, nota-se que pôde ser utilizado os métodos de Medição e Verificação contidos no guia do ProPEE, no qual foram realizadas medições dos sistemas estudados, e assim foram realizadas as propostas para adequações destes sistemas e as análises da viabilidade das propostas.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, podem ser realizadas mais auditorias energéticas em diferentes tipos de consumidores a fim de comparar a viabilidade dos novos projetos com este projeto realizado.

Pode-se também realizar a aplicação das propostas apresentadas neste trabalho a fim de comparar os resultados apresentados neste documento com os resultados que serão obtidos ao serem aplicadas as mudanças sugeridas.

REFERÊNCIAS:

[1] MARTINS, Florido Manoel Nunes Vaz. **Uso Eficiente de Energia no Comércio Lojista**: Rio de Janeiro:Sebrae, 2008.

[2] REIS, Thiago. **Supermercados Buscam Soluções para Reduzir Consumo de Energia**. Brasil: Procel Info, 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D¶ms=itemID&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em 02 de maio de 2016.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. São Paulo: ABESCO. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/propee/>>. Acesso em 29 de março de 2016

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Org). **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE 2013**. Brasília: ANEEL, 2013.

[3] EVO – EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água - vol. 1 - EVO 10000 – 1:2012 (Br)**. Sofia: EVO, 2012.

[5] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **O Programa**. Rio de Janeiro: Procel Info, 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>>. Acesso em 10 de abril de 2016

[6] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **PROCEL SELO – Eficiência Energética em Equipamentos**. Rio de Janeiro: Procel Info, 2006. Disponível em : <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDF05F4A2E14D84958AAEE698B55F104EAPTBRIE.htm>>. Acesso em 10 de abril de 2016.

- [7] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro: Procel Info, 2006. Disponível em : <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em 10 de abril de 2016
- [8] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes**. Rio de Janeiro: Procel Info, 2006. Disponível em : <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>>. Acesso em 10 de abril de 2016
- [9] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Selo Procel**. Rio de Janeiro: Procel Info, 2006. Disponível em : <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>>>. Acesso em 10 de abril de 2016
- [10] SANTOS, A.H.M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006.
- [11] SANTOS, A.H.M et al. **Eficiência energética : teoria & prática**. 1.ed. Itajubá: FUPAI, 2007.
- [12] RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. 1.ed. Rio de Janeiro: Procel,2002. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Manual_Iluminacao.pdf>. Acesso em 27 de abril de 2016
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, “Verificação de Iluminância de Interiores – Procedimentos” NBR 5382, Brasil, 1985.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, “Iluminação de Interiores – Especificação”, NBR 5413, Rio de Janeiro, 1982.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, “Máquinas elétrica girantes – Motores de indução – Especificação”, NBR 7094, Brasil, 2003.

- [16] Luxímetro Digital Portátil – LD510 – ICEL. Disponível em : <<http://www.alpax.com.br/produtos/equipamentos/luximetro/luximetro-digital-portatil-ld510-icel>>. Acesso em 27 out 2016.
- [17] Ar Condicionado Airmaster – 30000BTH – CONSUL. Disponível em: <<http://www.maxfrio.com.br/popup/tmaster.htm>>. Acesso em 29 out 2016
- [18] Ar Condicionado Residencial – LG. Disponível em: <<http://www.lg.com/br/ar-condicionado-residencial/lg-TS-C122H4W0>>. Acesso em 5 nov 2016
- [19] Condicionado de Ar Split Hi-Wall - Inmetro. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionador_de_ar_split_hi_wall.pdf>. Acesso em 5 nov 2016
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, “Norma técnica sobre condicionadores de ar”, NBR 5858, Brasil, 1983.
- [21] UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ. **Motores elétricos e inversores de frequência**. Itajubá: UNIFEI, 2016.
- [22] Luminária LED – WT360C 2xTL5-35W/840 HFP C, PHILIPS. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/waterproof-and-cleanroom/waterproof-luminaires/pacific-performer/910925308812_EU/product>. Acesso em 15 nov 2016.
- [23] Iluminação: Conceitos e Projetos. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf>. Acesso em 10 nov 2016.
- [24] GOOGLE MAPS. Retirado de: <<https://www.google.com.br/maps/@-26.2572918,-48.847131,239m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 10 out 2016.

APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS EM SIMULAÇÃO

Figura 1 - Datasheet da luminária

Philips Lighting WT360C 2xTL5-25W HFP C 2xTL5-25W/840

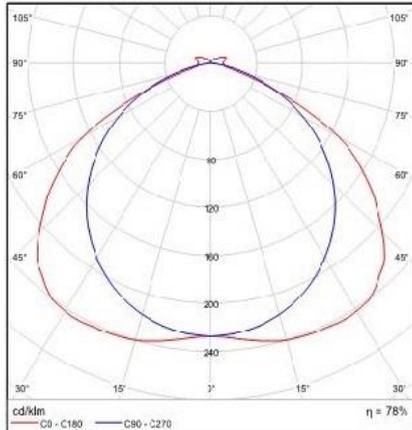


Pacific Performer WT360C – excellent, efficient and easy
 If you want to reduce your energy costs and join a growing number of companies doing their part for sustainability, then the Pacific Performer WT360C is for you. Featuring a fresh new design, this waterproof luminaire combines highly energy-efficient T5 lamp technology with a new reflector system offering excellent beam control. What's more, installation is quick and easy, thanks to the flexible ceiling brackets and smart end-caps. And because the light engine itself can be replaced, it will be possible to upgrade to LEDs in the future without having to change the entire luminaire

