



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

NATÁLIA FARIA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PARA APLICAÇÃO EM PROCESSOS INDUSTRIAIS DE LATICÍNIOS**

Guaratinguetá
2016

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**Guaratinguetá
2016**

NATÁLIA FARIA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PARA APLICAÇÃO EM PROCESSOS INDUSTRIAIS DE LATICÍNIOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Co-orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

Guaratinguetá
2016

S586d Silva, Natália Faria
Desenvolvimento de metodologia de eficiência energética para aplicação em processos industriais de laticínios / Natália Faria Silva – Guaratinguetá, 2016.
106 f. : il.
Bibliografia: f. 96-106

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Coorientador: Prof. Dr. José Luz Silveira
1. Energia – Conservação 2. Recursos energéticos 3. Indústria de laticínios - Conservação de energia I. Título

CDU 620.9(043)

NATALIA FARIA SILVA

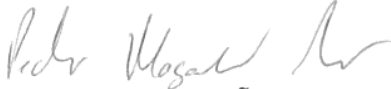
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. JULIO SANTANA ANTUNES
Unesp-Feg


Prof.ª Dr.ª LUCIA BOLLINI BRAGA
EEAER-Guaratinguetá

DADOS CURRICULARES

NATÁLIA FARIA SILVA

NASCIMENTO	19.05.1985 – PINDAMONHANGABA / SP
FILIAÇÃO	Luiz Fernando Faria da Silva Maria Lúcia Pinto da Silva
2008/2013	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP
2014/2016	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de mestrado, na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Luiz Fernando e Maria Lúcia, minhas irmãs Fernanda e Flávia e ao meu marido Pedro pelos ensinamentos, amor, carinho e amizade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela oportunidade da vida.

Aos meus pais Luiz Fernando e Maria Lúcia pelo apoio e generosidade.

Ao meu marido Pedro pelo incentivo, confiança e dedicação.

A todos os professores que fizeram parte do meu aprendizado e conseguiram enriquecer minha bagagem de conhecimento, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho e ao meu co-orientador Prof. Dr. José Luz Silveira pela confiança e oportunidade para desenvolver este trabalho.

Ao colega José Celso Pupio que contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos cuja amizade me enriquece.

SILVA, N. F.; **Desenvolvimento de metodologia de eficiência energética para aplicação em processos industriais de laticínios. 2016.** 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Campus de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

Neste trabalho é proposto um modelo metodológico que permite melhorar o desempenho energético através da implementação de medidas de eficiência energética. O modelo é fundamentado em quatro níveis de atuação e foi desenvolvido mediante uma revisão do estado da arte no Brasil e no mundo de aspectos referentes a eficiência energética. A estrutura da metodologia, denominada pirâmide de conservação de energia, foi desenvolvida sob o conceito de melhoria contínua e está baseado nas melhores práticas para alcançar a excelência energética adotado em países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá e Alemanha. Um estudo de caso em uma indústria de laticínio foi realizado para mostrar a aplicabilidade e eficácia do método proposto. O estudo detalhou as diversas possibilidades para reduzir as irreversibilidades dos sistemas energéticos dessa indústria e apresentou propostas técnicas e economicamente viáveis de melhoria da eficiência no uso da energia. Os resultados apresentados mostram que a adoção de medidas de eficiência energética reduz os custos, melhora as condições operacionais e tem impacto positivamente sobre o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Conservação de Energia. Energia. Laticínio.

SILVA, N. F.; **Development of energy efficiency methodology for application in industrial processes dairy. 2016.** 106 f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) – Engineering College, Paulista State University, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

This work proposes a methodological model which improves the energy performance by implementing energy efficiency measures. The model is based on four levels of action and was developed through a review of the state of the art in Brazil and in the world of aspects related to energy efficiency. The structure of the methodology, called energy conservation pyramid was developed under the concept of continuous improvement and is based on best practices to achieve energy excellence adopted in developed countries like United States, Canada and Germany. A case study in a dairy industry was carried out to show the applicability and effectiveness of the proposed method. The study detailed the various possibilities to reduce the irreversibility of energy systems of the industry and presented technical proposals and cost-effective improvement of efficiency in energy use. The results presented show that the adoption of energy efficiency measures reduce costs, improve operating conditions and impacts positively on the environment.

KEYWORDS: Energy Efficiency. Energy Conservation. Energy. Dairy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Agentes institucionais do setor elétrico.....	18
Figura 2: Pontuação dos países por segmento analisado.....	26
Figura 3: Alternativas para atendimento da demanda por eletricidade projetada para 2030.....	27
Figura 4: Dinâmica de penetração de ações de eficiência energética.....	28
Figura 5: Potenciais de conservação de energia.....	29
Figura 6: Balanço de energia em uma caldeira.....	32
Figura 7: Parâmetros para análise de sistemas de caldeiras a vapor.....	32
Figura 8: Variáveis operacionais.....	33
Figura 9: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor.....	34
Figura 10: Diferenças entre os ciclos teórico e o real.....	35
Figura 11: Método de implementação do ciclo PDCA em projetos de eficiência energética.....	37
Figura 12: Fluxo da energia e eficientização.....	42
Figura 13: Custos com ar comprimido durante sua vida útil.....	44
Figura 14: Redução contínua de custos com energia.....	48
Figura 15: Modelo conceitual da metodologia de eficiência energética.....	51
Figura 16: Representação da estrutura da metodologia proposta para auxiliar na implementação de medidas de eficiência energética no setor industrial.....	53
Figura 17: Etapas genéricas da indústria de derivados lácteos.....	62
Figura 18: Volume de controle na caldeira.....	64
Figura 19: Diagrama de Sankey das caldeiras.....	67
Figura 20: Esquema da instalação do SRA proposto.....	85
Figura 21: Média anual de insolação diária no Brasil (horas)	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: PNE 2030 - Mecanismos de fomento à eficiência energética.....	22
Tabela 2: Mecanismos de incentivos aplicados na Alemanha.....	24
Tabela 3: Medidas de eficiência energética em sistemas motrizes.....	41
Tabela 4: Medidas de eficiência energética em sistemas de bombeamento.....	43
Tabela 5: Medidas de eficiência energética em sistemas de ar comprimido.....	45
Tabela 6: Medidas de eficiência energética em sistemas de ar condicionado.....	46
Tabela 7: Medidas de eficiência energética em equipamentos acionados por motores elétricos.....	47
Tabela 8: Ações que contemplam a base da pirâmide de conservação de energia.....	54
Tabela 9: Sequência de atividades a serem realizadas no nível 2 da metodologia.....	55
Tabela 10: Medidas de eficiência energética a serem adotadas no nível 3.....	56
Tabela 11: Medidas de eficiência energética a serem adotadas no nível 4.....	56
Tabela 12: Tipos de energéticos utilizados, parâmetros de controle e metas de redução pré- estabelecidas pelo comitê de energia.....	59
Tabela 13: Consumo de energéticos em função das características do laticínio.....	60
Tabela 14: Custo com combustível para cada equipamento.....	69
Tabela 15: Equipamentos que compõem o SRC.....	72
Tabela 16: Consumo de energia elétrica do sistema atual.....	75
Tabela 17: Consumo de energia elétrica do sistema proposto.....	75
Tabela 18: Quantidade e tipo de lâmpadas nos setores de produção.....	77
Tabela 19: Quantidade e tipo de lâmpadas nos setores administrativos.....	78
Tabela 20: Comparação entre os sistemas atual e o proposto.....	81
Tabela 21: Comparação entre os sistemas atual e o proposto.....	82
Tabela 22: Consumo de energia elétrica do banco de gelo.....	86

Tabela 23: Comparação dos custos de operação entre o SRA e o SRC.....	87
Tabela 24: Resultado da análise do sistema proposto para o Nível 5.....	91
Tabela 25: Resumo das oportunidades de eficientização energética identificadas na cooperativa.....	92
Tabela 26: Valores para o cálculo do fator de emissão de CO ₂ por tipo de combustível.....	93
Tabela 27: Quantidade de carbono equivalente para cada sistema analisado.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACEEE	American Council for a Energy-Efficient Economy
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CAT	Computer Aided Thermodynamic Tables
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CIPEC	Canadian Industry Program for Energy Conservation
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural
COP	Coefficiente de Performance
DOE	Department of Energy
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCOs	Empresas de Serviços em Conservação de Energia
GLD	Gerenciamento do Lado da Demanda
LED	Light Emitting Diode
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
M&V	Medição e Verificação
NRCan	Natural Resources Canada
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Interligado Nacional
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PCI	Poder Calorífico Inferior
PIR	Planejamento Integrado de Recursos
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
SRA	Sistema de Refrigeração por Absorção
SRC	Sistema de Refrigeração por Compressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO.....	16
1.2 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 MODELO INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO.....	18
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL E NO MUNDO.....	19
2.3 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL.....	21
2.4 CONTEXTO ATUAL E CENÁRIOS FUTUROS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO.....	25
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
3.1 PRINCIPAIS TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	30
3.1.1 Termodinâmica	30
3.1.1.1 Termodinâmica em Sistemas Térmicos.....	31
3.1.2 Otimização de Sistemas Energéticos	35
3.1.3 Melhoria Contínua Aplicada a Eficiência Energética	36
3.1.4 Auditoria Energética	38
3.1.5 Medição e Verificação	38
3.2 OPORTUNIDADES DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	39
3.2.1 Força Motriz	41
3.2.2 Sistemas de Bombeamento	42
3.2.3 Sistemas de Ar Comprimido	44
3.2.4 Sistemas de Ar Condicionado	46

3.2.5 Equipamentos de Manuseio e Processamento.....	46
3.2.6 Gerenciamento Energético.....	47
3.2.7 Gerenciamento pelo Lado da Demanda.....	48
3.3 OS PILARES FUNDAMENTAIS PARA UMA GESTÃO DA ENERGIA VOLTADA A IMPLEMENTAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	49
4. METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	51
5. ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIO.....	58
5.1 NÍVEL 1: ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	58
5.2 NÍVEL 2: USO EFICIENTE DOS EQUIPAMENTOS E TREINAMENTOS.....	60
5.2.1 Panorama dos Processos Produtivos da Cooperativa de Laticínio.....	61
5.2.2 Caracterização dos Sistema Energéticos do Laticínio.....	63
5.2.3 Gerador de Vapor.....	64
5.2.3.1 Análise Termodinâmica das Caldeiras pela Primeira Lei.....	65
5.2.3.2 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética na Geração de Vapor.....	68
5.2.4 Sistema de Refrigeração.....	71
5.2.4.1 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética no Sistema de Refrigeração.....	74
5.2.5 Sistema de Iluminação.....	76
5.2.5.1 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética no Sistema de Iluminação.....	79
5.3 NÍVEL 3: OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS.....	83
5.3.1 Otimização na Produção de Água Gelada.....	84
5.3.1.1 Análise Econômica do Sistema Proposto.....	85
5.4 NÍVEL 4: USO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	87
5.4.1 Sistema Fotovoltaico.....	88
5.4.1.1 Análise Econômica do Sistema Fotovoltaico.....	90
5.5 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CARBONO EQUIVALENTE.....	91

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Eficiência energética é um conceito utilizado pelos setores industriais, comerciais e residenciais para alcançar uma redução no consumo de energia elétrica, água e combustível para produzir uma unidade de produto/serviço sem alterar sua qualidade e produtividade. Os projetos de eficiência energética e o uso de tecnologias energéticas inovadoras desempenham um papel importante na melhoria da segurança energética, do desempenho econômico e da sustentabilidade ambiental.

É estratégico para o Brasil investir em eficiência energética como opção à oferta de energia, comparadas às outras opções de expansão para atender a demanda de energia, pois é a que menos agride o meio ambiente, gera empregos e tem-se uma expectativa crescente do aumento da sua competitividade (BRASIL, 2007). Para Santos, Fagá e Santos (2013) os programas e políticas de eficiência energética se apresentam como ferramentas importantes para reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e possíveis alterações climáticas, assim como colaboram na contenção do consumo de energia e de recursos energéticos mundiais.

As ações para melhorar o desempenho de equipamentos com base em diagnósticos específicos têm como finalidade atingir a máxima eficiência visando, principalmente, à redução de custos com insumos energéticos e hídricos, apresentando sugestões de viabilidade técnico-econômica para implantação, incluindo as especificações técnicas e um programa de gerenciamento do projeto e dos resultados obtidos após o término das intervenções (AL EL-SHAFEI¹, 2003 apud BIMESTRE, 2015, p.22).

No cenário atual de oferta de energia, seja no Brasil ou nos demais países, restrições de ordem financeira e ambiental se associam de modo a aumentar os custos dos energéticos e formam perspectivas preocupantes de descompasso entre as disponibilidades e as demandas energéticas, ressaltando a importância da eficiência energética (CAMACHO, 2009).

Este trabalho apresenta os desafios encontrados para a implementação da eficiência energética no setor industrial e uma metodologia que facilitará as organizações a implementar

¹AL EL-SHAFEI, N. R. **Automated diagnostics of rotating machinery**, in: 2003 ASME Turbo Expo, vol. 4, Atlanta, GA, USA, 2003, pp. 491-498 apud BIMESTRE, T. A. **Proposta de metodologia para aplicação de eficiência energética em uma Usina Hidrelétrica**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Campus de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ações de eficiência energética em seus processos produtivos. A metodologia de eficiência energética proposta neste trabalho aborda um conjunto de medidas que, implementadas, poderão trazer uma redução nos custos referentes ao consumo de eletricidade, água e combustível. Foi realizado um estudo de caso em um laticínio para mostrar a eficácia da metodologia proposta.

1.1 OBJETIVO

Apresentar uma ferramenta de eficiência energética para auxiliar na implementação de ações de conservação de energia dentro do setor industrial. Um estudo de caso foi realizado numa indústria de laticínio para mostrar os benefícios dessa ferramenta na identificação das perdas energéticas, na eliminação dos desperdícios, redução dos custos e investimentos setoriais. Os objetivos específicos são:

- apresentar uma metodologia para auxiliar na implementação de ações de eficiência energética com base na atuação em níveis de energia, que definem os caminhos rumo a excelência energética.
- identificar potencial relevante de economia de energia e custos associados a medidas de eficiência energética e boas práticas que podem ser implementadas com vista a uma melhoria do desempenho energético, e
- mostrar que a adoção de boas práticas em eficiência energética pode ser conseguida, de um modo geral, com investimentos não muito significativos e com períodos de retorno dos mesmos muito curtos, além dos seus benefícios ambientais.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste trabalho é proposto uma metodologia para auxiliar na implantação de medidas de eficiência energética nos setores industriais. Para isso, esta dissertação está organizada em sete capítulos conforme segue:

No CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO são apresentadas as justificativas que motivaram o estudo deste tema, os objetivos principal e específicos e a estrutura de apresentação deste trabalho.

No CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA é apresentado a estrutura do setor elétrico brasileiro, a forma com a eficiência energética está inserida no Brasil e nos demais

países, os desafios enfrentados para promoção da eficiência energética no Brasil e as perspectivas futuras para superar o descompasso entre oferta e demanda de energia.

O CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA são abordadas as principais ferramentas utilizadas para identificar e quantificar o potencial de conservação de energia, avaliar a viabilidade técnica da implantação de medidas de eficiência energética e as boas práticas em eficiência energética intrínsecas a cada uso final de energia.

O CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA é apresentada a estrutura da metodologia e sua dinâmica de funcionamento composta em níveis de energia, que estabelece os campos de atuação em eficiência energética para alcançar a excelência energética através, em escala de prioridade, da estruturação de um programa de eficiência energética, redução e reutilização do uso da energia e do uso de fontes de energia renováveis.

No CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIO é a validação do modelo proposto. São apresentados o estado atual da estrutura energética do laticínio, as propostas de efficientização energética, a viabilidade técnica-econômica para implantação das medidas sugeridas e o potencial de redução de emissão de carbono equivalente que pode ser alcançado.

O CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS são apresentadas a conclusão e sugestões para trabalhos futuros acerca do que foi tratado no trabalho.

O CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS são apresentadas as referências citadas e utilizadas no trabalho como fonte de revisão e embasamento de pesquisa.

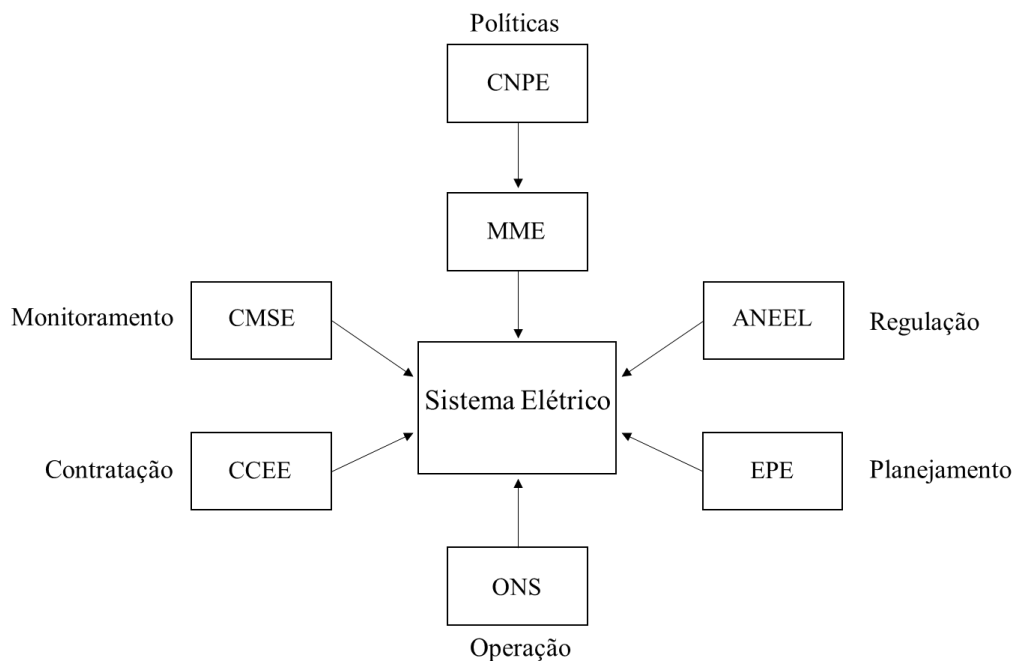
CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELO INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO

O setor elétrico brasileiro é composto por quatro níveis verticais (empresas divididas por atividades): geração, transmissão, distribuição e comercialização. Institui-se um mercado competitivo na ponta (geração e comercialização) e permitir o livre acesso no transporte (transmissão e distribuição) (GARCIA, 2008). A Figura 1 apresenta a estrutura organizacional e a função de cada organização dentro do setor elétrico:

Figura 1: Agentes institucionais do setor elétrico



Fonte: Garcia, 2008.

Faz parte da elaboração da política energética nacional o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em articulação com as demais políticas públicas, com diretrizes detalhadas e implementadas pelo Ministério de Minas e Energia (MME). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME, tem por finalidade realizar estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético através de suporte a formulação, planejamento e implementação de ações do MME no âmbito da política energética nacional. E

o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) que acompanha e avalia permanentemente a continuamente e a segurança do suprimento de energia elétrica.

Na área de regulamentação do setor destaca-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que regula a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscaliza e estabelece as tarifas com o objetivo de manter o equilíbrio econômico-financeiro dos agentes.

Como agente operador do sistema tem-se o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que coordena e controla as operações das instalações de geração e transmissão de eletricidade do Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da ANEEL, para otimizar a geração conjunta do sistema hidrotérmico. Na área de comercialização de energia, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) viabiliza as operações de comercialização (compra e venda) de energia elétrica.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL E NO MUNDO

As primeiras iniciativas de conservação de energia no Brasil e no mundo ocorreu a partir dos anos 70 com a crise do petróleo, em que o preço do barril de combustível subiu significativamente, gerando um efeito negativo na economia mundial. Surgiram então, inúmeras iniciativas que conscientizassem os consumidores sobre o uso racional e eficiente de energia como os descontos tarifários para aquisição de equipamentos mais eficientes, incentivos fiscais e investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Na década de oitenta, surgiram medidas de otimização da gestão energética nos quais destacam-se os programas Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD) e o Planejamento Integrado de Recursos (PIR) fortemente estabelecido nos Estados Unidos, Canadá e Dinamarca, que consideravam novos programas de eficiência energética como alternativas disponíveis de expansão de oferta. Nesta época, nos Estados Unidos, surgiu o método de regulamentação tarifária por incentivos que visavam compartilhar as melhorias no desempenho econômico das concessionárias monopolistas com seus consumidores. Também se consagraram legislações que estabeleceram os níveis mínimos de eficiência obrigatórios para equipamentos, veículos e prédios por meio da etiquetagem (BRASIL, 2007; SOUZA et al., 2009).

A partir dos anos noventa tem-se o surgimento de iniciativas para modificar a estrutura institucional dos setores elétricos e de gás canalizado, ou seja, a desverticalização do setor energético, para criar ambientes de competitividade nas etapas de produção, importação e

comercialização desses insumos energéticos. Isso incentivou o surgimento de alguns programas de eficiência energética, acordos voluntários entre governos e classe de consumidores para o aumento da conservação de energia. Surgiram as empresas de serviços em conservação de energia (ESCOs) e a celebração por contratos de performance (BRASIL, 2007; SOUZA et al., 2009).

Na década de 2000, expandiu-se os chamados leilões de eficiência energética, iniciado na década de noventa nos mercados atacadistas de energia e gás canalizado (BRASIL, 2007; SOUZA et al., 2009). Caracterizam-se por uma determinada quantidade de energia a ser conservada, ou potência retirada, por meio de ações de eficiência energética a ser comercializada através de órgão independentes ou agência de governo. Em 2005, vários países europeus, dentre eles Dinamarca, França, Itália, Holanda e Reino Unido promulgaram os Certificados Brancos, certificados de energia economizada que podem ser vendidos ou comprados no mercado mediante o excesso ou a inadimplência no cumprimento das metas de economia incorporadas ao planejamento energético (COSTA, 2009).

No Brasil, os primeiros mecanismos de promoção da eficiência energética e conservação de energia foi o Programa de Etiquetagem Brasileira (PBE), firmado em 1984, que visa disseminar informações aos consumidores sobre a eficiência de cada produto e estimular uma aquisição de forma mais consciente. O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), criado em 1985 e convertido em programa de Governo em 1991, com o objetivo de promover o uso eficiente de energia e combater os desperdícios. O Programa conta com vários subprogramas os quais destacam-se ações nas áreas como edificações, equipamentos, iluminação pública, prédios público, indústria, comércio, educação, gestão energética municipal, desenvolvimento tecnológico e divulgação. Paralelamente ao PROCEL, foi criado em 1991 o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) sob coordenação da Petrobrás com finalidade de desenvolver ações que buscam o uso racional dos derivados de petróleo e gás natural.

Em 2000, foi instituído o Programa de Eficiência Energética (PEE) que determina que as concessionárias de energia invistam 0,5% da Receita Operacional Líquida em projetos de eficiência energética voltados ao uso final da energia. E, outro marco foi a Lei de Eficiência Energética, aprovada em 2001, fundamental para garantir o contínuo aperfeiçoamento tecnológico dos equipamentos consumidores de energia.

2.3 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL

A implementação de medidas de eficiência energética que são tecnicamente exequíveis e economicamente viáveis podem contribuir significativamente para a conservação de energia e redução de custos. Nem sempre essas ações são realizadas de forma espontânea (SOLA; MOTA; KOVALESKI, 2011). Para Weber (1997) há impedimentos para adoção de medidas de eficiência energética que não são apresentados nos cálculos de investimento e que dificultam a exploração exaustiva do seu potencial de economia. E DeCanio (1998) afirma que a teoria econômica por si só não pode explicar o fenômeno contraditório da eficiência devido as barreiras internas nas organizações ligadas à área de tomada de decisão.

Investir em ações de eficiência energética contribuem para a redução de emissões de gases de efeito estufa, aumenta a vida útil de equipamentos, simplifica operações e reduz riscos de indisponibilidade. Mas, apesar dos benefícios dessas ações, a sua viabilidade ainda é difícil, seja por questões internas às companhias como por questões relacionadas as instituições financeiras (CEBDS, 2014).

Por questões internas à companhia entende-se como um conjunto de fatores que compete com investimentos em eficiência energética tais como:

- investimento em eficiência energética concorre com investimento na produção;
- ausência de uma política de gestão energética;
- falta de capacitação técnica para identificar oportunidades e propor soluções;
- a tecnologia é um fator de competição e não está livremente disponível;
- energia é custo e não um fator de resultados;
- falta de uma política, diretrizes e metas energéticas;
- ausência de indicadores de desempenho energético;
- pouco conhecimento sobre os benefícios da eficiência energética e quais estratégias para atingi-las, e
- aversão a riscos técnicos decorrentes de tecnologias mais eficientes.

E, quanto as principais barreiras internas às instituições financeiras, pode-se citar (CEBDS, 2014):

- elevada percepção de risco do projeto;
- elevado custo de transação para avaliação e financiamento dos projetos comparados aos outros produtos da instituição financeira;

- recuo a instrumentos e modelos de contrato (garantias, performances);
- ausência de instrumentos que potencializam os ganhos econômicos do projeto, e
- eficiência energética é vista como racionamento e não como produtividade e competitividade.

Alguns mecanismos de fomento a eficiência energética capazes de superar as barreiras para inseri-la no Brasil estão apresentados no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) que os classifica em tecnológicos e comportamentais (BRASIL, 2007). O tecnológico implica na implementação de novos processos e na utilização de equipamentos mais eficientes; e comportamental no qual mudanças de hábitos e padrões de utilização reduz o consumo energético sem necessidade de modificar o parque de equipamentos conversores de energia. Esta classificação é sobretudo em vista de que mudanças de processos ou de equipamento requerem investimentos e estratégias bem diferenciadas dos processos de mudanças de hábitos e padrões de utilização (BRASIL, 2007).

A Tabela 1 apresenta uma relação dos principais mecanismos de fomento a eficiência energética que vem sendo propostos e utilizados no Brasil e em diversos países e visam três ações básicas: informar ou capacitar, induzir ou impor a utilização de equipamentos, processos e infraestrutura mais eficientes e substituição energética.

Tabela 1: PNE 2030 - Mecanismos de fomento à eficiência energética

Mecanismos	Perfil
Informação a Consumidores	
Divulgação de informações	Comportamental
Cursos de Capacitação	Comportamental
Oferecimento de disciplinas	Comportamental
Introdução de Equipamentos Eficientes	
Doações de equipamentos eficientes	Tecnológica
Estabelecimento de padrões comparativos de desempenho energético (selo, etiqueta)	Tecnológica
Estudos e Implementação de Projetos	
Realização de auditoria energética	Tecnológica e Comportamental
Otimização da gestão energética	Tecnológica e Comportamental
Realização de contratos de performance com ESCO's	Tecnológica
Mecanismos Legais, Fiscais e Creditícios	
Exigência de níveis mínimos de eficiências obrigatórios para equipamentos, edifícios e veículos.	Tecnológica
Tributação reduzida para produtos eficientes	Tecnológica
Facilidade de crédito para substituição de equipamentos	Tecnológica
Facilidade de crédito para substituição entre energéticos	Tecnológica

Fonte: BRASIL, 2007.

Conforme Shanghai e McKane (2008), as forças de mercado por si não são suficientes para alcançar a eficiência energética industrial, uma vez que o principal negócio de uma indústria não é a eficiência energética, mas a produção. É necessária atuação de várias instituições, principalmente de instituição pública, para que a eficiência energética seja efetivamente implementada no setor industrial.

A parceria entre as instituições públicas e privadas nos programas de eficiência energética tem se destacado em alguns países como Canadá, Estados Unidos e Alemanha e, com potencial de aplicabilidade à realidade brasileira, serão apresentados, basicamente, como exemplos:

- Canadá

O Programa Indústria Canadense de Conservação de Energia (CIPEC sigla em inglês) é uma parceria entre indústria privada e o Governo Federal através do Departamento de Recursos Naturais do Canadá (RNCan) para melhorar a eficiência energética industrial e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Os membros do CIPEC têm acesso a assistência a custos repartidos, ferramentas e serviços por meio da RNCan. Os membros do CIPEC se juntam para formarem as forças-tarefa em que as empresas participantes estabelecem metas e desenvolvem planos de ação para melhorar a eficiência energética em mais de 22 setores industriais. Os membros participam de reuniões onde identificam as necessidades comuns, compartilham informações e as melhores práticas em eficiência energética (NRCan, 2015).

- Estados Unidos

O Programa Melhores Plantas (*Better Plants*) do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE sigla em inglês), uma iniciativa multi-setorial para melhorar a eficiência energética dos edifícios comerciais e industriais. As indústrias demonstram o seu comprometimento em melhorar o desempenho energético através de um acordo voluntário de reduzir a sua intensidade energética em 25% ao longo de um período de dez anos e compartilham informações para ajudar outras empresas a melhorar a eficiência. O DOE apoia estes esforços através do reconhecimento nacional e oferecendo suporte técnico as empresas para que possam reduzir sua intensidade energética (EERE, 2015).

- Alemanha

A Alemanha é o país de referência em eficiência energética e energias renováveis. Isso se deve a políticas públicas de incentivos a redução de consumo de energia e substituição das atuais fontes por fontes alternativas de energia. Com metas de longo prazo definidas pelo governo alemão em que até 2020 ao menos 35% do consumo de energia elétrica seja suprido por energias renováveis e que em 2050 esta proporção deverá ser de pelo menos 80%, representando 60% da participação no consumo final de energia. Quanto a redução do consumo

de energia elétrica foi estabelecida uma redução de 10% em 2020 e de 25% em 2050 comparada aos níveis de 2008 (BMU², 2012 apud CAUSO, 2013, p.77). Em uma comparação entre os mecanismos de fomento a eficiência energética entre Alemanha e o Brasil, Causo (2013) destacou os principais mecanismos de incentivos implementados na Alemanha que ainda não foram estabelecidos no Brasil, apresentados no Tabela 2:

Tabela 2: Mecanismos de incentivos aplicados na Alemanha

Mecanismos
Regulatórios
Códigos
Certificados para edifícios
Compras regulamentadas
Econômicos
Compras Cooperativas
Subsídios à auditoria energética
Fiscais
Taxas de carbono
Ações Voluntárias, de Suporte e Informação
Programas de liderança públicas
Acordos voluntários
Centros de informação local sobre energia
Projetos piloto

Fonte: CAUSO, 2013.

Os mecanismos regulatórios são caracterizados por leis e regulamentos para aumentar a eficiência energética. Os mecanismos econômicos são caracterizados por diversos programas de subsídios e financiamentos existentes no país, visa superar os elevados custos iniciais referentes a aquisição de tecnologias mais eficientes. Os mecanismos fiscais têm por objetivo minimizar falhas de mercado por meio da internacionalização econômica das externalidades. E por fim, os mecanismos de suporte a informação que visam expandir o entendimento e a consciência da eficiência energética e seus benefícios econômicos e ambientais (CAUSO, 2013).

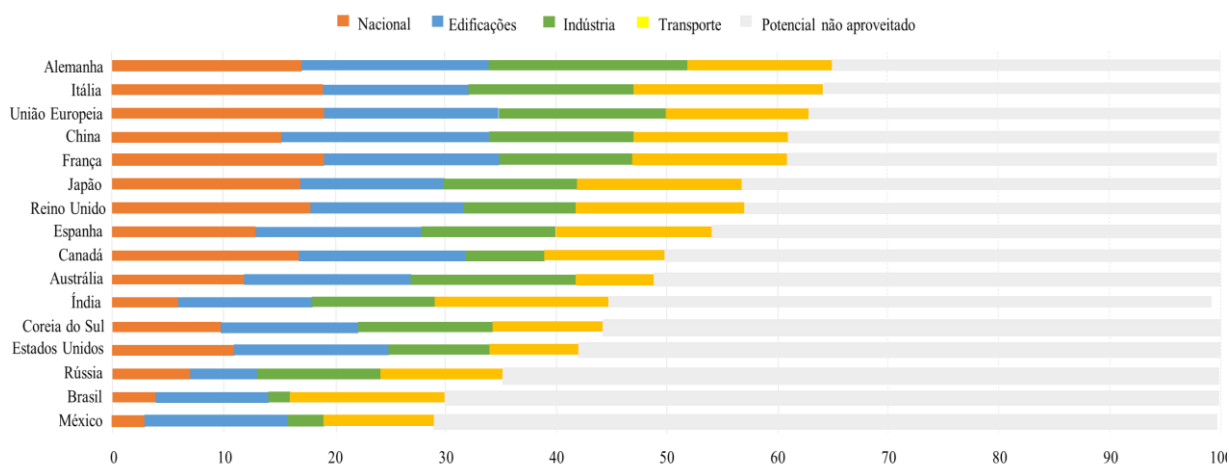
² BMU- FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY. **Renewable Energy Sources in Figures - National and International Development**. Berlim, Alemanha: BMU, 2012 apud CAUSO, A. F. T. **Mecanismos políticos para promoção da eficiência energética e geração renovável em edificações: um estudo de caso da Alemanha e aplicações para o Brasil**. 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2013.

Nota-se que os mecanismos de incentivo a eficiência energética nos países desenvolvidos têm em comum a parceria entre indústrias privadas e Governo que colaboram entre si para reduzir a intensidade energética. Assim, um campo importante de fomento à eficiência energética, crescentemente valorizado nos países desenvolvidos e ainda pouco conhecido no Brasil, mas com grande potencial de aplicação, refere-se à formação de uma rede de eficiência energética. A rede de eficiência energética é um mecanismo de cooperação técnica que tem como objetivo atingir metas de redução do consumo de energia através do compartilhamento das melhores práticas adotadas entre empresas participantes e com o auxílio do Governo por meio de suporte técnico e financeiro.

2.4 CONTEXTO ATUAL E CENÁRIOS FUTUROS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

Apesar do histórico de programas de fomento a eficiência energética (PROCEL, PBE, PEE e a Lei de Eficiência Energética) e linhas de financiamento específicas, o Brasil apresenta menores índices de eficiência energética quando comparados com as principais economias do mundo. Um estudo sobre eficiência energética publicado pelo Conselho Americano para uma Economia com mais Eficiência Energética (ACEEE na sigla em inglês) o Brasil aparece na 15ª posição entre as 16 maiores economias do mundo. Estas economias globais representam mais de 81% do PIB mundial, 71% do consumo mundial de energia e 79% das emissões globais de dióxido de carbono equivalente. O estudo avaliou quatro áreas – esforço nacional (transmite o desempenho da eficiência energética em todos os setores da economia, bem como o compromisso global e a liderança dos governos nacionais), edifícios, indústria e transportes, cada uma com pontuação máxima de 25 pontos. O Brasil obteve pontuação 30 dos 100 pontos possíveis e sua pior nota foi no tópico da indústria no qual recebeu apenas 2 pontos. Menos de 1% da energia elétrica no setor industrial brasileiro é oriundo da cogeração o que o diferencia dos países que obtiveram notas maiores para este setor, como destaque para a Itália com 24,1% de eletricidade gerada por cogeração. A Alemanha tem a maior pontuação geral com 65 de 100 pontos possíveis. A Figura 2 apresenta o ranking geral dos países que mais investem em eficiência energética (ACEEE, 2014):

Figura 2: Pontuação dos países por segmento analisado

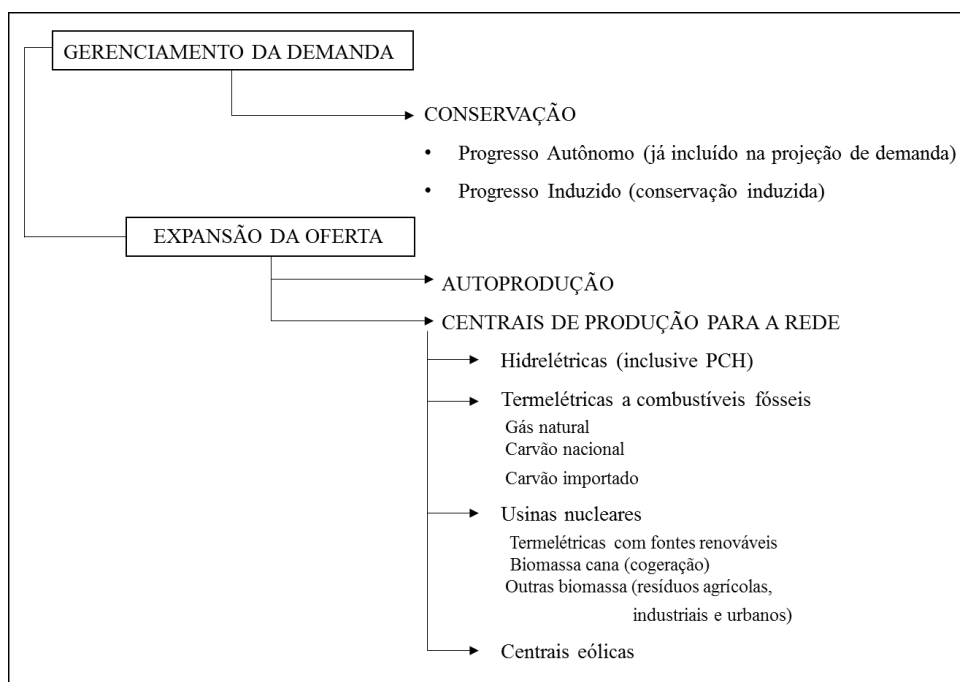


Fonte: ACEEE, 2014.

Existe uma margem substancial para melhoria da eficiência energética em todos os países avaliados. O Brasil foi o país que teve a menor pontuação no setor industrial e isso mostra o potencial de conservação de energia que existe no país para este setor especificamente, e apresenta um cenário preocupante, uma vez que a eficiência energética apresenta um potencial de economia de recursos naturais, financeiros e retarda a expansão da oferta de energia como forma de atendimento à demanda.

Dentre as formas de atendimento à demanda de eletricidade, projetada no PNE 2030, previu-se duas estratégias de ação: gerenciamento da demanda e expansão da oferta (BRASIL, 2007) como mostra a Figura 3:

Figura 3: Alternativas para atendimento da demanda por eletricidade projetada para 2030

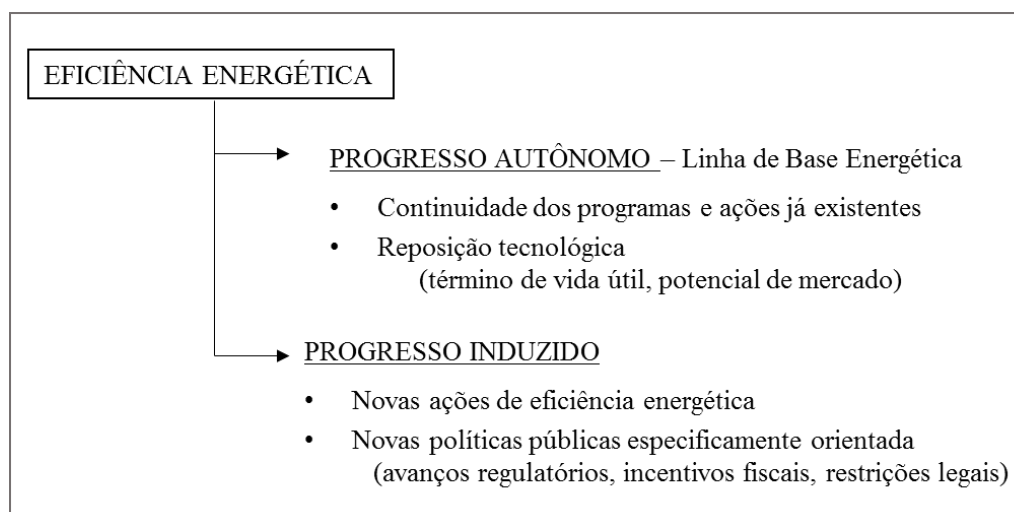


Fonte: EPE, 2007.

Por meio da Expansão da Oferta tem-se as centrais energéticas que “para efeito de outorga, são objetos de concessão, autorização ou registro, segundo enquadramento realizado em função do tipo de central, da potência a ser instalada e do destino da energia” (BRASIL, 2007, p. 184). Quanto ao destino da energia, o empreendimento de geração pode ser classificado como autoprodução, produção independente ou produção de energia elétrica destinado a atender serviços de distribuição (BRASIL, 2007).

Pela estratégia Gerenciamento da Demanda, a conservação de energia pode ser obtida através do que se chamou de progresso autônomo (ou tendencial) em que a economia de energia em um cenário futuro é resultado da evolução tecnológica dos equipamentos, reposição tecnológica (aquisição de equipamentos de maior eficiência) e aperfeiçoamento de processos sem intervenção diferenciada dos agentes, sejam eles públicos ou privados. Nesta abordagem os agentes atuam através de programas e projetos de eficiência já implementados e em execução (ações em curso: Lei de Eficiência Energética, Programa Brasileiro de Etiquetagem, ações regulares do Procel e do Programa de Eficiência Energética); e outra nomeada de progresso induzido, resultados de ações adicionais específicas de fomento a eficiência energética que concorre com a expansão de oferta do sistema elétrico impulsionadas por políticas públicas (GARCIA, 2008). A Figura 4 exemplifica as ações de eficiência energética pela estratégia gerenciamento da demanda:

Figura 4: Dinâmica de penetração de ações de eficiência energética

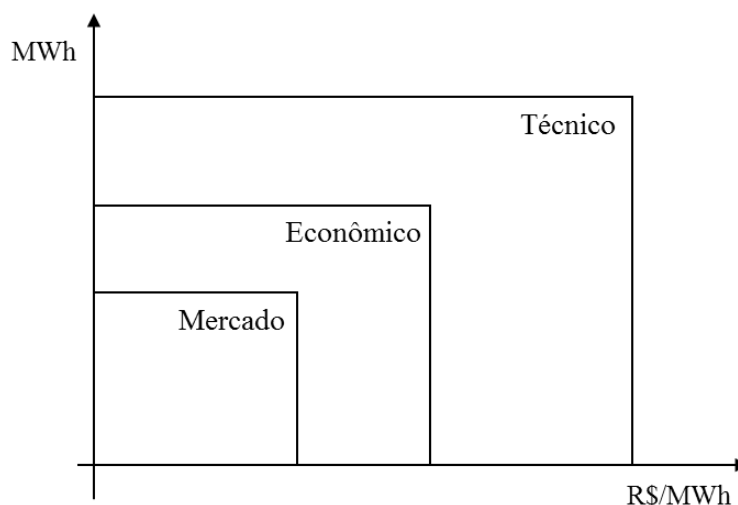


Fonte: BRASIL, 2014.

No âmbito da abordagem do progresso autônomo, encontram-se as medidas que viabilizem o potencial de mercado de eficiência energética. Este potencial é uma parcela do potencial econômico cujos investimentos em projetos, para redução de demanda, apresentam percepção de riscos menores e sua implementação acarreta economia de custos sob o aspecto financeiro. Sob a abordagem do progresso induzido, tem-se as medidas de eficiência energética relacionadas ao potencial econômico composto por medidas economicamente viáveis, mas com uma percepção de riscos elevado, sejam comportamentais, econômicos ou técnicos. As ações relacionadas ao progresso induzido também viabilizam o potencial técnico das medidas de eficiência energética e necessitam ser induzidas para que possam ser alcançadas (BRASIL, 2011).

A Figura 5 apresenta os três cenários, potencial técnico, econômico e de mercado de introdução de medidas de eficiência energética. Normalmente os estudos feitos para calcular os potenciais de economia decorrentes de ações de eficiência energética são feitos em três dimensões (BRASIL, 2007):

Figura 5: Potenciais de conservação de energia



Fonte: GARCIA, 2008.

O potencial técnico estabelece um limite de penetração das medidas através da substituição de todos os usos da energia considerados por equivalentes com a tecnologia mais eficiente disponível. O potencial econômico corresponde ao conjunto de medidas que apresente viabilidade econômica de implementação que depende da ótica de quem analisa – neste cenário as medidas de eficiência energética são comparadas com as alternativas de expansão do sistema elétrico: até que ponto é interessante investir em economias de energia antes de expandir o sistema. E o potencial de mercado compreende as medidas que seriam introduzidas por iniciativa do usuário, analisada pela sua ótica, em relação a taxa de desconto praticada e a tarifa de energia elétrica a que está submetido. É notório que os três cenários evoluem ao longo do tempo e novas tecnologias ampliam o cenário técnico, enquanto que o seu desenvolvimento e economia de escalas, devido a maiores penetrações no mercado, reduzem o seu custo ampliando os cenários econômicos e de mercados (BRASIL, 2014).