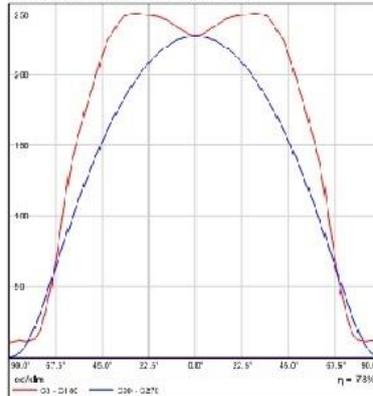
Light output ratio: 78.46%
 Lamp luminous flux: 5200 lm
 Luminaire luminous flux: 4080 lm
 Power: 55.0 W
 Luminous efficacy: 74.2 lm/W

Colourimetric data
 2xTL5-25W/840: CCT 3000 K, CRI 100

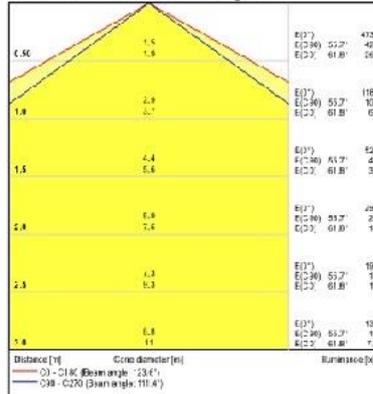
Luminous emittance 1 / Polar LDC



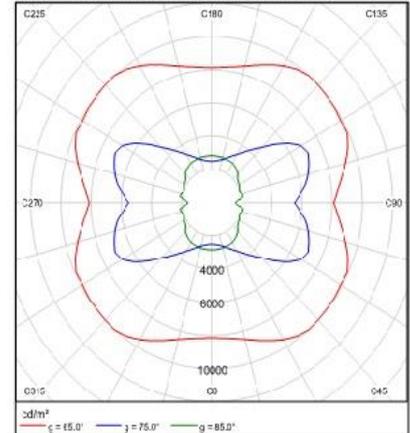
Luminous emittance 1 / Linea LDC



Luminous emittance 1 / Cone diagram



Luminous emittance 1 / Luminance diagram



Luminous emittance 1 / UGR diagram

Glare evaluation according to UGR

Room size	X	Y	Viewing direction at right angles to lamp axis	Viewing direction parallel to lamp axis
a Ceiling	70	70	50	30
a Walls	50	30	50	30
a Floor	20	20	20	20
2H	2H	21.4	22.7	21.7
3H	22.1	23.2	22.5	23.6
4H	22.1	25.2	22.5	23.6
6H	22.1	25.1	22.5	23.9
8H	22.1	25.0	22.5	23.4
12H	22.1	25.0	22.5	23.4
2H	22.0	25.1	22.4	23.4
3H	22.8	25.7	23.2	24.1
4H	22.9	25.7	23.3	24.1
6H	22.9	25.6	23.4	24.0
8H	22.9	25.5	23.4	24.0
12H	22.9	25.5	23.4	24.0
2H	23.0	25.6	23.5	24.1
3H	23.0	25.5	23.5	24.0
4H	23.1	25.5	23.6	24.0
6H	23.1	25.5	23.7	24.1
8H	23.0	25.6	23.5	24.0
12H	23.1	25.4	23.6	24.0

Variation of the observer position for the luminaires distances S

S	+0.3 / -0.3	+0.2 / -0.2
S = 1.0H	+0.4 / -0.5	+0.5 / -0.7
S = 2.0H	+1.1 / -2.0	+0.8 / -1.4

Standard table: BK03, BK04

Correction summand: 4.9, 5.5

Corrected glare indices referring to 5200lm Total luminous flux

The UGR values are calculated in acc. with CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

APÊNDICE B – VALORES DOS EQUIPAMENTOS

Os preços dos equipamentos das Tabelas 1 a 4 foram definidos por meio de uma pesquisa em sites lojas de cada ramo, no qual foram escolhidos os valores máximos e mínimos encontrados.

Tabela 1 – Valores máximos e mínimos da luminária

Equipamento	Valor Máximo (R\$)	Valor Mínimo (R\$)	Valor Médio (R\$)	Quantidade de Cotações
WT360C 2xTL5-24W/840 HFP C	652,7	468,5	552,36	5

Tabela 2 – Valores máximos e mínimos de cada equipamento

Equipamento	Valor Máximo (R\$)	Valor Mínimo (R\$)	Valor Médio (R\$)	Quantidade de Cotações
Freezer horizontal (refeições congeladas)	4261,20	2981	3500,00	3
Freezer horizontal (peixes)	2787	1325	1659,6	3
Refrigerador (frios)	576,4	325,4	473,7	5
Refrigerador (Yogurts)	867,20	699,9	793,52	5
Refrigerador (Massas)	576,4	325,4	473,77	5
Câmara Fria	6530,0	4890,0	5435,61	3

Tabela 3 – Valores máximos e mínimos de cada ar condicionado

Equipamento	Valor Máximo (R\$)	Valor Mínimo (R\$)	Valor Médio (R\$)	Quantidade de Cotações
35000BTU/h	8668,99	7979,5	8073,93	5
22000BTU/h	4100,57	3.127,08	3324,88	5

Tabela 4 – Valores máximos e mínimos de cada ar condicionado

Equipamento	Valor Máximo (R\$)	Valor Mínimo (R\$)	Valor Médio (R\$)	Quantidade de Cotações
35000BTU/h	8668,99	7979,5	8073,93	5
18000BTU/h	3263,5	2595,7	2798,04	5