O potencial técnico, econômico e de mercado consideram o dinamismo e as características de cada setor econômico que determinam as ações vinculadas ao progresso autônomo ou induzido. Num contexto mundial de desenvolvimento sustentável, uma economia de baixo carbono, a eficiência energética é vista como um instrumento privilegiado e, por vezes, preferencial para a mitigação dos efeitos gerados pelas emissões de gases de efeito estufa e destruidores da camada de ozônio. E, ao mesmo tempo, ressalta a percepção de que o crescimento da eficiência energética pode constituir uma das formas mais econômicas e ambientalmente favoráveis de atendimento de parte dos requisitos de energia (BRASIL, 2011).

CAPÍTULO 3

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRINCIPAIS TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1.1 Termodinâmica

Os métodos termodinâmicos de análise (energia e exergia) são empregados para avaliar a sustentabilidade da energia industrial. O primeiro método de avaliação é a Primeira Lei da Termodinâmica que estabelece os princípios da conservação da energia. É um método básico de investigação de processos térmicos e sua aplicação, através do balanço de energia, apresenta a eficiência no uso da energia em partes específicas do processo e permite compará-la com a eficiência das instalações mais modernas. O balanço de energia aponta os processos que exigem consideração seja por causa do seu consumo excessivo de energia ou por causa de sua baixa eficiência (SAIDUR; AHAMED; MASJUKI, 2010).

O conceito de exergia é oriunda da Segunda Lei da Termodinâmica que complementa a Primeira Lei e afirma que a energia perde sua capacidade de realizar trabalho durante os processos de conversão devido as irreversibilidades. Exergia é um método eficaz que utiliza os princípios da conservação de massa e energia juntamente com a Segunda Lei da Termodinâmica em projetos e análises de sistemas térmicos.

A exergia é o máximo trabalho útil teórico (trabalho de eixo ou trabalho elétrico) que pode ser obtido quando dois sistemas interagem ao equilíbrio e a transferência de calor só acontece com o meio ambiente. Essa oportunidade de produzir trabalho útil é possível sempre que uma determinada forma de energia utiliza os parâmetros ambientais como referência. Ou seja, é o mínimo trabalho útil teórico exigido para organizar uma quantidade de substâncias presentes no ambiente e trazê-las a um determinado estado especificado. Sendo especificado o ambiente, então um valor pode ser atribuído a exergia em termos de propriedades do sistema (TUNA, 1999).

Dincer, Hussain e Al-Zaharnah (2004) discutiu que a exergia apresenta-se como um conceito-chave, uma vez que é uma ligação entre o ambiente físico e de engenharia com o meio ambiente circundante, e expressa a verdadeira eficiência dos sistemas de engenharia, o que o torna um conceito útil para encontrar melhorias; é um componente chave para uma sociedade

sustentável e uma ferramenta importante em atividades de elaboração de políticas energéticas.

Um dos principais usos do conceito de exergia é o balanço de exergia (análise exergética) na análise de sistemas térmicos – a nível do processo e componentes do sistema. Semelhante ao balanço de energia, cuja a energia é conservada, tem como diferença fundamental a perda de exergia devido a todos os processos reais serem irreversíveis (KOTAS, 1985).

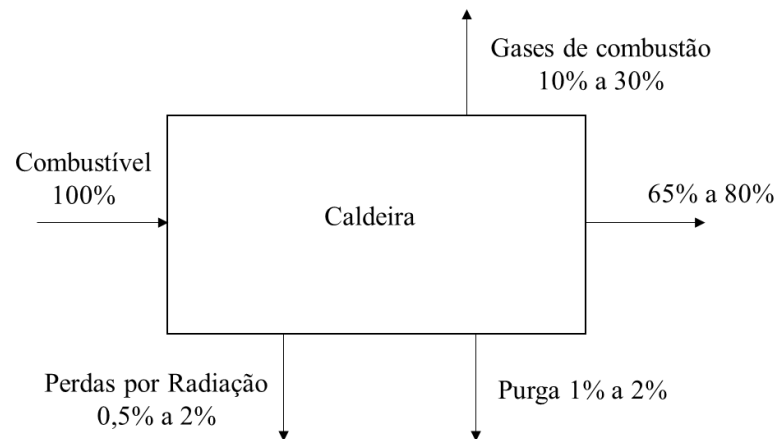
A análise exergética permite identificar, localizar e quantificar as principais causas das irreversibilidades termodinâmicas de um sistema ou processo, através do estudo da destruição e eficiência exergéticas. Representa uma poderosa ferramenta para determinar as potenciais melhorias e otimização de processos, os impactos ambientais e a sua mitigação (MORAN & SHAPIRO, 2008).

3.1.1.1 Termodinâmica em Sistemas Térmicos

A análise de sistemas térmicos, geração de vapor e refrigeração, pelas Leis da Termodinâmica permite uma avaliação completa dos sistemas e uma análise mais precisa das suas ineficiências.

Em sistemas de geração de vapor, a análise do desempenho de caldeiras, utilizando o balanço energético e exergético como ferramenta, permite avaliar as propriedades termodinâmicas e variáveis de desempenho associados aos fluxos de materiais, a alocação de recursos, magnitude das perdas exergéticas e os locais de maiores perdas. A exergia química dos fluxos de materiais contribuirá para melhorar os valores de exergia e, os elevados parâmetros operacionais, levarão a uma maior exergia na caldeira (OHIJEAGBON; WAHEED; JEKAYINFA, 2013). A Figura 6 mostra as porcentagens de energia perdida numa caldeira:

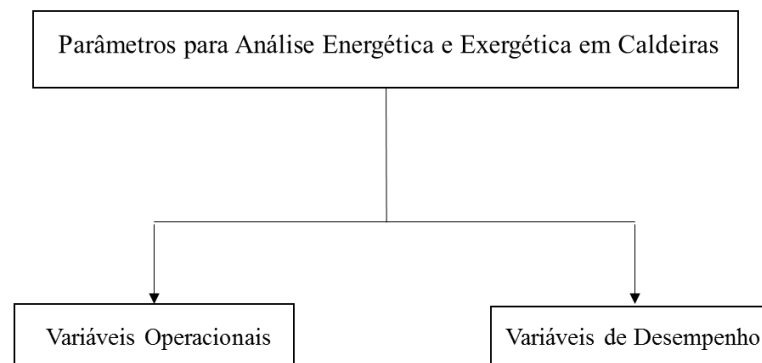
Figura 6: Balanço de energia em uma caldeira



Fonte: Adaptado JAYAMAHA³, 2008.

Ohijeagbon, Waheed e Jekayinfa (2013) propõem uma metodologia para avaliar as propriedades termodinâmicas e variáveis de desempenho associados aos fluxos de materiais em caldeiras, tais como: fluxo de massa, temperatura, pressão, entalpia, entropia e as eficiências energética e exergética. A metodologia inclui duas categorias para determinação de variáveis operacionais e de desempenho de caldeira a vapor apresentadas na Figura 7:

Figura 7: Parâmetros para análise de sistemas de caldeiras a vapor



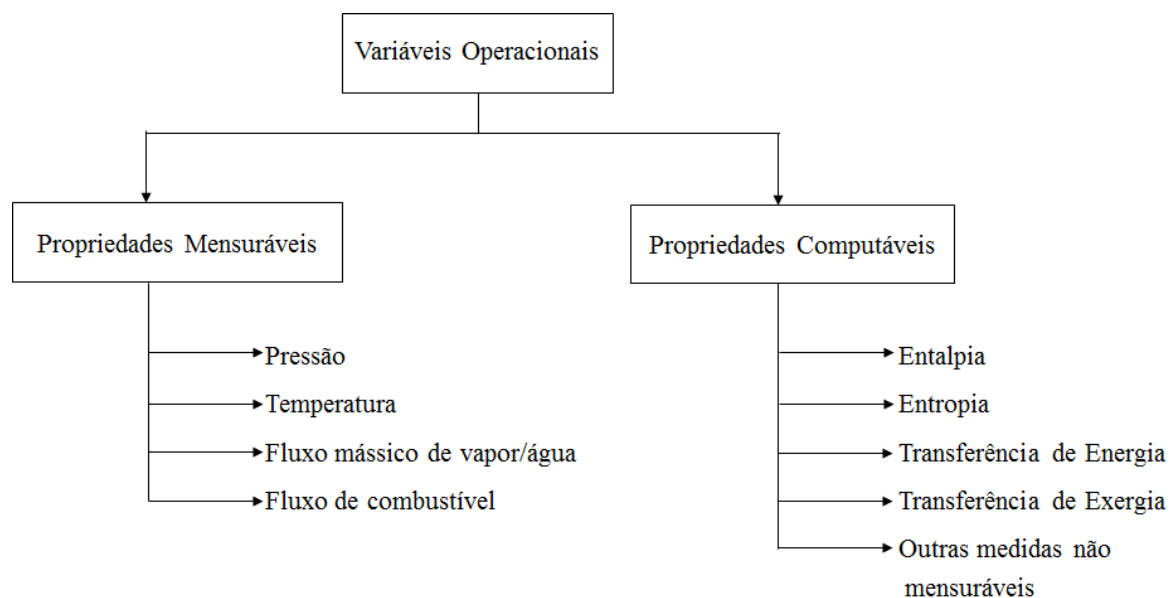
Fonte: Adaptado Ohijeagbon; Waheed Jekayinfa., 2013.

Variáveis Operacionais são dados de projetos das caldeiras a vapor. São propriedades que descrevem as atividades termodinâmicas que ocorrem em uma caldeira e são classificadas de acordo com o modo de obtenção de seus valores em: propriedades mensuráveis e computadas.

³ JAYAMAHA, L. **Energy efficient building systems**. HardbookMcgraw Hill education, Europe, 2008 apud SAIDUR, R.; AHAMED, J. U.; MASJUKI, H. H. Energy, exergy and economic analysis of boilers. **Energy Policy**, 2010, v. 38, p. 2188-2197.

As propriedades mensuráveis geralmente são monitoradas e registradas através de equipamentos de medição instalados na própria caldeira ou coletadas pelo técnico ao longo de um determinado período de tempo. As propriedades não mensuráveis (computadas) são medidas que não podem ser lidas diretamente nos medidores e terá que ser calculada através da utilização de tabelas, gráficos de energia, equações termodinâmicas, balanço de energia e exergia (OHIJEAGBON; WAHEED; JEKAYINFA, 2013). Essas propriedades estão apresentadas na Figura 8:

Figura 8: Variáveis operacionais



Fonte: Fonte: Adaptado OHIJEAGBON; WAHEED; JEKAYINFA, 2013.

As variáveis de performance estão relacionadas ao desempenho das caldeiras. Servem como indicadores para verificar e analisar os vários níveis de desempenho de caldeiras a vapor que incluem: variações nos valores de energia, exergia e eficiência em relação aos fluxos (entrada e saída) de recursos, as irreversibilidades e os locais onde ocorrem (OHIJEAGBON; WAHEED; JEKAYINFA, 2013).

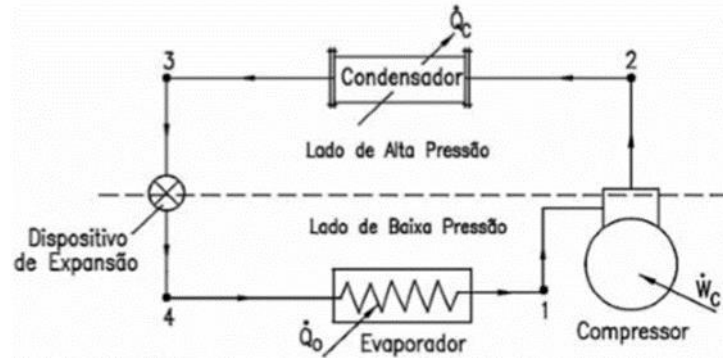
A metodologia proposta por Ohijeagbon, Waheed e Jekayinfa (2013) pode ser adaptada para analisar o desempenho de sistema de refrigeração por se tratar de um método que avalia as propriedades termodinâmicas e variáveis de desempenho associados aos fluxos de materiais.

Em sistemas de refrigeração por compressão de vapor, as perdas no ciclo precisam ser avaliadas considerando processos termodinâmicos individuais que compõem o ciclo. A transferência de calor entre o sistema e o ambiente circundante tem lugar a uma diferença de

temperatura finita, o qual é uma fonte importante de irreversibilidade para o sistema fazendo com que seu desempenho se degrade (SAIDUR; AHAMED; MASJUKI, 2010).

A Figura 9 mostra um sistema de refrigeração por compressão de vapor com seus principais componentes.

Figura 9: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor



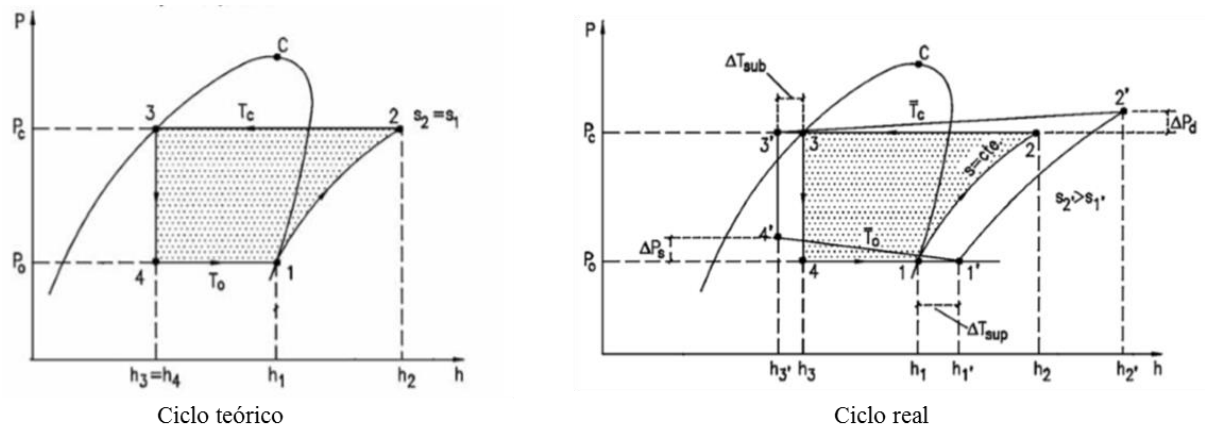
Fonte: VENTURINI; PIRANI, 2005.

Os processos termodinâmicos que fazem parte do ciclo teórico de refrigeração são (VENTURINI; PIRANI, 2005):

- Processo 1-2: Ocorre no compressor. O fluido entra no compressor a temperatura e pressão de evaporação (T_0, P_0) e título igual a 1 (vapor saturado). É comprimido até atingir a pressão e temperatura de condensação (P_C, T_C) e deixa o compressor no estado de vapor superaquecido ($T_C > T_0$). Este processo é adiabático e reversível ($s_1 = s_2$).
- Processo 2-3: Ocorre no condensador. O fluido refrigerante rejeita calor para o meio a pressão constante. Entra no condensador a T_2 e é resfriado até atingir T_3 igual a T_C . O fluido deixa o condensador com título igual a 0 (líquido saturado).
- Processo 3-4: Ocorre no dispositivo de expansão. O fluido é expandido de P_C até a pressão de evaporação (P_0). É um processo irreversível ($s_3 \neq s_4$) a entalpia constante ($h_3 = h_4$).
- Processo 4-1: Ocorre no evaporador. O fluido refrigerante (vapor úmido) transfere calor para o meio que deseja resfriar a temperatura e pressão constante (T_0, P_0) até atingir o estado de vapor seco ($x = 1$).

A Figura 10 mostra a diferença entre os ciclos termodinâmicos teóricos e real demonstrados sob o diagrama de Mollier:

Figura 10: Diferenças entre os ciclos teórico e o real



Fonte: VENTURINI; PIRANI, 2005.

A diferença entre os ciclos de compressão de vapor teórico e o real são a queda de pressão que ocorre no evaporador e condensador, devido à perda de carga no trocador de calor, o superaquecimento do fluido refrigerante na saída do evaporador e o sub-resfriamento na saída do condensador; no ciclo real, o processo de compressão é politrópico, ou seja, irreversível ($s_1 \neq s_2$).

Os resultados do balanço de energia, realizados em sistemas térmicos, fornecem informações de eficiência em partes específicas do processo e permitem comparar a eficiência e os parâmetros do processo com os valores atualmente realizáveis nas instalações mais modernas. Contribuem para estabelecer prioridades de melhoria em processos, sejam por causa do consumo excessivo de energia ou por causa de baixa eficiência identificados. Uma abordagem mais moderna para a análise de processos de sistema de refrigeração utiliza a análise exérgica, que proporciona uma visão mais realista do processo em relação a análise energética, complementando-a (SAIDUR; AHAMED; MASJUKI, 2010).

3.1.2 Otimização de Sistemas Energéticos

Os modelos de otimização são ferramentas utilizadas para maximizar a eficiência energética de sistemas térmicos e muito útil quando deseja-se maximizar mais de uma variável do sistema.

Os modelos de otimização conduzem a solução do problema a resultados ótimos que dependerão da função objetivo definida e das restrições estabelecidas. Quanto maior for os objetivos conflitantes maior será a complexidade da solução. Portanto, a escolha do modelo de

otimização que mais se adequa a solucionar o problema dependerá das características do mesmo bem como dos objetivos a serem atingidos. A associação dos fundamentos da exergia com a economia deu origem a análise termoeconômica, ou exergoeconômica, que é uma abordagem que pode ou não estar associada ao emprego de modelos de otimização e ter como objetivo minimizar custos operacionais, irreversibilidades do sistema como um todo, emissões de poluentes, maximização do benefício líquido do projeto ou sua confiabilidade (BALESTIERI et al., 1999).

Bejan, Tsatsaronis e Moran⁴ et al. (1996 apud BALESTIERI et al., 1999) sugere duas vertentes para os modelos de otimização quanto a sua aplicabilidade no projeto e na operação: otimização estrutural ou de projeto e otimização de parâmetros. De maneira geral, a primeira vertente trata da relação dos equipamentos selecionados na fase de síntese de projeto e/ou suas interconexões são modificadas de modo a se obter um projeto superior. A segunda trata da determinação das variáveis de interesse na análise, bem como as variáveis de decisão de vários pontos do sistema com a intenção de alcançar certos objetivos.

Através de modelos de otimização energética é possível maximizar a produção, reduzir perdas, racionalizar o uso de recursos energéticos das instalações industriais e minimizar os impactos ambientais gerados pelas emissões dos gases de efeito estufa. Fornecem suporte a tomada de decisão no planejamento da operação energética e são geralmente vinculados a modelos computacionais, que permitem a análise quantitativa e qualitativa das decisões geradas.

3.1.3 Melhoria Contínua Aplicada a Eficiência Energética

A padronização é fundamental para as organizações e, além de padronizar operações, processos, métodos, peças e componentes, é necessário melhorá-los continuamente, de forma que gerir com qualidade significa compor princípios, ferramentas, métodos e técnicas. A promoção da padronização e da melhoria contínua dos processos necessita da participação e do

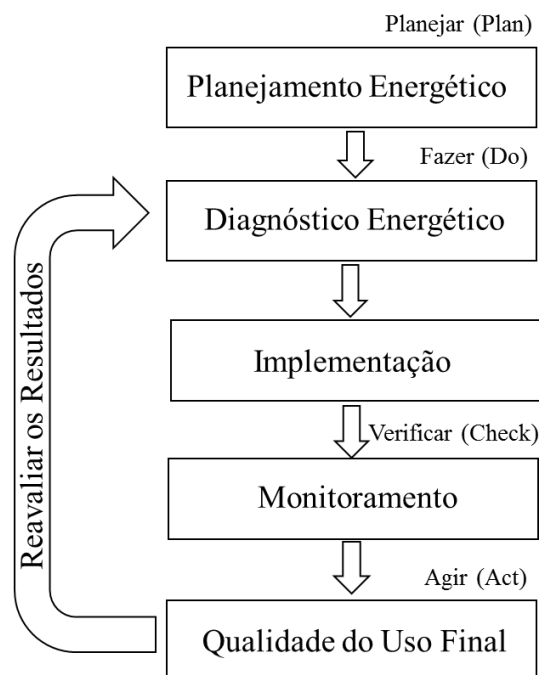
⁴ BEJAN, A.; TSATSARONIS, G.; MORAN, M. **Thermal design and optimization**. John Wiley, New York., 1996 apud BALESTIERI, J. A. P.; NOGUEIRA, L. A. H.; NEBRA, S. A.; JÚNIOR, S. O.; GALLO, W. L. R. **Metodologias para análise de sistemas energéticos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15, MESA REDONDA: SIMPÓSIO 1: ANÁLISE DE SISTEMAS ENERGÉTICOS, 1999, Águas de Lindóia, São Paulo, 1999.

comprometimento de todos os colaboradores e devem estar imbuídos de uma filosofia de melhoria contínua (ROCHA et al., 2006).

A representação mais conhecida do conceito de melhoria contínua é o ciclo PDCA, abreviação das palavras de origem inglesa *Plan, Do, Check e Act*, ou seja, Planejar, Fazer, Checar e Agir. É uma representação do método de gerenciamento para implementação da melhoria contínua e reflete, em quatro fases, o alicerce da filosofia do melhoramento contínuo estabelecendo as padronizações e promovendo a melhoria contínua e sistemática dos processos organizacionais (ANDRADE, 2003).

O conceito de melhoria contínua aplicada a eficiência consegue extrair o máximo dos benefícios gerados pela implementação de medidas que aumenta o desempenho energético das instalações. Um dos exemplos da importância da aplicabilidade deste conceito em eficiência energética, é na análise dos resultados de ações para melhorar o desempenho das instalações, que pode ser eficiente, mas não eficaz, ou seja, se a eficiência obtida é inferior à meta estabelecida inicialmente, torna a aplicação do conceito de melhoria contínua necessário para realizar a verificação da efetividade no atendimento da meta e apontar as possíveis causas. A Figura 11 mostra a representação do conceito de melhoria contínua:

Figura 11: Método de implementação do ciclo PDCA em projetos de eficiência energética



Fonte: Autor, 2016.

A abordagem sistêmica, proposta pelo melhoramento contínuo, analisa todos os lados do sistema, da demanda ao fornecimento, e a forma como eles se interagem, essencialmente, transferindo o foco dos componentes individuais para a atenção no desempenho global do sistema. Muitas vezes, os operadores estão focados nas demandas imediatas dos equipamentos que não têm conhecimento de como os parâmetros do sistema afetam o equipamento. A abordagem sistêmica avalia o sistema de forma global para determinar como as necessidades de uso final podem ser mais efetiva e eficientemente servidas.

3.1.4 Auditoria Energética

Uma abordagem sistemática, para monitorar o consumo de energia industrial e identificar fontes de desperdício, é conhecida como auditoria energética. Um estudo de auditoria energética ajuda a organização a compreender e analisar o uso de sua energia e identificar áreas onde o consumo de energia pode ser reduzido (BHATT, 2000).

Para Bennett e Newborough (2001) a auditoria energética ajuda a identificar e quantificar todos os fluxos de energia em uma instalação. Consideram a auditoria energética a chave para uma abordagem sistemática para a tomada de decisão na área de gestão de energia. Desta forma, Saidur (2010b) considera que o estudo de auditoria energética torna-se uma ferramenta eficaz na definição e implantação de um programa amplo de gerenciamento de energia.

Dentre os benefícios de uma auditoria energética, destacam-se:

- identificar as perdas de energia para a ação corretiva;
- monitoramento do impacto de melhorias operacionais;
- reduzir o consumo de energia e custos operacionais específicos;
- conduzir a benefícios ambientais, tais como a redução dos gases de efeito de estufa;
- melhoria no desempenho geral do sistema, rentabilidade e produtividade;
- evita paradas por falhas em equipamentos, e
- estimar o impacto financeiro dos projetos de conservação de energia.

3.1.5 Medição e Verificação

Para se constatar se a eficiência energética foi ou não obtida, é necessário medir os resultados, por meio do monitoramento ao longo de um período, das ações de redução do

consumo de energia e os ganhos associados. Sem uma boa avaliação a eficiência energética perde sua credibilidade e sua adoção não atrativa.

Medição e Verificação (M&V) é o processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão da energia. A economia é determinada pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, com ajustes adequados, tendo em conta alterações nas condições (EVO⁵, 2012, p.4).

As atividades de M&V incluem estudos no local, instalação, calibração e manutenção de medidores, coleta e análise de dados do consumo de energia, água e combustível, monitoramento das variáveis independentes, cálculos e apresentações de relatórios.

Com intuito de estabelecer um consenso internacional em padrões para determinar os ganhos em eficiência energética surgiu o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (INEE, 2015). Este documento descreve as práticas comuns de medição, os cálculos e relatório de economia que podem ser obtidos em projetos de eficiência energética e em consumo eficiente de água nas instalações do usuário final (EVO, 2012). Este documento não fornece métodos para se fazer medição e verificação específica para cada ação de eficiência energética, mas apresenta conceitos e uma estrutura de ações para cada caso particular (VARELA; MARQUES, 2013). É utilizado por empresas de conservação de energia (ESCOs) para realizar os contratos de performance, que estabelecem as condições de remuneração a partir do montante de economia obtida com a redução efetiva nos custos com energia e água após implantação de ações técnicas e economicamente viáveis.

3.2 OPORTUNIDADES DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA

Os atuais mecanismos de mercado não têm sido suficientes para promover os desejáveis e possíveis incrementos de eficiência no uso final da energia. As medidas para promoção do uso racional de energia não significam necessariamente a redução do uso final, mas a redução das perdas e desperdícios sem afetar a intensidade e a qualidade dos serviços energéticos.

⁵ EVO – *Efficiency Valuation Organization* (Organização para avaliação da eficiência) é uma organização que fornece ferramentas para quantificar e gerir riscos da performance e benefícios relacionados a eficiência energética. A gama de opções de M&V presente no PIMVP permite que profissionais selecionem o plano de medição e verificação mais adequado aos seus projetos: <http://www.evo-world.org>.

(BRASIL, 2007). As ineficiências associadas à utilização dos sistemas energéticos associam-se a três grupos de causas segundo o PNE 2030:

- projeto deficiente: gerada pela concepção errônea do ponto de vista do desenho, materiais, processo de fabricação, equipamentos e sistemas causam desperdícios de energia;
- operação ineficiente: sistemas energéticos são bem concebidos mas podem ser operados de forma incorreta, e
- manutenção inadequada: parcela das perdas e dos desperdícios de energia podem ser minimizada mediante procedimentos adequados de manutenção corretiva e preventiva, para que mantenham, na extensão possível, o desempenho das condições originais.

As ineficiências podem ser eliminadas ou minimizadas com a implantação de medidas de eficiência energética. No entanto, somente serão efetivas, ou seja, trarão resultados positivos se estas medidas tiverem o comprometimento da alta direção, o suporte do pessoal técnico e uma infraestrutura de apoio para que as ações sejam implementadas e seus resultados monitorados. As primeiras medidas de eficiência energética não requerem investimento inicial, apenas mudanças comportamentais e alterações operacionais que garantem economia de energia.

Uma das maneiras de se alcançar mais eficiência no uso final de energia em uma indústria é determinar a quantidade de energia utilizada e suas perdas energéticas. Os níveis de eficiência de diversos tipos de equipamentos dependem das características e condições de trabalho (FROMME, 1996; PRIAMBODO; KUMAR, 2001; IBRIK; MAHMOUD, 2005; THOLLANDER et al., 2005; CHAN et al., 2007).

Para isso, projetos de eficiência energética iniciam com um diagnóstico energético capaz de conhecer o quanto de energia (elétrica, térmica e combustível) são consumidos, identificar quem, quanto e como estão sendo utilizadas essa energia, as características das instalações, de sistemas e processos consumidores de energia e assim traçar um plano de ação para otimizar o consumo de insumos energéticos. Toda a informação coletada deve ser analisada adequadamente de modo a produzir um conjunto de indicadores: consumo global da instalação, consumo por setor produtivo, por equipamento, tipo de energia, rendimento energético dos equipamentos de maior consumo e dos sistemas térmicos e mecânico.

Afim de identificar oportunidades para a economia de energia e auxiliar o processo de diagnóstico energético, segue uma síntese das melhores práticas em eficiência energética como guia de verificação, a fim de garantir que todas as medidas de redução de consumo estejam sendo avaliadas.

3.2.1 Força Motriz

Os motores elétricos têm amplas aplicações nos setores industriais, comerciais, residenciais e no setor público alimentando uma variedade de equipamentos. Em países desenvolvidos industrialmente e grandes nações em desenvolvimento, motores elétricos representam uma parte considerável do consumo total de energia nacional. As análises estatísticas indicam que os motores elétricos são geralmente responsáveis por cerca de 2/3 do consumo de energia industrial em cada país ou cerca de 40% do consumo total de energia. De acordo com estimativas, o potencial de economia seria em torno de 11 – 18% com a utilização de tecnologias mais eficientes e produtos de conservação de energia (SAIDUR, 2010). A eficiência do conjunto motor/máquina depende de alguns fatores resumidos na Tabela 3:

Tabela 3: Medidas de eficiência energética em sistemas motrizes

Medidas de Eficiência Energética	Comentários
Adequação do motor a carga acionada	Isso evita o superdimensionamento do motor em relação à carga acionada. A faixa ideal é 75% da carga nominal;
Acionamento com velocidade ajustável (AVA's)	Importante instrumento a ser conectados a motores que apresentam carga variável. É economicamente viável para motor de indução acima de 20 cv, com no mínimo 2000 h/ano de operação, cargas centrifugas e que a flutuação de carga esteja entre 60% a 90%.
Chaves de parada e partida progressivas (soft-starter)	Varia a tensão aplicada no motor gerando sua partida e parada suave. Sua aplicação traz economia de energia quando aplicado em cargas que funciona em períodos significativos a vazio, como por exemplo, em compressores operando em alívio que não é indicado o liga e desliga.
Motores de alto rendimento	Substituir por motores de alto rendimento os motores antigos, com eficiência depreciada, após sua vida útil. Trocar um motor instalado ainda com vida útil residual (de difícil estimação) é praticamente descartado.
Manutenção preventiva	Em instalações antigas e malconservadas os vazamentos podem chegar de 25 a 30% da capacidade total do compressor. Um furo de 5 mm exige 8,3 kW do motor. Economia de 15 a 25%.
Equipamento de correção de fator de potência	Aumenta a vida útil do equipamento, diminui o consumo de energia e suas perdas, maximiza a capacidade do sistema e melhora a qualidade de tensão.

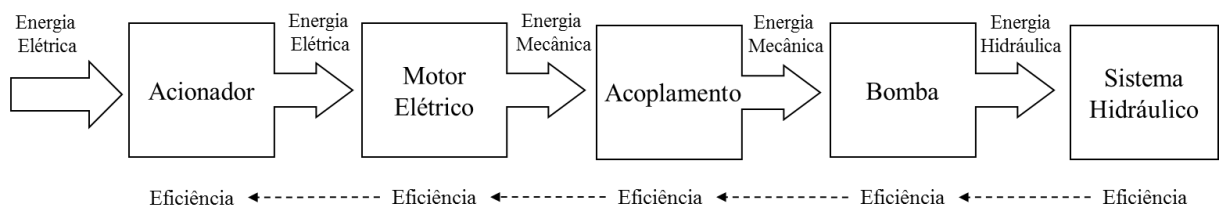
Fonte: XEnergy⁶, 1998.

⁶ A XEnergy (1998) fez uma pesquisa de campo na indústria americana sobre o uso de força motriz, para o DOE, coletando informações de quase 30 mil sistemas motrizes.

3.2.2 Sistemas de Bombeamento

Segundo Gerbi⁷ (2003 apud GARCIA, 2008), uma boa técnica de eficiência energética é a *bottom-up*, caminhar-se do uso final ao sistema de suprimento. Isso vale para todos os sistemas motrizes, caso contrário, por exemplo, poderá substituir o motor elétrico por um de alto rendimento e este estar superdimensionado as condições do processo. Assim, a energia apresenta fluxo inverso ao da eficientização como apresenta a Figura 12:

Figura 12: Fluxo da energia e eficientização



Fonte: GARCIA, 2008.

O sistema hidráulico consiste basicamente em gerar movimento ou força através da pressurização de um fluido, resultando em força mecânica. A melhoria no desempenho energético do sistema, representado pela Figura 12, é obtido quando essa força (carga a ser acionada) é conhecida e o sistema readequado para consumir a energia elétrica necessária para gerar essa força resultante.

É uma técnica a ser utilizadas para analisar sistemas de bombeamento juntamente com a adoção de medidas de eficiência energética resumidas na Tabela 4:

⁷ GERBI – Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Indústria Brasileira. **Gestão Energética Competitiva**: Módulo de Treinamento. Rio de Janeiro: GERBI, 2003 apud GARCIA, A.G.P. **Leilão de Eficiência Energética no Brasil**. 2008. 186f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

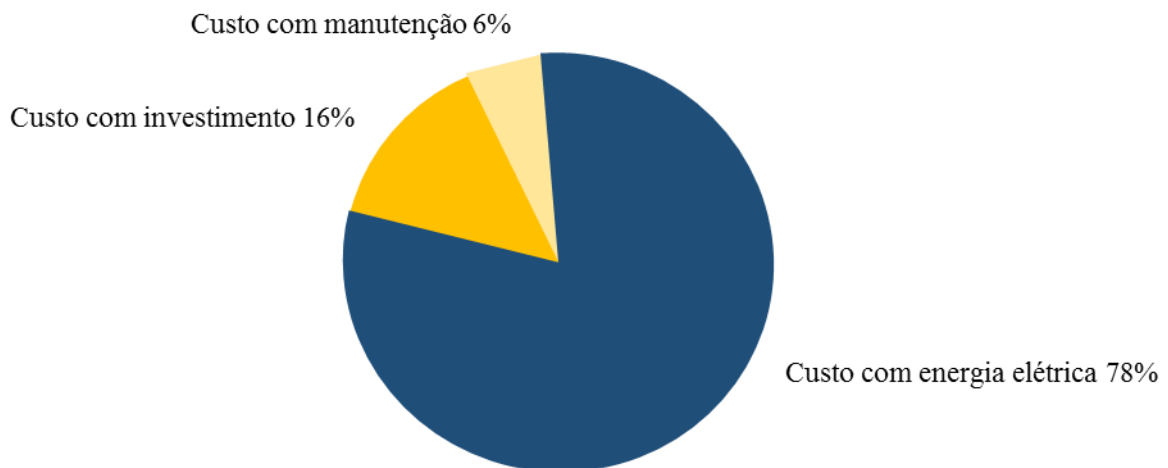
Tabela 4: Medidas de eficiência energética em sistemas de bombeamento

Medidas de Eficiência Energética	Comentários
Lubrificação ou substituição de rolamentos, selos mecânicos e outros mecanismos de selagem.	Economias de 1 a 6%.
Reduzir as perdas por vazamento e desperdício de água.	Economia de até 70%.
Associação adequada de bombas.	Otimizar o ponto de funcionamento do sistema. Instalar sistemas em paralelos para cargas com grandes variações de fluxo, tem-se economias de 10 a 50%.
Variação de velocidade dos motores.	Adequar o ponto de máximo rendimento as variações de demanda. Economia de 27%.
Trocar por modelos mais eficientes ou com pontos de máximo rendimento mais próximo do de operação.	Modelos antigos tem seu ponto de máximo rendimento alterado e com decréscimo de 10 a 20%. Bombas mais modernas são 2 a 5% mais eficientes. Economias de 2 a 10%.
Dividir a altura geométrica através de tanques de armazenamento intermediário.	Diminui as perdas de carga. Economia de 10 a 20%.
Aumento do diâmetro da tubulação.	Reduz a perda de carga. Economia de 5 a 20% (seleção econômica do diâmetro baseado no investimento inicial + custo operacional).
Aumento da capacidade dos reservatórios.	.Deslocamento de carga: evitar o horário de pico
Uso de válvulas	Reduzir vazamentos. Economias de 15%.
Eliminar malhas de bypass e outros fluxos desnecessários.	Economia de 10 a 20%.
Dividir as zonas de pressão em setores.	Evita elevadas pressões que resultam em ineficiência.
Evitar entrada de ar na tubulação de sucção da bomba.	Evita cavitação e diminuição da vida útil do equipamento.

3.2.3 Sistemas de Ar Comprimido

O ar comprimido é provavelmente a forma mais cara de energia disponível na planta. Os principais fatores que influenciam o custo são o dimensionamento correto do compressor e a modulação de carga (SAIDUR; RAHIM; HASANUZZAMAN, 2010). A Figura 13 mostra a proporção entre o consumo de eletricidade frente aos custos de aquisição e manutenção de um sistema de compressão de ar.

Figura 13: Custos com ar comprimido durante sua vida útil



Fonte: SAIDUR; RAHIM; HASANUZZAMAN, 2010.

A Tabela 5 aponta algumas medidas de eficiência energética. Tais medidas incluem em eliminar vazamentos de ar, ajustes de pressão, redução da temperatura de admissão do ar, utilização do calor residual do fluido de refrigerante, eliminação de condensado na linha.

Tabela 5: Medidas de eficiência energética em sistemas de ar comprimido

Medidas de Eficiência Energética	Comentários
Reduzir a demanda por ar comprimido.	Ar comprimido é utilizado para limpeza, resfriamento e pode ser substituídos por equipamentos específicos. Economia de até 20%.
Reduzir a pressão do sistema.	Através de melhores projetos e componentes auxiliares (filtros, secadores). Economias entre 4 a 6%.
Reduzir a pressão de desarme.	O acréscimo de 1 bar na pressão de desarme eleva em 6% a potência consumida (em pressões de 6 ~7 bars).
Temperatura de aspiração do ar.	Quanto mais elevada a temperatura do ar de aspiração, maior é a energia consumida pelo compressor. Economia de 1,9% pode ser obtida, reduzindo a temperatura do ar de 27°C para 21°C.
Filtros de ar.	As impurezas contidas no ar aspirado comprometem a vida útil dos compressores, equipamentos e ferramentas pneumáticas.
Instalar AVAs para compressores rotativos.	Economia na ordem de 10%.
Substituir compressores antigos por modelos mais eficientes.	O rendimento pode variar entre 10 a 20%.
Reduzir vazamentos.	Em instalações antigas e malconservadas, os vazamentos podem chegar em 25 a 30% da capacidade total do compressor. Um furo de 5 mm exige 8,3 kW do motor. Economia de 15 a 25%.
Inclinação da linha de distribuição.	A linha de distribuição de ar comprimido deve ser inclinada em 0,5 a 1% a cada 5 a 10 mm por metro de tubulação, para evitar que o condensado fique retido na linha.
Uso de purgadores.	Instalar drenos de condensados em pontos baixos da tubulação e em locais de mudança de inclinação da linha. A presença de condensado corroem a linha e danifica o equipamento.
Recuperação de calor gerado pela compressão.	O compressor é geralmente resfriado por ar ou água. Pode ser recuperado 94% do calor.

3.2.4 Sistemas de Ar Condicionado

As ações de eficiência energética que podem ser adotadas para melhorar o desempenho energético de sistemas de ar condicionado estão resumidas na Tabela 6:

Tabela 6: Medidas de eficiência energética em sistemas de ar condicionado

Medidas de Eficiência Energética	Comentários
Ajustar a entrada de ar exterior.	Cargas excessivas de ar exterior levam a um consumo acima do normal.
Desligamento de luzes.	Iluminação não eficientizada e acessas desnecessariamente acarretarão um excesso de carga nos ar condicionados.
Limpeza de filtros.	Filtros obstruídos acarretam aumento no consumo de energia elétrica já que o motor do ventilador é forçado a operar contra um acréscimo de pressão.
Limpeza de superfícies de trocadores de calor.	Superfícies sujas e alhetamento obstruídos acarretam em perdas, já que ventiladores ou bombas têm que operarem mais para fornecer a mesma vazão.
Ajustes de termostatos.	Temperatura ajustada abaixo da temperatura de projeto consome mais energia do que necessário.
Ajustes de acionamento.	Correias dos motores de ventiladores mal tensionadas geram uma perda considerável de energia. Recomenda a substituição de correias tipo "V", com eficiência entre 90 a 95%, por correias síncronas (dentadas) com eficiência de 97 a 99%.

Fonte: PENA, 2011.

3.2.5 Equipamentos de Manuseio e Processamento

Há outros equipamentos na indústria que são acionados por motores elétricos e estão relacionados com o tipo de atividade, tais como:

- Transporte de material: esteiras transportadoras, pontes rolantes;
- Alteração na forma: extrusora, torno mecânico, prensas, fresas, e

- Separação de materiais: peneiras vibratórias, picadores, centrífuga.

Nestes casos, algumas regras básicas se aplicam a todos os tipos de acionamento e estão apresentadas na Tabela 7:

Tabela 7: Medidas de eficiência energética em equipamentos acionados por motores elétricos

Medidas de Eficiência Energética	Comentários
Reduzir ou controlar a velocidade do motor.	Auxiliar na adequação da energia despendida à energia requerida.
Adequar o sistema a carga.	Evitar a sobrecarga e o subdimensionamento do motor.
Reduzir a energia requerida.	Projetos antigos que sofreram alteração ao longo do tempo podem apresentar componentes em excesso e trabalhos intermediários, que podem ser evitados.
Operação e manutenção.	Manutenção periódica aumenta o tempo de falha e, uma operação regular e padronizada, contribui para a economia de energia.

Fonte: GARCIA, 2008.

3.2.6 Gerenciamento Energético

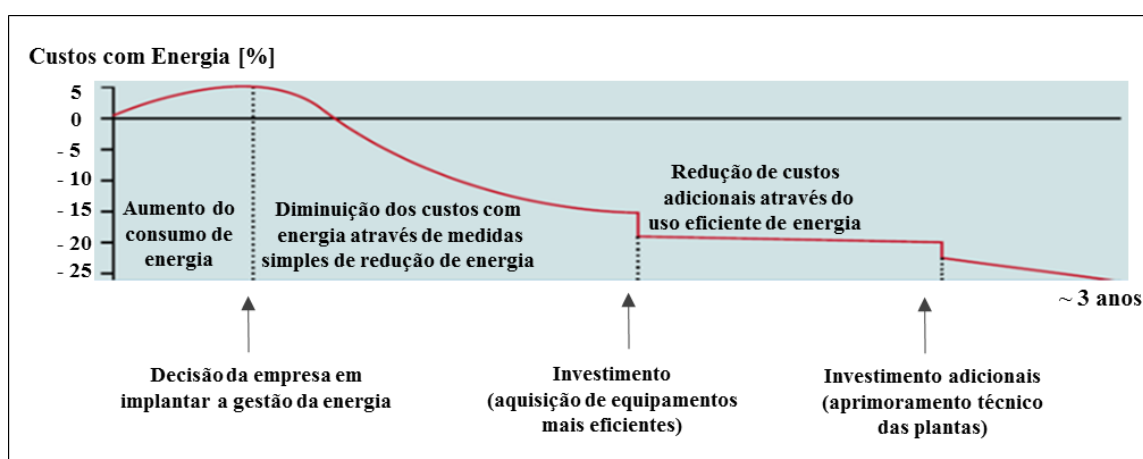
A implantação de um programa de gerenciamento energético exige mudanças de procedimentos, rotinas de trabalho e hábitos que, em grande parte, são obstáculos difíceis de serem superados em virtude da resistência natural que as coletividades oferecem a esse tipo de proposta. Para isso, é importante a participação da alta direção e de toda a sua equipe (técnico e administrativo), na busca de um objetivo comum, e este objetivo deve estar claro a todos os envolvidos para que se consiga superar as dificuldades inerentes a resistências coletivas (ROCHA; MONTEIRO, 2005).

Para Garcia (2008), por mais que a gestão energética englobe todas as ações para aperfeiçoar e reduzir os custos com energia, são necessários alguns investimentos que trazem economias adicionais como as conseguidas mediante a implantação de técnicas específicas.

Portanto, faz sentido considerarem-se investimentos e economias adicionais com as técnicas de gestão energética, lembrando que na verdade elas estão integradas com outras ações de efficientização e que seu maior benefício é justamente na consolidação das economias obtidas ao longo do tempo. Somente uma boa gestão energética permite que medidas de eficiência energética tenham reconhecido seu valor e induzam a mais e mais ações (GARCIA, 2008, p.118).

Além do papel governamental no estímulo a inserção da eficiência energética, o setor industrial também exerce um papel importante neste quesito. A gestão da energia melhora o desempenho energético das organizações e, do ponto de vista econômico, a implantação deste sistema traz redução significativa no custo com a energia, como mostra a Figura 14:

Figura 14: Redução contínua de custos com energia



Fonte: SOARES, 2014.

A gestão da energia estrutura a eficiência energética e garante a efetividade dos resultados das medidas implementadas e sua manutenção ao longo da vida útil. A gestão normalizada pode ser fundamental para que as atividades de eficiência energética tragam o máximo de seus benefícios.

3.2.7 Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Gerenciamento pelo lado da demanda se apresenta como uma eficiente alternativa de otimização na utilização de recursos disponível e, sendo uma abordagem de longo prazo, possibilita reduzir a demanda contratada através da redução ou modificação da demanda por

eletricidade ao promover um consumo mais racional de energia elétrica utilizando das seguintes estratégias (CEMIG, 2015):

- transferência de cargas – movimentação das cargas existentes:
 - preenchimento de vales: preenchimento de cargas durante o período fora de pico;
 - corte de pico: reduzir as cargas durante o horário de pico de uso de energia elétrica;
- conservação estratégica – diminuição da demanda de carga em todos os períodos através do aumento da eficiência do uso da energia (substituição dos equipamentos por outros mais eficiente, desligar as luzes sem presença de trabalhadores, etc.);
- crescimento estratégico da carga – aumento do uso de energia elétrica por estratégias tais como a substituição de combustíveis fósseis, e
- carga flexível – contratos específicos e tarifas com a possibilidade de flexibilidade no controle de equipamentos de consumidores.

3.3 OS PILARES FUNDAMENTAIS PARA UMA GESTÃO DA ENERGIA VOLTADA A IMPLEMENTAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os resultados das ações de eficiência energética surgirão se a energia consumida pela empresa foi gerenciada sistematicamente de forma a monitorar o quanto de energia é consumido, quem consome, quanto consome cada departamento, processo e/ou equipamento, onde atuar para otimizar esse consumo e quais as possibilidades de suprimento da energia requerida pela empresa.

A gestão estratégica da energia é geralmente de responsabilidade da alta direção da empresa, que diz respeito tanto à formulação dos objetivos quanto no direcionamento das ações a serem implementadas dentro do ambiente interno e externo da organização. A empresa deve respeitar as premissas básicas para que o processo estratégico tenha coerência e sustentação decisória (OLIVEIRA, 2004).

Camacho (2009), chama essas premissas básicas citadas por Oliveira (2004) de pilares fundamentais e as define como:

- Primeiro Pilar: Estratégia
- Segundo Pilar: Pessoas
- Terceiro Pilar: Infraestrutura
- Quarto Pilar: Processos

A estratégia, primeiro pilar, são os planos de ações que devem ser seguidos para serem alcançadas as metas. Estas metas são estabelecidas a partir da criação de uma política energética que estabelece o compromisso de avaliar regularmente, adaptar seus processos, produtos e procedimentos com o objetivo de preservar os recursos e conservar a energia.

O segundo pilar, Pessoas, Camacho (2009) aborda a necessidade de medidas de educação, treinamento pessoal com o objetivo de criar um ambiente de conscientização nos colaboradores. A eficácia das ações de eficiência energética também depende da máxima utilização do potencial intelectual das pessoas, dos seus entusiasmos e na busca contínua pelo melhor resultado.

Infraestrutura compreende o terceiro pilar e estão implícitos os sistemas de documentação relativos a contratos, auditorias, tarifação, adoção de equipamentos tecnologicamente eficientes, disponibilidade de recursos humanos para desenvolver as atividades e demandas decorrentes do processo de gestão, suporte das equipes de engenharia, uso de tecnologia da informação para automação de processos (como aquisição, registro e processamento de dados) (SOLA, 2006).

O quarto pilar, nomeado de Processos, Camacho (2009) aborda que os processos são intrínsecos a qualquer organização que agrega valor a um determinado produto ou serviço através de atividades realizadas numa sequência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço para atender um cliente específico. O conhecimento desses processos permitirá determinar a prioridade de atuação para a conservação de energia.

Outro pilar fundamental para subsidiar as ações de eficiência energética é o conceito de Criação de Valor Compartilhado. Fundamenta-se na premissa de que para o sucesso a longo prazo é tão importante gerar valor para os acionistas quanto para a sociedade. O conceito de geração valor compartilhado é, basicamente, a exploração contínua das necessidades sociais, o que leva a empresa a descobrir novas oportunidades de diferenciação e reposicionamento nos mercados tradicionais e identificar potencial de mercados anteriormente ignorados. No caso da energia, diante da alta dos preços e da necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, as empresas estão melhorando os modos de utilização da energia graças a tecnologias mais eficientes, cogeração, reciclagem de materiais e inúmeras outras práticas – práticas que geram valor compartilhado (PORTER; KRAMER, 2011).

CAPÍTULO 4

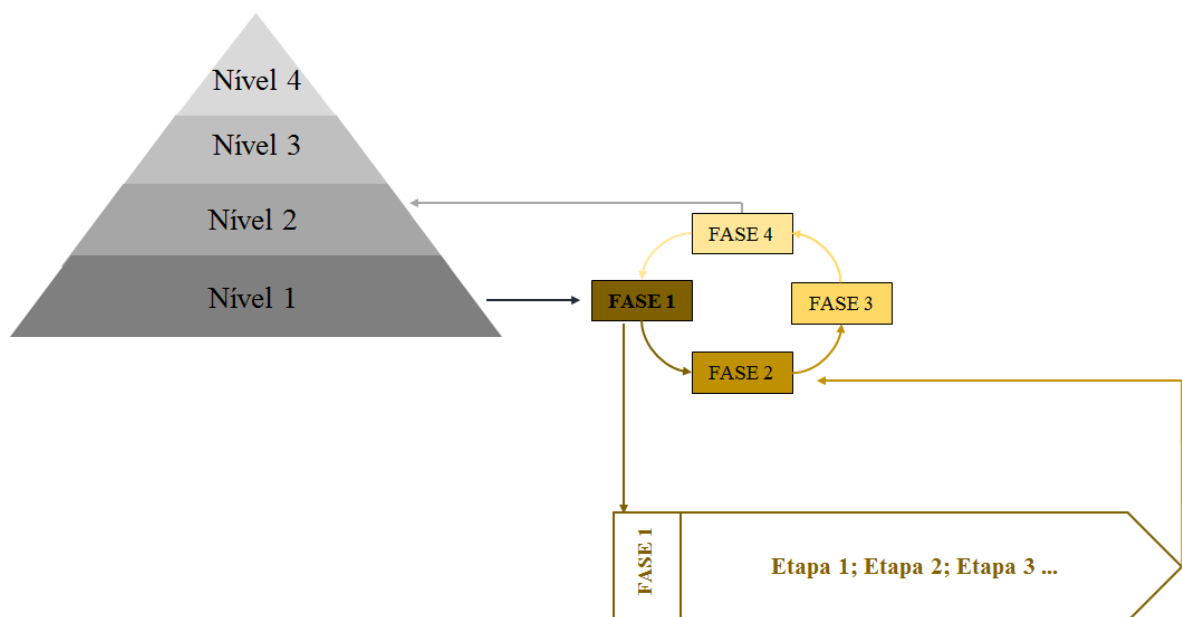
4. METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo é apresentada a metodologia que foi desenvolvida para estruturar o processo de implantação e acompanhamento de um programa corporativo de eficiência energética nos setores industriais. Tem como objetivo servir de instrumento de gestão estratégica dos energéticos, tornar mais eficientes sua utilização, alcançar a sustentabilidade das operações e diminuir os custos operacionais da empresa.

Gerir a energia compreende em administrar a energia utilizada estrategicamente, de forma que o processo de administrar seja sustentado por uma estrutura metodológica. Esta estrutura estabelece a melhor direção a ser seguida visando a interação com o meio ambiente em um grau otimizado e atuando de forma diferenciada e inovadora (OLIVEIRA, 2004).

A metodologia proposta visa trabalhar o tema eficiência energética em quatro níveis de atuação que irão nortear e sistematizar ações, mediante o uso de ferramentas, que facilite a implementação de medidas de eficiência energética e promova o desenvolvimento do conceito de melhoria contínua nos processos. O modelo conceitual do funcionamento do programa de eficiência energética está representado na Figura 15:

Figura 15: Modelo conceitual da metodologia de eficiência energética



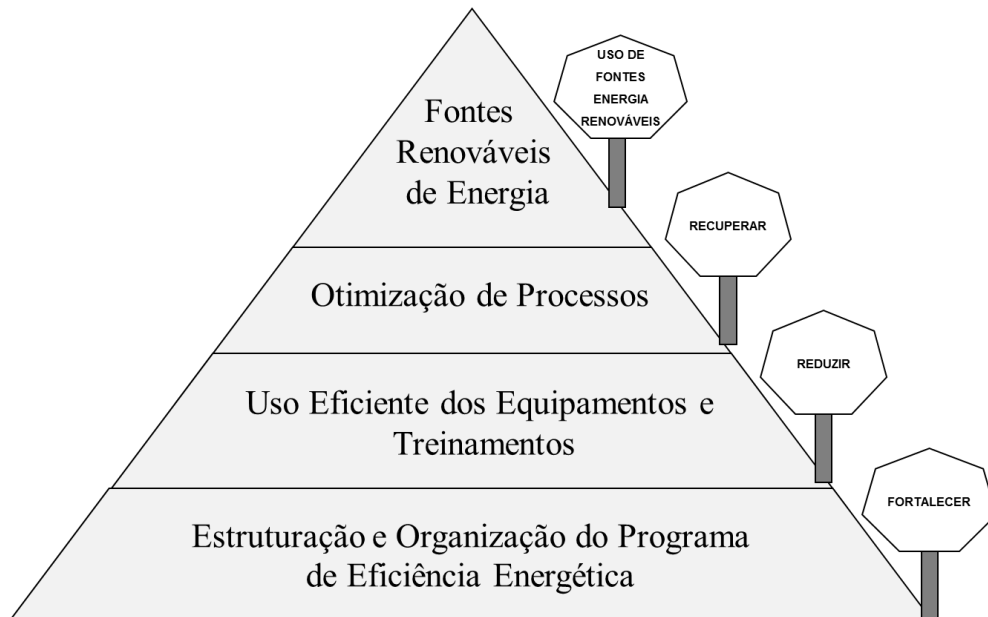
Fonte: Autor, 2016.

A metodologia é estruturada nos níveis de atuação 1, 2, 3 e 4. Para cada nível há um conjunto de fases sequenciadas e para cada fase há uma sequência de atividades (etapas) que devem ser efetuadas. A execução de uma depende da realização da anterior e assim sucessivamente. Ao se atingirem as metas estabelecidas ocorre a mudança de nível. O objetivo da metodologia é explorar ao máximo todas as possíveis alternativas para alcançar a melhoria de desempenho energético em cada nível, com base no conceito de melhoria contínua.

Os níveis de atuação possibilitam que as medidas de eficiência energética não sejam sub e/ou superdimensionadas. É necessário dimensionar a real necessidade de energéticos e eliminar desperdícios através da adoção de medidas simples (baixo custo) de eficiência energética, e prosseguindo nas ações de eficiência conforme for eliminando as medidas básicas e necessárias para obter o melhor funcionamento do sistema. A exemplo, tem-se a substituição de motores elétricos por motor alto rendimento sem antes observar a carga que é acionada por ele, sua hora de operação por ano, o tipo de motor e sua potência para saber se realmente é necessário, vantajoso técnica e economicamente substituir somente o motor. Assim como, o superdimensionamento de uma central de cogeração, jogando fora o excesso de energia térmica não utilizada nos processos. Isso significa retrabalho e custos para a empresa.

A Figura 16 mostra a estrutura da metodologia, representado por uma pirâmide de conservação de energia, que define os quatro níveis de atuação:

Figura 16: Representação da estrutura da metodologia proposta para auxiliar na implementação de medidas de eficiência energética no setor industrial



Fonte: Autor, 2016.

O nível 1, **Estruturação e Organização do Programa de Eficiência Energética**, tem como objetivo fortalecer o programa através da criação de uma estrutura mínima de funcionamento. Nesta fase é necessário que a direção formalize seu comprometimento e apoio em prol da melhoria contínua de desempenho energético, garanta a disponibilidade de informações e recursos (humanos, materiais e financeiros) necessários para atingir os objetivos e metas, desenvolva e revise, sempre que necessário, os objetivos estabelecidos quanto ao uso e consumo da energia. As ações que contemplam este nível são abordadas na Tabela 8:

Tabela 8: Ações que contemplam a base da pirâmide de conservação de energia

NÍVEL 1	Comentários
Definição da política energética.	Comprometimento da organização para atingir a melhoria do desempenho energético.
Criação do comitê de energia (CICE).	Representantes de diversas áreas.
Treinamento de colaboradores.	Treinamento para a gerência de energia.
Identificar os insumos energéticos na sua forma bruta.	Energia elétrica, água, combustível, etc.
Identificar as formas de energia utilizadas.	Vapor de processo, ar comprimido, energia elétrica para iluminação e motores, etc.
Identificar parâmetros de controle.	Estabelecer os consumos específicos.
Estabelecer metas de redução de consumo.	Com base nos parâmetro de controle pré-estabelecidos através de benchmarking, históricos de consumo, etc.
Estabelecer sistemas de medição.	Para acompanhar a evolução do programa.
Comunicação.	Comunicar as atividades, resultados e promover campanhas para o uso eficiente de energia.

Fonte: Autor, 2016.

O segundo nível da pirâmide de conservação de energia, **Uso Eficiente dos Equipamentos e Treinamentos**, é a base de qualquer projeto de otimização energética. Nesta fase o objetivo é reduzir o consumo de energia através das melhores práticas em eficiência energética e treinamento de pessoal. As atividades (fases) que devem ser executadas neste nível estão resumidas na Tabela 9:

Tabela 9: Sequência de atividades a serem realizadas no nível 2 da metodologia

NÍVEL 2	Comentários
Diagnóstico energético.	Identificar uso e consumo de energia.
	Identificar áreas de uso significativo da energia.
	Identificar, priorizar e registrar oportunidades de melhoria.
	Analisar os dados e informações coletadas.
Apresentar o relatório da auditoria.	
Definir plano de ação.	Planejar a implementação das ações de melhoria.
Utilização dos equipamentos com base nos seus princípios de funcionamento: Transferência de Calor, Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica, Leis da Física, etc.	Maximizar a eficiência dos equipamentos.
Padronização de procedimentos.	Equipamentos e processos sejam operados de forma padronizada.
Eliminar desperdícios.	Identificar falhas de isolamento, vazamentos, etc.
Manutenção preventivas e preditivas.	Evitar paradas nos processos e diminuição da vida útil dos equipamentos.
Substituição de equipamentos.	Trocar equipamentos antigos por modelos mais eficientes.
Alterar sequência de operações.	Eliminar etapas desnecessárias, diminuir estoques, diminuir o tempo de produção, etc.

Fonte: Autor, 2016.

O terceiro nível da pirâmide é a **Otimização de Processos** cujo objetivo é recuperar a energia utilizada. Compreende em ações para maximizar o uso da energia ou minimizar custos operacionais, como por exemplo, a implantação de sistema de cogeração e recuperação de calor residual de processos em outros processos. É o emprego das técnicas de otimização para selecionar as melhores alternativas de utilização da energia. A Tabela 10 sintetiza as ações de otimização de processos:

Tabela 10: Medidas de eficiência energética a serem adotadas no nível 3

NÍVEL 3	Comentários
Cogeração.	Processo e utilização combinada de calor e eletricidade a partir da queima de um único combustível.
Recuperação de calor residual.	Aproveitar a energia térmica de um processo em outro processo.
Eficiência na geração de calor e frio.	Maximizar a geração de energia térmica.
Eficiência nas etapas de produção.	Maximizar a sequência de operações para fabricação de um determinado produto.
Biomassa.	Utilização da biomassa como combustível para geração de energia térmica e elétrica.

Fonte: Autor, 2016.

O quarto nível estão as **Fontes Renováveis de Energia**, é o topo da pirâmide e representa o nível de excelência em eficiência energética. O uso de energias renováveis é o caminho mais sustentável para o suprimento de energia nas operações da empresa. Na Tabela 11, tem-se exemplos de alguns tipos de fontes renováveis de energia:

Tabela 11: Medidas de eficiência energética a serem adotadas no nível 4

NÍVEL 4	Comentários
Energia solar.	Transformação energia proveniente do sol em energia térmica e elétrica.
Energia eólica.	Energia oriunda do vento em eletricidade.

Fonte: Autor, 2016.

O sucesso de um nível depende de como foi realizado as atividades do nível anterior; cada parte da pirâmide é composta por um conjunto de atividades necessárias para o funcionamento do programa. O sucesso de cada atividade levará ao sucesso do programa. O objetivo da pirâmide de conservação de energia é possibilitar que o trabalho nos diversos setores da organização seja extremamente objetivo, diminuindo o desperdício de tempo, de insumos, o retrabalho e, conseqüentemente, aumentar os níveis de eficiência dos processos.

Para que as ações de cada nível da pirâmide possam ser efetivas e trazerem resultados eficazes, deve ser elaborado, para cada uma, um plano de ação. O plano de ação pode ser montado com base na ferramenta da qualidade 5W e 1H:

- What – O que fazer?
- Where – Onde fazer?
- Why – Por que fazer?
- When – Quando?
- Who – Quem?
- How – Como?

As medidas para incremento do desempenho devem levar em conta os diferentes níveis de intervenção, particularmente aqueles associados às causas mencionadas acima e na extensão possível, articular ações que combinem e potencializem os resultados na direção da eficiência energética. Por exemplo, a difusão de equipamentos mais eficientes não exclui recomendar sua utilização da forma mais eficiente, ou seja, reduzir sua operação de forma indevida.

CAPÍTULO 5

5. ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIO

Para ilustrar a aplicabilidade da metodologia proposta no capítulo 4, foi realizado um estudo de caso em uma indústria de laticínio. Para o estudo de caso, foram realizadas visitas técnicas às instalações de uma cooperativa de laticínio e coletadas informações sobre o funcionamento dos seus processos produtivos. Na ausência de dados, foram obtidos na literatura informações para complementar a análise. As informações serviram de base para simular a aplicabilidade da metodologia proposta neste trabalho. Neste desenvolvimento do estudo opta-se em trabalhar em níveis de intervenção, como proposto pela metodologia, conforme descrito nos itens seguintes.

5.1 NÍVEL 1: ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

Com o propósito de melhorar o desempenho energético de uma indústria de laticínio através da implementação de ações de eficiência energética, é necessário criar uma estrutura mínima de apoio que garanta a funcionalidade de um programa de eficiência energética. Essa estrutura de apoio deve estar alicerçada em uma política energética. Neste caso, a definição da política energética assenta-se em dois pilares fundamentais, a racionalidade econômica e a sustentabilidade, indicando para isso medidas de eficiência energética, utilização de energias renováveis e a necessidade de reduzir custos, sem comprometer a competitividade da cooperativa de laticínio e nem a qualidade de trabalho dos seus membros.

Com isso a Política Energética pôde ser definida da seguinte forma:

- reduzir as emissões de gases de efeito estufa, de forma sustentável;
- aumentar a eficiência energética das atividades produtivas da cooperativa contribuindo para redução de custos operacionais e o uso eficiente dos recursos;
- ser sustentável através de maneiras inovadoras de eliminar ou minimizar os eventuais impactos causados no meio ambiente pelas suas atividades produtivas;
- busca contínua de melhores resultados na utilização dos recursos energéticos: água, energia elétrica e combustíveis e de excelência nas operações;
- reduzir o uso dos recursos naturais no processo produtivo através do reaproveitamento e uso de fontes renováveis de energia;

As atividades de eficiência energética devem ser acompanhadas por um comitê de energia, formado por integrantes de diversas áreas que auxiliará as atividades de identificação das oportunidades de redução de perdas de energéticos e a implementação de ações de eficiência energética.

Formada a equipe de apoio ao programa de eficiência energética, eles devem receber treinamentos. Os treinamentos devem ocorrer em todos os níveis de acordo com a necessidade de obter informação e conhecimento sobre os aspectos em eficiência energética. Os tópicos a serem abordados são (ROCHA; MONTEIRO, 2005):

- aspectos gerais de gestão da energia;
- metodologias de conscientização;
- requisitos de Medição;
- métodos de controle e acompanhamento;
- avaliação de resultados;

Seguindo a estrutura metodológica da ferramenta proposta neste trabalho, é necessário estabelecer metas de redução do consumo energético para planejar estrategicamente as atividades do programa de eficiência energética. Essas metas estão apresentadas na Tabela 12 e foram propostas de acordo com as indicações apresentadas na Tabela 13:

Tabela 12: Tipos de energéticos utilizados, parâmetros de controle e metas de redução pré-estabelecidas pelo comitê de energia:

Insumos energéticos na sua forma bruta	Formas de energia utilizadas	Parâmetro de controle	Consumo atual*	Meta de consumo
Água	Água industrial, água gelada, vapor e água quente	kWh / litro de leite processado	0,271 kWh / litro de leite processado	0,13 kWh / litro de leite processado
Energia Elétrica	Iluminação, força motriz e ar comprimido			
Óleo Combustível BPF 1A	Energia química em energia térmica - caldeiras			

*Refere-se ao consumo de combustível e energia elétrica.

Tabela 13: Consumo de energéticos em função das características do laticínio

Tipo de instalação	Consumo total de energia [kWh/litro de leite processado]
Moderna com pasteurizador de alta eficiência e caldeira nova	0,09
Moderna com utilização de água quente para o processo	0,13
Antiga e com uso do vapor	0,27
Faixa na maioria das instalações	0,14 a 0,33

Fonte: MAGANHA, 2006.

Um fator de muita relevância é a comunicação do programa de eficiência energética. A empresa deve ter conhecimento sobre as atividades do programa, devem ser realizadas campanhas sobre uso consciente de energia elétrica e água.

Realizadas as fases e suas respectivas etapas, o próximo passo é a aplicação do nível 2.

5.2 NÍVEL 2: USO EFICIENTE DOS EQUIPAMENTOS E TREINAMENTOS

A primeira fase do nível 2 é a realização do diagnóstico energético. Nesta fase foi possível identificar as características do uso e consumo dos energéticos da cooperativa e, através da análise das informações coletadas, apresentar soluções para melhorar o desempenho energético da instalação, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, minimizar os impactos causados no meio ambiente, reduzir custos operacionais e fazer uso eficiente de recursos energéticos.

As informações da unidade foram obtidas através da auditoria energética realizada na cooperativa de laticínio que consistiu em verificar a produção de energia térmica e energia elétrica. Nesta fase, foi possível conhecer a instalação, identificar, quantificar e levantar o potencial de economia de energia elétrica, água e combustível. A auditoria compreendeu-se nas seguintes etapas:

- preparação da auditoria;
- intervenção no local da instalação a auditar, e
- tratamento da informação recolhida nas duas primeiras fases.

Na etapa 1 foram feitas visitas técnicas a instalação para coletar dados referentes ao consumo de energia elétrica, água e combustível dos últimos meses, conhecer os processos produtivos da instalação, estudar e analisá-los.

A etapa 2 corresponde a coleta de informações através do levantamento de carga de toda a instalação: motores elétricos, iluminação, compressores e geradores de vapor. Foram realizadas medições de pressão, temperatura e corrente elétrica nos pontos relevantes para o estudo.

De posse das informações obtidas nas etapas anteriores, na etapa 3 foi realizado o tratamento destes dados de forma a propor soluções técnica e economicamente viáveis. Os dados obtidos foram analisados e, através da aplicação das Leis da Termodinâmica, foi possível determinar o potencial de economia de energia da unidade em estudo.

A segunda fase deste nível refere-se ao treinamento dos funcionários, muito importante para que as ações sugeridas no diagnóstico energético sejam eficazes. Os tópicos a serem abordados nesta fase são (ROCHA; MONTEIRO, 2005):

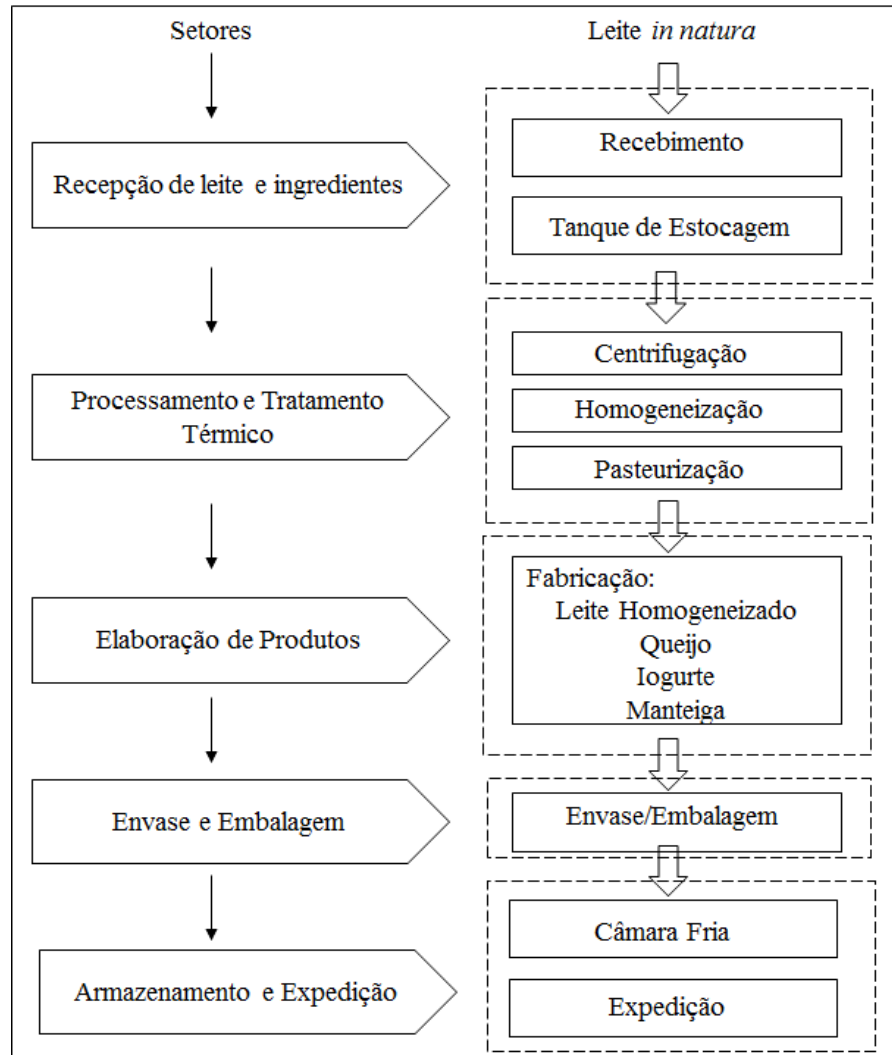
- conscientização;
- capacitação técnica nos usos finais da energia, e
- aspectos gerais de manutenção associada a eficiência energética e sua relação com os programas de qualidade.

5.2.1 Panorama dos Processos Produtivos da Cooperativa de Laticínio

O laticínio recebe em média 130.000 litros de leite diariamente (segunda a sábado) de aproximadamente 500 cooperados localizados em 8 municípios da região do Vale do Paraíba, interior de São Paulo. A cooperativa produz diariamente leite pasteurizado e homogeneizado, queijo, manteiga e bebida láctea (iogurte). Os processos de fabricação destes produtos demandam água gelada, água quente e energia elétrica oriundos de um sistema de refrigeração por compressão de vapor (amônia), do vapor produzido no gerador de vapor e a energia elétrica fornecida pela concessionária local, respectivamente. Os processos produtivos englobam diversas operações e atividades que variam de acordo como os produtos a serem obtidos. A

Figura 17 apresenta, de forma simplificada, as operações fundamentais e comuns a todos os processos:

Figura 17: Etapas genéricas da indústria de derivados lácteos



Fonte: Autor, 2016.

A Figura 17 é dividida em duas partes que envolve, do lado direito as operações para fabricação de produtos e do lado esquerdo os locais onde essas operações ocorrem nomeados de setores. No setor de recepção de leite *in natura*⁸ e ingredientes, os leites são transportados em caminhão tanques isotérmicos. Na cooperativa são coletadas amostras de leite dos compartimentos dos tanques para análise físico-químicas e microbiológicas e se aprovado o

⁸ Leite *in natura*, conhecido também como leite cru, é o leite que ainda não passou por inspeções de qualidade, análise ou tratamento (pasteurização) e pode ser inadequado para consumo, devido a possibilidade da presença de micro-organismos patogênicos.

leite é liberado para descarga. Os produtos auxiliares são armazenados em condições apropriadas até sua utilização.

Na etapa de processamento e tratamento térmico consiste em submeter o leite a operações de filtragem, clarificação, homogeneização e pasteurização. A clarificação consiste na centrifugação do leite para retirada de gordura até a quantidade desejada. A gordura é separada e encaminhada para o tanque de equilíbrio para ser utilizada como matéria-prima para a produção de manteiga. Esses produtos seguem para a operação de homogeneização do leite e para a pasteurização: tratamento térmico para assegurar a destruição de micro-organismos patogênicos.

Após passar pelo tratamento térmico, o leite é enviado as etapas produtivas as quais variam em função dos produtos a serem obtidos. Os produtos finais são embalados, identificados e encaminhados ao setor de resfriamento a fim de que sejam mantidas suas características e preservadas suas qualidades até que sejam enviados ao seu destino final. A expedição e a distribuição devem ser cautelosas de modo a garantir que a qualidade dos produtos lácteos seja preservada.

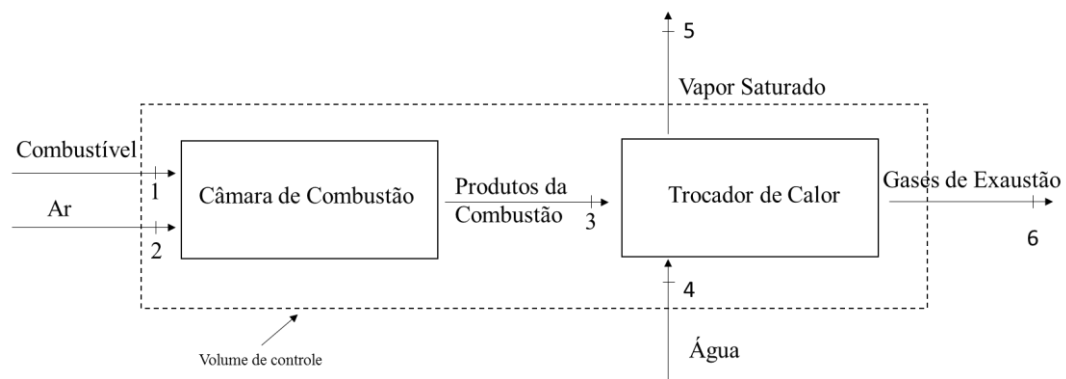
5.2.2 Caracterização dos Sistema Energéticos do Laticínio

A análise energética foi centrada na geração de vapor, água gelada e iluminação, de forma a identificar o desempenho energético atual destes sistemas e propor medidas de eficiência energética. A produção de vapor é obtida de um gerador de vapor fabricado pela ATA Combustão modelo ATA-14 e ATA-8 com capacidade nominal de 2000 kg/h e 1000 kg/h de vapor, respectivamente fabricados em 1986. A produção de água gelada é obtida por um sistema de refrigeração por compressão de vapor composto por três compressores marca SABROE modelos 6-100, 104-L e 4-100, com horas de operação em média de 600 h/mês, 500 h/mês e 70 h/mês, respectivamente. O fluido de trabalho é a amônia. Ambos sistemas alimentam diversos processo entre eles o setor de beneficiamento do leite onde ocorre as operações de pasteurização, homogeneização e padronização. E o sistema de iluminação, que possibilita que as atividades da cooperativa sejam executadas em locais com pouca ou ausência de iluminação natural.

5.2.3 Gerador de Vapor

Gerador de vapor, comumente chamado de caldeira na indústria de laticínio, fornece vapor a uma pressão maior que a pressão atmosférica local, por meio de tubulações distribuídas no bloco industrial, para atender as etapas de produção que necessitam de calor. A produção de vapor é obtida pela transferência de calor, por parte dos gases quentes resultantes da combustão de um combustível, a um fluido que neste caso é a água. Este equipamento é constituído de duas partes distintas: a câmara de combustão, onde o combustível é queimado e gerado os gases quentes da combustão e o trocador de calor onde a água é aquecida para a produção de vapor. Os gases de exaustão seguem através do gerador de vapor até a chaminé onde é eliminado para o meio externo. A Figura 18 esquematiza a caldeira:

Figura 18: Volume de controle na caldeira



Fonte: Adaptado de OHIJEAGHON, WAHEED, JEKAYINFA, 2013.

O diagnóstico energético permitiu uma caracterização técnica dos geradores de vapor, das condições em que operam, com particular destaque para o seu desempenho sob o ponto de vista energético, a identificação de um potencial relevante de economia de energia e custos associado a medidas de boas práticas, que podem ser implementadas nestes equipamentos com vista a melhorar seu desempenho energético.

A coleta dos dados para caracterização destes equipamentos incidiu sobre as caldeiras (tipo de combustível utilizado, potência nominal, superfície de aquecimento, capacidade de produção de vapor, pressão e temperatura), seus equipamentos auxiliares (sistema de queima, bombas, ventiladores e permutadores de calor), os equipamentos de controle, as condições de operação e manutenção e seu rendimento energético. No entanto, não foi possível tomar ciência de todos os dados devido à falta de medidores e falta de identificação de placas.

As caldeiras produzem vapor saturado a 0,4 MPa e operam no máximo com 80% da sua capacidade. As caldeiras ATA-14 e ATA-8 consomem 150 kg/h e 75 kg/h de óleo combustível para produção de 1600 kg/h e 800 kg/h de vapor saturado, respectivamente. A água de alimentação entra a uma temperatura de 40°C e é bombeada para o interior da caldeira a uma pressão de 0,4 MPa. A armazenagem do óleo combustível é feita em tanques onde é aquecido por meio de resistência elétrica até 80°C, temperatura necessária para a bombagem na distribuição aos geradores. Em seguida é aquecido, por meio de vapor, até atingir 110°C para a atomização do óleo combustível (já no queimador da caldeira). O ar de entrada na câmara de combustão não é pré-aquecido. A temperatura média dos gases de exaustão é de 210°C.

Verifica-se que a recuperação de condensado é em média 70%. Isso pode ocorrer por diversos fatores entre eles vazamento de vapor na linha de distribuição e porcentagem de condensados contaminados que não podem ser aproveitados.

5.2.3.1 Análise Termodinâmica das Caldeiras pela Primeira Lei

A câmara de combustão em uma caldeira é geralmente bem isolada o que provoca uma dissipação de calor quase nula para o ambiente externo; também não há nenhuma realização de trabalho de eixo e as energias cinéticas e potencial dos fluxos de massa podem ser consideradas desprezíveis tanto na câmara de combustão quanto no trocador de calor (SAIDUR et al., 2010).

Conservação da massa, representada pela equação (1), permite obter a vazão dos gases de exaustão (\dot{m}_g):

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_c \quad (1)$$

A vazão de combustível (\dot{m}_c) é, em média, 1,5 % da vazão do ar de entrada na câmara de combustão (\dot{m}_{ar}).

Eficiência térmica da caldeira é calculada pela equação (2):

$$\eta_{cald.} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_c} = \frac{\dot{m}_v * (h_5 - h_4)}{\dot{m}_c * PCI} \quad (2)$$

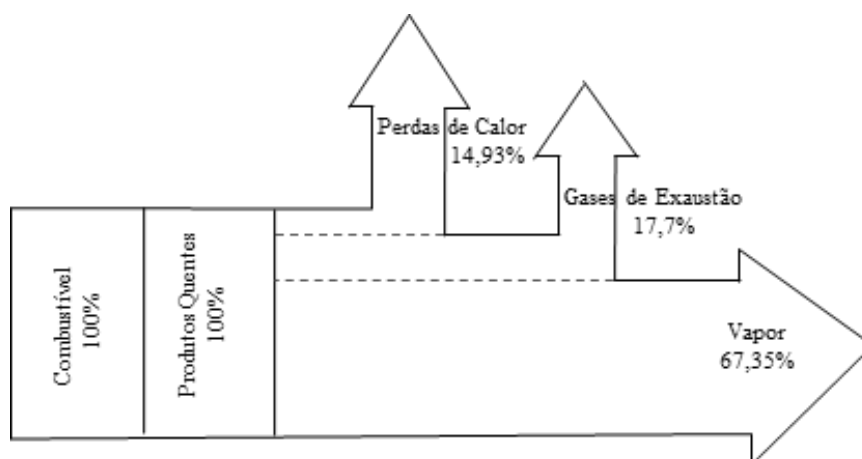
onde \dot{Q}_c é a energia proveniente da queima do óleo combustível. Este é pré-aquecido a uma temperatura de 110°C por resistência elétrica e, através do processo de atomização à ar comprimido, é pulverizado e queimado na fornalha. \dot{Q}_a representa a potência requerida para a geração de vapor saturado (\dot{m}_v). O vapor gerado é conduzido até os pontos de consumo onde, através de um trocador de calor, transfere energia térmica a água e esta será utilizada nos processos que demandam água quente. Retorna cerca de 70% do condensado a uma temperatura em torno de 90°C e esta água é misturada com água industrial e permanece a uma temperatura em média 40°C para entrar na caldeira. O Poder Calorífico Inferior (PCI) do óleo combustível é 9.750 kcal/kg (AALBORG INDUSTRIES, 2015) e a entalpia de entrada da água (h_4) e de saída do vapor (h_5) são 167,9 kJ/kg e 2739 kJ/kg, respectivamente, cujos valores foram obtidos através do software *Computer-Aided Thermodynamic Tables 3* (CAT3). Assim, a eficiência térmica das caldeiras é de:

$$\eta_{cald.} = 67,35 \%$$

É baixo a eficiência térmica do sistema atual de geração de vapor, cujo valor deve situar na faixa entre 75% a 78% nas melhores condições de limpeza para caldeiras flamotubulares (NOGUEIRA, 2005). No estudo realizado por Saidur, Ahamed e Masjuki (2010) que avaliaram a eficiência energética e exergética de caldeiras a gás natural, mostrou que a câmara de combustão é o principal contribuinte para a destruição da exergia na caldeira e que o sistema apresenta uma eficiência energética de 72,46% e sugere que a irreversibilidade pode ser minimizada com o aproveitamento do calor dos gases de exaustão. Na análise energética e exergética de uma usina a vapor na Jordânia realizada por Aljundi (2009) concluiu que a mais importante fonte de destruição de exergia na caldeira ocorre na câmara de combustão, com a queima de óleo combustível pesado, e que pode ser minimizada com o pré-aquecimento do ar de combustão e reduzindo a relação ar-combustível.

A Figura 19 representa, em porcentagem, o fluxo energético nas caldeiras analisadas para uma câmara de combustão adiabática:

Figura 19: Diagrama de Sankey das caldeiras



Fonte: Autor, 2016.

Dentre os problemas detectados no sistema de geração de vapor está o uso de óleo combustível. A queima deste tipo de combustível traz sérios problemas ambientais. Quando queimado produz enxofre, uma substância tóxica, corrosiva e poluente. Na combustão, o enxofre ao combinar com o oxigênio do ar, produz anidrido sulfuroso (SO_2). Esse composto sofre oxidação e forma o SO_3 , devido ao excesso de ar e em presença de catalisadores provenientes do combustível (óxido de vanádio, por exemplo) ou das próprias paredes metálicas da instalação de queima (óxido de ferro) que por sua vez reage com o vapor de água, formado durante a combustão, dando origem ao ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este composto na sua forma de vapor vai condensar-se a partir de sua temperatura de orvalho gerando fenômenos de corrosão a baixa temperatura (PNAEE, 2010).

Por isso, é importante que a temperatura dos gases de exaustão se mantenha acima da temperatura do ponto de orvalho para evitar condensação da água e formação de água acidulada na instalação e na chaminé. A substituição deste combustível por gás natural possibilita a recuperação de calor dos gases de exaustão para pré-aquecer o ar e melhora a eficiência da combustão.

Outro problema são as falhas de controle da operação e manutenção preventiva. Há um controle diário das operações das caldeiras, realização de teste diário de segurança, registros de alguns parâmetros como tratamento de água, purga, anomalias, avarias, intervenções, manutenções, mas estes valores não são tratados de modo a obter valores de eficiência relevante e nem monitorados diariamente. A manutenção preventiva não existe, somente a corretiva.

A manutenção preventiva não realizada periodicamente compromete a eficiência na transferência de calor do trocador de calor. Isso ocorre devido a formação de fuligem e por

depósitos de calcário através da não adequação do tratamento da água de alimentação. A fuligem é evitada através da regulagem da combustão e o depósito de calcário através de purgas de superfície e de fundo ao gerador. Raramente é realizada a abertura dos geradores para inspeção no interior e limpeza dos tubos, reparação de fugas, teste de combustão, controle das emissões de gases de exaustão e controle de temperatura.

A temperatura dos gases de chaminé é um importante indicador de eficiência das caldeiras. A diferença entre a temperatura do vapor e a dos gases não deve ultrapassar mais de 40-50°C, acima desses valores provavelmente terá sido provocado pela existência de sujeira nas superfícies de aquecimento da caldeira o que gera um aumento no consumo de combustível (PNAEE, 2010). O monitoramento da temperatura na saída da chaminé otimiza as operações de manutenção, uma vez que as atividades de limpeza realizadas com muita frequência apresentam um elevado custo e, se raramente realizadas, traduzir-se em eficiência térmica baixa das caldeiras. Realizada a limpeza deve se ater para o controle do ar de combustão, uma vez que a temperatura dos gases aumenta com a diminuição do teor de CO_2 (ou aumento da formação de monóxido de carbono) provocada por queima de combustível em excesso (PNAEE, 2010).

5.2.3.2 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética na Geração de Vapor

Para elevar a eficiência do sistema de geração de vapor propõem-se a substituição das duas caldeiras por caldeiras novas. Essa proposta é devido ao sistema de geração de vapor ser datada de 1986, obsoleta e com sérios problemas de operação. A seguir, é analisado a viabilidade econômica da substituição das caldeiras atuais por caldeiras novas de mesma capacidade. Pretende-se estimar o tempo de retorno do investimento em caldeiras a gás natural e comparar os benefícios da queima deste combustível em relação aos produtos da combustão do óleo combustível.

Para a análise foram consideradas caldeiras comercialmente disponível no mercado com um rendimento (η_{CN}) estimado de 90%. O consumo de gás natural (\dot{m}_{GN}) necessário para acionar as caldeiras novas, mantendo as mesmas condições termodinâmicas (pressão e temperatura do vapor) é calculada pela equação (3):

$$\eta_{CN} = \frac{\dot{m}_v \cdot (h_v - h_a)}{\dot{m}_{GN} \cdot PCI} \quad (3)$$

o PCI do gás natural é 9065 kcal/Nm³ (ALLBORG INDUSTRIES, 2015).

O custo anual com óleo combustível (C_O) e com gás natural (C_{GN}) é obtido através da equação (4):

$$C_{O(GN)} = \dot{m}_{O(GN)} * P_{O(GN)} \quad (4)$$

O preço do óleo combustível (P_O) pago pela cooperativa é de R\$ 1,75 o litro, com massa específica de 0,97 kg/litro, e o preço do gás natural (P_{GN}) para o segmento gás natural para fins de gás natural comprimido (acrescido de ICMS) é R\$ 165,57/mês (Fixo) e R\$ 2,084375/m³ (Variável) (COMGÁS, 2015). O abastecimento de gás será realizado por cilindros de gás natural comprimido por não haver tubulação a gás até a cooperativa. As caldeiras ATA-14 e ATA- 8 operam 400 horas/mês e 100 horas/ mês, respectivamente. A Tabela 14 mostra o custo com combustível por equipamento e o preço estimado, fornecido por fabricante consultado:

Tabela 14: Custo com combustível para cada equipamento

Descrição	Investimento	Custo mensal com combustível
Caldeira MiniM3P (1000 kg/h - vapor)	R\$ 140.000,00	Gás Natural R\$ 12.716,37
Caldeira MiniM3P (2000 kg/h - vapor)	R\$ 230.000,00	Gás Natural R\$ 100.572,00
Caldeira Antiga (1000 kg/h - vapor)	—	Óleo BPF 1-A R\$ 13.530,93
Caldeira Antiga (2000 kg/h - vapor)	—	Óleo BPF 1-A R\$ 108.247,42

Comparando-se as despesas com o combustível entre a condição atual e a proposta tem-se uma economia mensal de R\$ 8.489,98, calculado pela diferença entre os custos com óleo combustível e os custos com o consumo de gás natural pelas caldeiras novas. O tempo de retorno do investimento, calculado pelo método de tempo de recuperação de capital (*payback*), relação entre o valor do investimento pela economia gerada, é de 43,6 meses, ou seja, em torno de 3 anos e 6 meses.

Além da redução do custo com combustível tem-se uma redução de 100% nas emissões de compostos de enxofre para o meio ambiente, dado que as caldeiras atuais não possuem

lavador de gases e nem controle ambiental das suas emissões e que as caldeiras novas queimaram gás natural como combustível principal. Numa situação em que há falta de gás natural, as caldeiras novas podem operar com diesel; assim as caldeiras não são dependentes de um único combustível e evita comprometer a produtividade da cooperativa. As caldeiras atuais apresentam idade superior a 25 anos, com sua eficiência comprometida pelo desgaste natural, apresenta paradas por períodos prolongados, chega a ficar 1 mês sem operar, sobrecarregando uma das caldeiras e gerando aumento no custo operacional e de manutenção.

A eficiência do sistema também foi avaliada através do custo geração de vapor (R\$/tonelada) que depende do tipo de combustível, do preço do combustível, da eficiência da caldeira, da temperatura da água de alimentação e da pressão do vapor. Fornece uma aproximação razoável para o custo de geração de vapor e serve como indicador para monitorar o desempenho das caldeiras (NOGUEIRA; ROCHA; NOGUEIRA, 2005). Este indicador é dado pela equação (5):

$$\text{Custo do vapor} = \frac{C_c * (h_v - h_a)}{PCI_c * \eta_{cald.}} \quad (5)$$

O custo do vapor do sistema atual é R\$ 8,64/t e o custo estimado de produção de vapor pelo sistema proposto é de R\$5,84/t de vapor saturado produzido, uma redução de 32,32%. Se considerar a eficiência do sistema proposto como sendo igual a eficiência das caldeiras atuais (67,35%) o custo do vapor produzido, pelas caldeiras novas, passa a ser R\$ 7,81/t, ainda é menor do que o custo atual.

Além da substituição das caldeiras é importante a adoção de boas práticas de eficiência energética para manter a eficiência indicado pelo fabricante. Por isso, é importante que neste nível da metodologia os operadores do sistema de geração de vapor recebam treinamento para alterar hábitos operacionais, realizar o monitoramento e avaliar a necessidade de medidas preventivas e corretivas. Entre as medidas destacam-se:

- o monitoramento da temperatura dos gases de exaustão do novo conjunto de caldeiras para evitar o consumo desnecessário de combustível. Assim é possível estabelecer uma rotina de manutenção preventiva tendo como indicador a temperatura de chaminé;
- aumentar a temperatura da água de alimentação e do ar de combustão através de economizadores para a água ou pré-aquecedores para o ar de combustão: recuperar o calor disponível nos gases de exaustão;

- aperfeiçoar o tratamento da água de alimentação, pois permite reduzir as descargas e com isso reduzir as perdas de energia;
- consertar os vazamentos de vapor na linha de distribuição;
- assegurar que as tubulações, válvulas e conexões estejam bem isoladas, isso reduz perdas de energia da tubulação e dos equipamentos, e
- controlar o funcionamento das caldeiras de forma que elas não operem abaixo de 50% da sua capacidade nominal.

5.2.4 Sistema de Refrigeração

O Sistema de Refrigeração por Compressão (SRC) é responsável por fornecer água gelada a 1°C para a pasteurização, processos e câmaras frias. Esta instalação possui:

- 02 bancos de gelo de 35.000 litros, responsáveis por fornecer 30 m³/h água gelada para resfriar o leite que chega no laticínio e para o processo de pasteurização.
- 01 banco de gelo de 35.000 litros, responsável por fornecer uma vazão de 12 m³/h de água gelada aos tanques de processos de derivados lácteos;

Para operar estes equipamentos têm-se:

- 01 compressor marca Sabroe modelo SMC 6-100, motor de 60 cv e capacidade geração de 125.000 kcal/h;
- 01 compressor marca Sabroe modelo SMC 104-L, motor de 60 cv e capacidade geração de 85.000 kcal/h;
- 01 compressor marca Sabroe modelo SMC 4-100, motor de 50 cv e capacidade geração de 112.000 kcal/h;
- 02 bombas, ligadas em paralelo, que distribuem água gelada para os processos.
- 03 agitadores responsáveis pela circulação da água nos tanques de gelo.

A potência e as horas de operação dos equipamentos que compõem o sistema estão apresentados na Tabela 15:

Tabela 15: Equipamentos que compõem o SRC

Equipamentos	Potência [cv]	Horas de Operação [h/mês]
Motor - Compressor (Sabroe 4100)	50	70
Motor - Compressor (Sabroe 104)	60	500
Motor - Compressor (Sabroe 6100)	60	600
Agitador - Tanque de Água Gelada	4	600
Agitador - Tanque de Água Gelada	4	600
Agitador - Tanque de Água Gelada	4	600
Bomba - Água para os Processos	7,5	600
Bomba - Água para os Processos	7,5	500

Toda a demanda de eletricidade é suprida pela rede de distribuição de energia elétrica local. Os processos de fabricação de leite e seus derivados não ocorrem simultaneamente, havendo variação de carga térmica.

Para a produção de água gelada, utilizam-se bancos de gelo: uma serpentina com amônia evaporando a -10°C imersa em um tanque de água. O banco de gelo permite a termoacumulação de gelo em torno da serpentina. Esse sistema visa garantir o fluxo de água a 1°C a ser disponibilizado para fábrica.

Não há inversores de frequência nos compressores. A modulação dos três compressores é feita manualmente. O controle de capacidade é feito pelo operador de modo que o compressor é acionado ou desligado conforme a necessidade de frio. Essa necessidade é avaliada de acordo com a formação de gelo em torno da tubulação do evaporador. O operador sobe no tanque de gelo e com um tubo de PVC (policloreto de vinil) de 1 polegada de diâmetro coloca entre uma serpentina e outra de forma que a distância entre os gelos não pode ser maior que uma polegada para não comprometer a troca de calor. Se for menor, a água gelada está sendo muito requisitada nos processos produtivos da fábrica e há necessidade de manter os compressores ligados para manter a água gelada na temperatura desejada.

No condensador evaporativo a circulação de ar é feita por tiragem mecânica induzida, no qual os ventiladores são posicionados na saída de ar e funcionam como exaustores. Não há inversores de frequência nos exaustores. Eles são modulados conforme a pressão de descarga que deve estar entre 10 a 12 bar. Os exaustores são acionados conforme a pressão de condensação. O primeiro exaustor entra em operação quando a pressão atinge 10,4 bar. Assim

para pressões 10,8 bar, 11,2 bar e 11,8 bar os outros três exaustores são acionados sucessivamente.

Para refrigerar a água há 3 evaporadores (tanque de gelo). Desses três, dois resfriam água para ser utilizados na pasteurização e resfriamento do leite, e o outro para atender a produção e refrigeração de derivados lácteos.

O sistema de produção de água gelada opera na sua capacidade máxima. Quando há vazamento de amônia ou falha em um dos equipamentos do sistema parte do processo fabril, dependente de água gelada, fica comprometida havendo necessidade de suspender o processo, comprometendo a eficiência na produção. O sistema ocupa muito espaço dificultando a expansão dos processos produtivos. É realizada somente manutenção corretiva, não é realizada periodicamente limpeza nos filtros da bomba de recirculação de água, limpeza na tubulação do trocador de calor, dos bicos aspersores do condensador. A purga de óleo do evaporador é realizada manualmente quando se detecta formação de gelo de forma irregular sobre a serpentina do evaporador.

O coeficiente de performance do ciclo de compressão de vapor (COP), é definido pela equação (6):

$$COP = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{W}_C} = \frac{Q_{ref}}{\dot{W}_C} \quad (6)$$

é a relação entre a capacidade frigorífica do evaporador pela potência elétrica fornecida ao compressor. O aumento do COP depende da diminuição do trabalho de compressão para uma mesma capacidade de refrigeração. Isso é possível com a elevação da temperatura de evaporação (ou pressão de sucção) e/ou a diminuição da temperatura de condensação (ou pressão de descarga) (VENTURINI; PIRANI, 2005).

Os requisitos mínimos de eficiência em função da capacidade para resfriadores de água com compressores parafuso com condensação a água são (VENTURINI; PIRANI, 2005):

- COP = 3,8 para sistemas com capacidade de refrigeração menor que 150 TR;
- COP = 4,2 para capacidade frigorífica entre 150 TR e 300TR;
- COP = 5,2 para capacidade superior a 300 TR

A temperatura da água de retorno do tanque que abastece os processos de derivados lácteos é aproximadamente 20°C, e a variação da temperatura da água no evaporador é de 2°C. A potência total de compressão do sistema em estudo é 51.152 kWh/mês tem uma capacidade de refrigeração de 159.272,85 kWh/mês. O coeficiente de performance do sistema é:

$$COP = 3,11$$

valor de COP abaixo do valor mínimo indicado que é de 3,8. Para melhorar o desempenho energético do sistema e eliminar as perdas é proposto a substituição parcial do sistema atual por um chiller elétrico.

5.2.4.1 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética do Sistema de Refrigeração

Em vista das condições operacionais do sistema de refrigeração por compressão de vapor do laticínio, propõem-se a substituição parcial do banco de gelo por chiller elétrico.

O sistema de compressão de vapor atual é composto por 3 compressores, dois de 60cv que operam em média 600 horas/mês e 500 horas/mês e um de 50cv que funciona cerca de 70 horas/mês. Juntos atendem à demanda de 72 m³/h de água gelada da cooperativa. Os bancos de gelo (evaporadores) são antigos, com tubulações que apresentam vazamentos constantemente. O consumo de energia elétrica do sistema de refrigeração atual foi calculado pelas equações (7), (8) e (9):

$$EE_B = \dot{W}_B \times FC \times H \quad (7)$$

$$EE_A = \dot{W}_A \times FC \times H \quad (8)$$

$$EE_C = \dot{W}_C \times FC \times H \quad (9)$$

em que:

EE_C , EE_A e EE_B : energia elétrica consumida pelo compressor, agitador e bomba, respectivamente, em kWh/mês;

\dot{W}_C , \dot{W}_A e \dot{W}_B : potência do compressor, agitador e da bomba, em cv;

FC : fator de conversão (1 cv = 736 W), e

H : horas de operação, em horas/mês.

A Tabela 16 apresenta a somatória do consumo de energia elétrica pelo conjunto de compressores, agitadores e pelas bombas:

Tabela 16: Consumo de energia elétrica do sistema atual

Descrição	Consumo de eletricidade (compressores)	Consumo de eletricidade (agitadores)	Consumo de eletricidade (bombas)
03 Banco de Gelo	51.152 kWh/mês	7.065,6 kWh/mês	6.072 kWh/mês

Para melhorar o desempenho energético do SRC, o sistema proposto é composto por 01 chiller elétrico com capacidade de 82 m³/h com compressor de 150 cv, bomba de 5 cv, operando 196 horas/mês e a manutenção de 01 banco de gelo (evaporador) com capacidade de 30 m³/h, agitador de água (para circulação de água dentro do banco de gelo) de 4 cv, compressor de 60 cv e 01 bomba de 7,5 cv operando 600 horas/mês.

O chiller elétrico atenderá a demanda de água gelada do setor de pasteurização e resfriamento do leite *in natura*, com horas de operação, em média, de 8 horas/dia, de segunda a sábado. O tanque de gelo fornecerá água gelada a câmara fria e para processos de derivados lácteos. Para a análise foi considerado chiller comercialmente disponível no mercado, com um preço estimado de R\$ 554.000,00 fornecido pelo fabricante consultado. A Tabela 17 mostra a proposta para melhorar a eficiência do sistema de refrigeração do laticínio:

Tabela 17: Consumo de energia elétrica do sistema proposto

Descrição	Capacidade Frigorífica	Horas de Operação	Investimento	Consumo de Eletricidade (Compressores)	Consumo de Eletricidade (Agitadores)	Consumo de Eletricidade (Bombas)
01 Banco de Gelo - Compressor 60 cv	125 000 kcal/h	20 horas/dia	—	26.496 kWh/mês	1.766,4 kWh/mês	3.312 kWh/mês
01 Chiller Elétrico - Compressor 150 cv	411.000 kcal/h	8 horas/dia	R\$ 554.000,00	21.197 kWh/mês	—	706,56 kWh/mês

O chiller elétrico tem capacidade de refrigerar 82 m³/h de água a 1°C, acima da capacidade de refrigeração do sistema atual que é de 72 m³/h. Assim, o chiller é capaz de atender a demanda total da cooperativa, quando for necessário fazer a manutenção do banco de gelo e aumentar a produtividade da instalação. O motor do compressor do chiller é conectado a um inversor de frequência para que não opere abaixo de 75% do seu carregamento. O sistema novo será mantido desligado no horário de pico (18 as 21 horas), assim como é feito pelo sistema atual. O cálculo da potência consumida foi baseado somente no consumo de energia

elétrica pelo compressor, não foi considerado o consumo de eletricidade do condensador evaporativo, uma vez que não haverá sua substituição e nem das bombas do sistema de bombeamento de água gelada dos tanques para os processos.

Com a tarifa média de energia elétrica de 0,37 R\$/kWh, a economia obtida será de 4.000,38 R\$/mês que equivale a uma economia 10.811,8 kWh/mês. O investimento médio é de R\$ 554.000,00, apresentado um tempo de retorno esperado de 11,54 anos.

Também é necessário adotar medidas de boas práticas para manter a eficiência no novo sistema:

- verificar a presença de gases incondensáveis em condensadores evaporativos. O ar é um isolante térmico, implica no aumento da pressão no condensador e dificulta a condensação. Isso também contribui para o aumento do trabalho no compressor passando a operar com uma pressão de descarga maior;
- manter rotinas de manutenção preventiva e limpeza dos trocadores de calor para não comprometer a eficiência na troca térmica, e
- controlar a temperatura de evaporação para que o sistema opere com a temperatura de projeto.

5.2.5 Sistema de Iluminação

Para a análise do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação do laticínio foi realizado um levantamento da quantidade e tipo de lâmpadas em cada recinto da fábrica, bem como das características do local, através do levantamento dos dados:

- características e quantidade de lâmpadas utilizadas no laticínio;
- tempo e período que permanecem ligadas;
- hábitos de uso;
- características do ambiente;
- rotinas de limpeza em janelas e luminárias, e
- nível de detalhamento das atividades realizadas no local.

No laticínio aproximadamente 81% das lâmpadas existentes são do tipo fluorescente tubular sendo os outros 19% composto por lâmpadas tipo econômica como mostrado nas Tabelas 18 e 19:

Tabela 18: Quantidade e tipo de lâmpadas nos setores de produção

Descrição	Potência [W]	Qtde	Tempo de utilização [h/dia]
Sala - Caldeira			
Tubular Fluorescente	40	6	12
Reator	8	12	12
Sala - Tanque de Gelo			
Tubular Fluorescente	40	10	12
Reator	8	20	12
Sala - Lavagem de caixas			
Tubular Fluorescente	40	6	9
Reator	8	12	9
Recepção de leite			
Tubular Fluorescente	40	8	5
Reator	8	16	5
Beneficiamento do leite			
Tubulars Fluorescente	40	10	5
Reator	8	20	5
Sala - Envase leite B			
Tubular Fluorescente	40	2	9
Reator	8	4	9
Fluorescente compacta	105	3	9
Sala - Produção de Queijo			
Tubular Fluorescente	40	6	9
Reator	8	12	9
Sala - Produção de Manteiga			
Tubular Fluorescente	40	6	9
Reator	8	12	9
Econômica	85	1	9
Sala - Tanque de estocagem leite pasteurizado			
Tubular Fluorescente	40	10	9
Reator	8	20	9
Sala - Envase de leite C			
Tubular Fluorescente	40	8	9
Reator	8	16	9
Sala - Empacotamento			
Tubular Fluorescente	40	44	9
Reator	8	88	9
Corredor da sala de derivados			
Tubular Fluorescente	40	8	12
Reator	8	16	12
Sala - Bebida láctea			
Tubular Fluorescente	40	20	9
Reator	8	40	9
Câmara Fria			
Econômica	13	14	5

Tabela 19: Quantidade e tipo de lâmpadas nos setores administrativos

Descrição	Potência [W]	Qtde	Tempo de utilização [h/dia]
Oficina Mecânica			
Tubular Fluorescente	40	10	8
Reator	8	20	8
Oficina Elétrica			
Tubular Fluorescente	40	10	8
Reator	8	20	8
Laboratório			
Tubular Fluorescente	40	18	9
Reator	8	36	9
Escritório - Recepção/Administração			
Tubular Fluorescente	40	38	9
Reator	8	76	9
Escritório - Tesouraria			
Tubular Fluorescente	40	4	9
Reator	8	8	9
Escritório - Auditório			
Lâmpada fluorescente compacta	11	9	—
Escritório - Corredor			
Lâmpada fluorescente compacta	11	19	9
Escritório - Diretoria			
Tubular Fluorescente	40	6	5
Reator	8	12	5
Econômica	25	6	5
Escritório - Sala de reunião			
Econômica	34	8	—
Escritório - Recursos Humanos/Suporte Administrativo			
Tubular Fluorescente	40	36	9
Reator	8	72	9
Veterinária			
Tubular Fluorescente	40	8	9
Reator	8	16	9
Almoxarifado			
Tubular Fluorescente	40	10	9
Reator	8	20	9
Depósito de ração			
Econômica	45	2	5
Vapor metálico	150	2	5
Loja			
Tubular Fluorescente	40	22	9
Reator	8	44	9
Refeitório			
Tubular Fluorescente	40	24	12
Reator	8	42	12
Banheiros			
Tubular Fluorescente	40	8	9
Reator	8	16	9

As luminárias existentes (comumente chamada de calhas) são do tipo embutidas ou sobreposta com refletor pintado de branco e difusor plano. São equipadas com lâmpadas tubulares fluorescentes com diâmetro de 33,5 mm (T10) e cor neutra (5000K) com reator eletromagnético, base G13, em toda a área produtiva do laticínio.

5.2.5.1 Proposta para Aumentar a Eficiência Energética do Sistema de Iluminação

Para melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação e reduzir o consumo de eletricidade, foi proposto um sistema de iluminação do tipo retrofit sem que seja necessário refazer as instalações elétrica já existentes. Serão substituídas as lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas mais eficientes, comercialmente disponível no mercado e que sejam equivalente nas dimensões para que possam ser reaproveitadas as luminárias. As escolhas das lâmpadas foram feitas em função:

- eficiência;
- vida útil, e
- tipo de atividade desenvolvida no ambiente.

A seleção de lâmpadas mais eficientes que as lâmpadas atuais, foi realizada através da seleção nos catálogos de fabricantes de lâmpadas e, dentre as possíveis, foi selecionada a lâmpada tubular LED. As lâmpadas com tecnologia LED, do inglês *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz), possuem um semicondutor que emite luz quando atravessado por uma corrente elétrica, e sua cor varia dentro do espectro de cores. Apresentam maior vida útil, maior eficiência e não utiliza mercúrio nem materiais pesados para emissão de luz comparado as lâmpadas fluorescentes.

Apesar da praticidade, durabilidade e economia que as lâmpadas fluorescentes apresentam, no seu interior há um componente perigoso a saúde, o mercúrio, um metal pesado e tóxico. O mercúrio, quando lançado no ambiente, pode contaminar solo, lagos e rios. O mercado brasileiro consome cerca de 290 milhões de lâmpadas fluorescentes (tubulares e compactas) e cerca de 5% são encaminhadas corretamente para a reciclagem (CASEMIRO; XAVIER; BITTENCOURT, 2014). Embora o percentual de mercúrio em uma única lâmpada pode ser considerado como quase nulo, o programa de banimento da utilização de lâmpadas incandescente e sua substituição pelas fluorescente, incentivada pela regulamentação da Lei de Eficiência Energética através da Portaria Interministerial nº 1.007 por serem mais eficiente do

ponto de vista energético, vem aumentando o consumo dessa tecnologia (BACILA; FISCHER; KOLICHESKI, 2014).

As lâmpadas tubulares fluorescentes serão substituídas por lâmpadas tubulares LED, base G13, potência 16W, selecionada com base na tabela de equivalência disponibilizada pelo fabricante. As Tabelas 20 e 21 apresentam o consumo de eletricidade por cada tipo de lâmpada e a economia obtida com a substituição das atuais por modelos mais eficientes, mantendo a iluminância necessária para o local das atividades. As luminárias não afetam a distribuição luminosa da lâmpada LED, mantendo semelhante o nível de iluminância no ambiente:

Tabela 20: Comparação entre os sistemas atual e o proposto

Descrição	Potência total* [kW]	Qtde	Horas de utilização [h/dia]	Dias/mês	Consumo de eletricidade [kWh/mês]
Sala - Caldeira					
Tubulares Florescente	0,336	6	12	30	120,96
Tubulares Led	0,24	6	12	30	86,4
Sala - Tanque de Gelo					
Tubulares Florescente	0,56	10	12	30	201,6
Tubulares Led	0,16	10	12	30	57,6
Sala - Lavagem de caixas					
Tubulares Florescente	0,336	6	9	24	72,576
Tubulares Led	0,096	6	9	24	20,736
Recepção de leite					
Tubulares Florescente	0,448	8	9	24	96,768
Tubulares Led	0,128	8	9	24	27,648
Beneficiamento do leite					
Tubulares Florescente	0,56	10	5	24	67,2
Tubulares Led	0,16	10	5	24	19,2
Sala - Envase leite B					
Tubulares Florescente	0,112	2	9	24	24,192
Tubulares Led	0,032	2	9	24	6,912
Sala - Produção de Queijo					
Tubulares Florescente	0,336	6	9	24	72,576
Tubulares Led	0,096	6	9	24	20,736
Sala - Produção de Manteiga					
Tubulares Florescente	0,336	6	9	24	72,576
Tubulares Led	0,096	6	9	24	20,736
Sala - Tanque de estocagem leite pasteurizado					
Tubulares Florescente	0,56	10	9	24	120,96
Tubulares Led	0,16	10	9	24	34,56
Sala - Envase de leite C					
Tubulares Florescente	0,448	8	9	24	96,768
Tubulares Led	0,128	8	9	24	27,648
Sala - Empacotamento					
Tubulares Florescente	2,464	44	9	24	532,224
Tubulares Led	0,704	44	9	24	152,064
Corredor da sala de derivados					
Tubulares Florescente	0,448	8	9	20	80,64
Tubulares Led	0,128	8	9	20	23,04
Sala - Bebida láctea					
Tubulares Florescente	1,12	20	9	24	241,92
Tubulares Led	0,32	20	9	24	69,12
* Potência da lâmpada + reator					
Consumo Atual [kWh/mês]					1.800,96
Consumo Previsto [kWh/mês]					566,40
Economia [R\$/mês]					456,79

Tabela 21: Comparação entre os sistemas atual e o proposto

Descrição	Potência total* [kW]	Qtde	Horas de utilização [h/dia]	Dias/mês	Consumo de eletricidade [kWh/mês]
Oficina Mecânica					
Tubulares Florescente	0,56	10	8	24	107,52
Tubulares Led	0,16	10	8	24	30,72
Oficina Elétrica					
Tubulares Florescente	0,56	10	8	24	107,52
Tubulares Led	0,16	10	8	24	30,72
Laboratório					
Tubulares Florescente	1,008	18	9	24	217,728
Tubulares Led	0,288	18	9	24	62,208
Escritório - Recepção/Administração					
Tubulares Florescente	2,128	38	9	20	383,04
Tubulares Led	0,608	38	9	20	109,44
Escritório - Tesouraria					
Tubulares Florescente	0,224	4	9	20	40,32
Tubulares Led	0,064	4	9	20	11,52
Escritório - Diretoria					
Tubulares Florescente	0,336	6	5	20	33,6
Tubulares Led	0,096	6	5	20	9,6
Escritório - Recursos Humanos/Suporte Administrativo					
Tubulares Florescente	2,016	36	9	20	362,88
Tubulares Led	0,576	36	9	20	5,184
Veterinária					
Tubulares Florescente	0,448	8	9	20	80,64
Tubulares Led	0,128	8	9	20	23,04
Almoxarifado					
Tubulares Florescente	0,56	10	9	20	100,8
Tubulares Led	0,16	10	9	20	28,8
Loja					
Tubulares Florescente	1,232	22	9	20	221,76
Tubulares Led	0,352	22	9	20	63,36
Refeitório					
Tubulares Florescente	1,344	24	12	24	387,072
Tubulares Led	0,384	24	12	24	110,592
Banheiros					
Tubulares Florescente	0,448	8	10	24	107,52
Tubulares Led	0,128	8	10	24	30,72
* Potência da Lâmpada + Reator					
Consumo Atual [kWh/mês]					2.150,40
Consumo Previsto [kWh/mês]					515,90
Economia [R\$/mês]					604,76

A inserção de medidas educativas em eficiência energética como: apagar as luzes ao deixar o local de serviço (caso não haja problemas de segurança as pessoas), manutenção e limpeza de janelas e luminárias, tetos, parede e piso com cores claras, aproveitamento da iluminação natural podem trazer resultados positivos para a redução no consumo de energia elétrica deste setor.

Observa-se uma redução de 2869 kWh/mês com a substituição das lâmpadas tubulares fluorescente pelas lâmpadas tubulares LED. Com um preço médio de mercado de R\$ 100,00 por lâmpada, o retorno de investimento estimado é de 2,65 anos.

5.3 NÍVEL 3: OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

A otimização de processos, que caracteriza o nível 3 da metodologia, visa identificar o caminho que minimiza o consumo de energético nos processos produtivos, seja através do reaproveitamento de calor, cogeração, alteração de processos, etc. Será apresentada uma proposta para atendimento da demanda de água gelada da cooperativa como alternativas de otimização do uso de energéticos.

Como exemplo de otimização no uso de água, uma indústria de laticínio de Minas Gerais, com intuito de reduzir a quantidade de água extraída dos poços artesianos de sua unidade industrial, implantou um sistema de reuso de água retirada do processo de evaporação do leite nas etapas de produção de leite em pó e leite condensado. Nas plantas de secagem de leite e leite condensado, a água é removida, condensada e encaminhada, a temperatura elevada, ao setor de caldeiraria. Além do reaproveitamento de parte da água condensada pelas caldeiras, o restante é reutilizado no próprio processo industrial. Para isso, a empresa conta com uma estação de tratamento de água para remover todas as partículas do leite presente na água. Posteriormente, recebe os tratamentos necessários para torná-la potável e é utilizada na higienização de pisos, tubulações e equipamentos. Além de diminuir a quantidade de água extraída dos poços artesianos, tem-se a redução da quantidade de resíduos que seria encaminhado para a estação de tratamento de efluentes, e conseqüentemente, menor o custo com o tratamento de resíduos (FEAM, 2014).

Tão importante para a otimização de processos na cooperativa é o sistema de cogeração. Um sistema de cogeração projetado para atender a demanda térmica do laticínio se apresenta como uma boa opção na otimização de processos com vistas na redução de custos operacionais, custos com combustível, energia elétrica e redução das emissões de gases de efeito estufa.

A cooperativa faz tratamento anaeróbico dos seus efluentes e como resultado é gerado biogás, combustível lançado na atmosfera. Propõem-se o uso do biogás produzido no laticínio para atender parcialmente a demanda de água gelada e agregar mais melhorias as medidas sugeridas no nível 2 para o sistema de refrigeração. Essa proposta visa otimizar o processo de produção de água gelada – minimizar custos operacionais do sistema de refrigeração por compressão de vapor.

5.3.1 Otimização na Produção de Água Gelada

A utilização do biogás como combustível, para atender a demanda térmica do laticínio, apresenta-se como um excelente energético. O biogás é gerado em um reator anaeróbico da estação de tratamento de efluentes, queimado e lançado na atmosfera. Será apresentado um estudo (pré-dimensionamento) que visa utilizar a queima direta do biogás para acionar um Sistema de Refrigeração por Absorção (SRA) utilizando como fluido de trabalho a amônia para a produção de água gelada. A vazão dos gases oriunda da queima do biogás aciona o SRA para produzir a demanda de 30 m³/h de água gelada a 1°C.

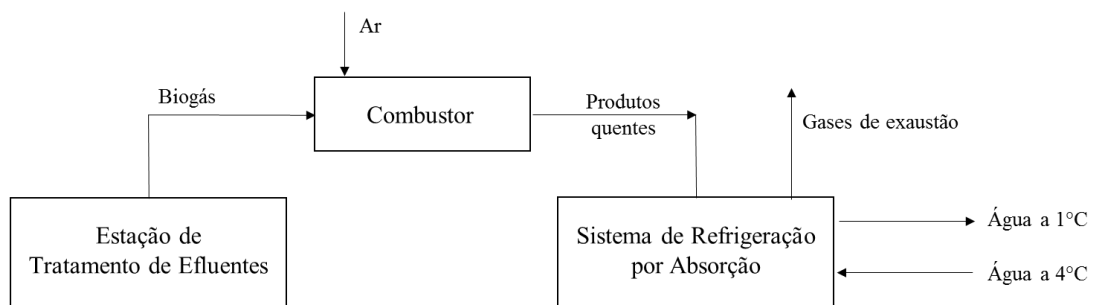
Na cooperativa, a produção média de biogás é de 32 Nm³/h, e considera-se uma composição em base molar de metano (62,5%), nitrogênio (13,4%), monóxido de carbono (5%), dióxido de carbono (2,4%), ácido sulfúrico (14,1%), vapor de água (2,4%). E Poder Calorífico Inferior de 22.475,80 kJ/Nm³ (VILLELA, 1998).

O sistema de refrigeração por absorção consiste, basicamente, de um gerador, condensador, evaporador e absorvedor. Os gases oriundos da queima do biogás promovem a dissociação da amônia e esta solução forte é encaminhada ao retificador garantindo que uma pequena fração de água seja deslocada para o gerador. A solução rica em amônia é direcionada ao condensador onde será liquefeita e encaminhada ao evaporador; neste percurso a solução rica em amônia sofre expansão em uma válvula isoentalpica. No evaporador, a solução retira calor do meio, produzindo água gelada, e flui para o absorvedor onde encontra a solução fraca, proveniente da solução não dissociada, se mistura com o vapor de amônia formando uma solução forte em amônia e recomeçando o ciclo.

5.3.1.1 Análise Econômica do Sistema Proposto

O sistema proposto visa atender a demanda de água gelada fornecida pelo banco de gelo que compõem o sistema de refrigeração proposto no item 5.2.4.1 deste trabalho. O banco de gelo fornece 30 m³/h de água gelada aos processos e a câmara fria. A análise técnica de um SRA obedece aos princípios básicos da Termodinâmica. A Figura 20 apresenta a configuração do sistema proposto:

Figura 20: Esquema da instalação do SRA proposto



Fonte: Adaptado de Villela, 1998.

O sistema de refrigeração por absorção apresenta vantagem em relação ao sistema de refrigeração por compressão de vapor (amônia): “o custo operacional no caso da máquina de absorção é relativamente nulo, visto que usará como acionador o biogás (custo térmico pode ser adotado como nulo, pois o calor residual da queima deste subproduto industrial é lançado ao ambiente” (SOUZA et al., 2004, p. 6).

A potência frigorífica (\dot{W}_f) necessária para refrigerar uma vazão de 30 m³/h água (\dot{m}_a) a 1°C queimando biogás é obtida pela equação (10):

$$\dot{W}_f = \dot{m}_a \times c_{p_a} \times (T_{ae} - T_{as}) \quad (10)$$

em que:

c_{p_a} = calor específico da água gelada

T_{ae} = temperatura da água de entrada, e

T_{as} = temperatura da água de saída.

Segundo Villela (1998), foi considerado o coeficiente de performance para a produção de água gelada (simplest estágio) igual a 0,65, o calor específico da água gelada em 4,20226 kJ/kg K, a massa específica do biogás igual a 1 kg/m³, calor específico dos gases de 1,15 kJ/kg K, a vazão mássica de gases da combustão como sendo 21,23 kg ar/kg biogás, a temperatura dos gases de exaustão (T_{ge}) e de escape (T_{gs}) igual a 970°C e 250°C, respectivamente. A vazão de biogás (\dot{m}_b) necessária para acionar o SRA para produção de água gelada é dada pela equação (11):

$$\text{COP} = \frac{\dot{W}_f}{\dot{Q}_g} \quad (11)$$

em que \dot{Q}_g é a energia proveniente dos gases de exaustão dada pela equação (12):

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \times c_{p_g} \times (T_{ge} - T_{gs}) \quad (12)$$

Portanto, a vazão de biogás necessária é de 31,6 m³/h, valor aproximado da vazão média de biogás produzido na cooperativa.

O banco de gelo opera 600 horas /mês e é equipado com um compressor de 60 cv, um agitador de 4 cv e uma bomba de 7,5 cv. O consumo de eletricidade para esse sistema é apresentado na Tabela 22:

Tabela 22: Consumo de energia elétrica do banco de gelo

Descrição	Consumo de eletricidade (compressor)	Consumo de eletricidade (agitador)	Consumo de eletricidade (bomba)
01 Banco de Gelo - Compressor 60 cv	26.496 kWh/mês	1.766,4 kWh/mês	3.312 kWh/mês

A energia elétrica consumida pelo SRA (EE_{SRA}) foi considerada 10% da energia consumida pelo compressor (EE_C) (MENNA, 2008; MÜHLE, 2003). A equação (13) fornece o custo anual com energia elétrica (C_{ee}), em R\$/ano:

$$C_{ee} = EE_{C/SRA} * P_{ee} \quad (13)$$

O SRA, tem a possibilidade de operar o ano inteiro (8760 horas/ano) devido a disponibilidade de combustível. No entanto, nos cálculos foram considerados 600 horas de operação por mês. A Tabela 23 traz as informações do consumo:

Tabela 23: Comparação dos custos de operação entre o SRA e o SRC:

	SRA	SRC
Energia Elétrica Consumida [kWh/mês] =	2.649,60	26.496,00
Custo Anual com Energia Elétrica [R\$/ano] =	11.764,22	117.642,24

Com a instalação de uma máquina de absorção, o consumo mensal de energia elétrica do sistema de produção de água gelada é 20% menor do que o consumo de eletricidade sem o aproveitamento do biogás para atender a demanda parcial de água gelada. Isso equivale a uma economia mensal de 23.846,4 kWh, ou R\$ 8.823,17/mês.

O custo com investimento em sistema de refrigeração por absorção (I_{SRA}), Silveira (1994) refere-se a valores entre 600 a 900 US\$/TR (aproximadamente 170 a 256 US\$/kW) e 700 US\$/TR (aproximadamente 199 US\$/kW). Neste trabalho considerou-se o valor de US\$ 210/kW, que multiplicando pela potência frigorífica (105 kW) tem-se:

$$I_{SRA} = \text{R\$ } 66.150,00$$

Considerando que US\$ 1 equivalente a R\$ 3, o retorno do investimento em uma máquina de absorção é estimado em 7 meses.

5.4 NÍVEL 4: USO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

O nível 4 é o topo da pirâmide de conservação de energia, pirâmide que configura o método proposto neste trabalho para auxiliar na implantação de medidas de eficiência energética. Embora, a falta de compreensão e interpretação errônea dos benefícios e riscos no uso de tecnologias renováveis terem sido identificadas como uma barreira para sua adoção (PAINULY, 2001), o uso de fontes renováveis de energia é o caminho mais sustentável para alcançar a excelência energética.

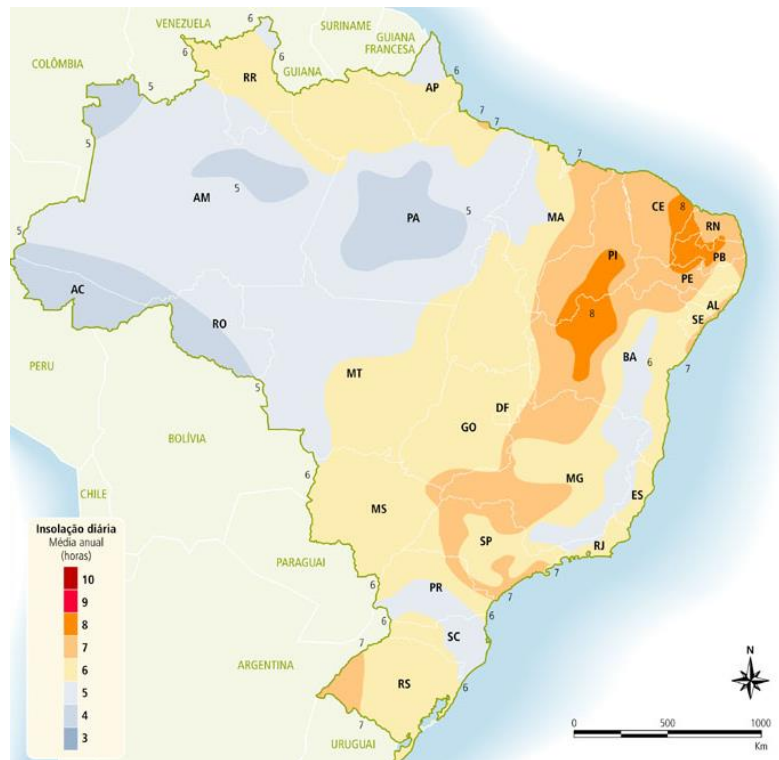
5.4.1 Sistema Fotovoltaico

A proposta para este nível de intervenção é a simulação (pré-dimensionamento) de um sistema de geração de energia solar (off-grid) para atender a demanda parcial de energia elétrica do horário de pico do laticínio. Os sistemas isolados, também conhecidos como autônomos ou off-grid são caracterizados por não se conectarem à rede elétrica. O sistema abastece um banco de baterias que armazenam energia e disponibiliza no período em que não há radiação solar. São compostos por painel solar, controlador, bateria e inversor de frequência.

O painel solar é responsável por capturar a radiação solar e a converter em corrente elétrica contínua que será armazenada nas baterias; um sistema pode ter um ou vários painéis interligados entre si. O controlador, de maneira geral, monitora o sistema de geração fotovoltaica, ajusta a tensão de carregamento entre painéis e o banco de baterias, não permitindo sua sobrecarga e nem que as baterias sejam descarregadas completamente, mantendo a sua vida útil e funcionalidade. As baterias armazenam a energia elétrica para ser utilizadas nos momentos em que não haja a presença de sol e através dos inversores de frequência alimentam as cargas necessárias. Os inversores têm o papel de transformar corrente contínua em alternada e elevar a tensão.

A potência gerada pelo painel solar é em função da insolação. Para calcular a quantidade de energia que pode ser gerada pelo sistema, deve-se determinar o período de insolação do local e o consumo médio de energia elétrica. Foi considerado um tempo médio de insolação de 6 horas com base da Figura 21:

Figura 21: Média anual de insolação diária no Brasil (horas)



Fonte: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm

A cooperativa tem um consumo médio de energia elétrica na ponta de 13 MWh/mês. Isso significa que o sistema deve gerar no mínimo 325 kWh por dia para atender metade da demanda de energia requerida no horário de ponta (18hs às 21hs).

O índice solarimétrico do local do projeto foi obtido com o auxílio do software SUNDATA, desenvolvido pelo CRESESB-CEPEL. É representado pela grandeza kWh/m².dia, ou seja, é a quantidade de potência que incidem em um metro quadrado por dia e corresponde a uma estimativa da média anual do índice de radiação solar local. O software SUNDATA também fornece índices de radiação para o plano horizontal e para os diferentes ângulos da instalação de painéis solares. Para este projeto, com painéis inclinados a 32°N (voltados para a face norte geográfico), o índice solarimétrico é referente ao maior mínimo mensal e equivalente a 4,38 kWh/m².dia.

Com os dados do consumo diário e do índice solarimétrico é possível determinar a capacidade instalada dos painéis e o número de painéis fotovoltaicos necessários. Segundo Marinoski, Salamoni e Rütther (2004) o cálculo da potência a ser instalada (Pcc) pode ser obtida em função do consumo médio de energia, do índice solarimétrico do local do projeto e, ainda, do rendimento das conexões e do sistema inversor, em que o valor pode estar entre 0,7 e 0,9.

Para o estudo em questão, foi adotado como 0,9. Através da aplicação da equação (14) determina-se a potência nominal a ser instalada:

$$P_{cc} = \frac{E_m}{G_{POA} * R} \quad (14)$$

onde:

P_{cc} = Potência média necessária (kW_{pcc});

E_m = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G_{poa} = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m²/dia), e

R = Rendimento do sistema (%).

Desta forma, para um rendimento de 90% (valor que depende do modelo de inversor de corrente) seria necessária uma geração solar de 82,45 kW para atender parcialmente as necessidades diárias. O sistema de geração de energia solar foi dimensionado para atender metade demanda de carga do horário de pico devido à restrição de espaço para instalação de painéis solares que é em torno de 600 m².

5.4.1.1 Análise Econômica do Sistema Fotovoltaico

Em sistemas off-grid é indispensável um banco de baterias para armazenar a energia produzida e não consumida em períodos de excesso de insolação. É um dos componentes mais caros pelo fato das baterias apresentarem vida útil inferior aos demais componentes do sistema (IMHOFF, 2007). Segundo IEA⁹ (2002 apud IMHOFF, 2007) os custos iniciais envolvidos em um sistema de fotovoltaico são: 65% relacionados aos painéis fotovoltaicos, 13% refere-se as baterias, 5% ao controlador de carga e 17% estão relacionados a outros custos.

Com base na distribuição dos custos associado a cada equipamento, foi realizada a viabilidade do projeto. Para isso, foi selecionado no mercado um painel solar fotovoltaico de silício cristalino, potência de 210 W, 1,49 m² de área e 14% de eficiência por painel, cujo preço, em média, é de R\$ 2.400,00.

⁹IEA - International Energy Agency, Management of Storage Batteries used in Stand-Alone Photovoltaic Power Systems – Report_IEA_PVPS_T3-10:2002 apud

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2007.

Desta forma, o resultado da análise econômica do sistema proposto é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Resultado da análise do sistema proposto para o Nível 5

Capacidade Instalada [kW]=	82,45
Número de Painéis =	393
Área das Placas [m ²] =	585
Investimento em Painéis [R\$] =	942.233,82
Investimento em Baterias [R\$] =	188.446,76
Investimento em Controlador de Cargas [R\$] =	72.479,52
Outros Custos [R\$] =	246.430,38
Investimento Total [R\$] =	1.449.590,49
Economia [R\$/mês] =	5.305,89
Economia [R\$/ano] =	63.670,62
Pay-back [anos] =	22,77

O sistema fotovoltaico tem uma economia de R\$ 63.670,62 por ano e um período de retorno de 22,77 anos.

5.5 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CARBONO EQUIVALENTE

As preocupações com o meio ambiente vêm sendo discutidas ao longo dos anos e cientistas vem alertando sobre a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Em 1997, foi criado o Protocolo de Kyoto primeiro tratado internacional para redução das emissões de gases de efeito estufa, durante a Conferência de Kyoto no Japão. Este documento sugeriu a redução de 5,2% desses gases, em relação aos níveis de 1990, entre os anos de 2008 e 2012, alertou a população mundial para os problemas das mudanças climáticas e estimulou o uso de fontes de energia limpa (eólica e solar). Para viabilizar o cumprimento dos limites estabelecidos no protocolo surgiu o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que estabelecem projetos que contribuem para a redução e captura e emissões de gases-estufas estabelecendo os chamados créditos de carbono. Na Conferência das Partes (COP-18) em Doha, no Qatar, foi prorrogado o Protocolo de Kyoto até 2020.

As medidas de eficiência energética apresentam ganhos ambientais entre eles está a quantidade de emissões de gases de efeito estufa, particularmente o gás carbônico, que deixa de ser emitido, direta ou indiretamente, com a adoção destas medidas. As medidas de efficientização projetadas neste trabalho apresenta um potencial de redução de emissão de carbono equivalente. O fator de emissão utilizado para os cálculos de emissão de dióxido de carbono foi obtido pelo site Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia; foi considerado, para efeitos de cálculo, a média do fator médio anual entre os anos de 2006 a 2014, indicando o valor médio de 0,05687 tCO₂/MWh representa a produção média a cada 1MWh na geração de eletricidade em uma usina hidrelétrica (BRASIL, 2015).

Desta forma, pode-se calcular a quantidade de CO₂ equivalente, ou seja, a quantidade de CO₂ que a cooperativa deixará de emitir na atmosfera a partir das ações de eficiência energética sugeridas. A Tabela 25 indica o resumo geral de todas as oportunidades de efficientização energética identificadas, apresentando os valores totais de economia de energia em kWh/mês com a implementação das medidas de redução de consumo e das novas tecnologias com vistas a serem implementadas.

Tabela 25: Resumo das oportunidades de efficientização energética identificadas na cooperativa

Sistema	Consumo Atual [kWh/mês]	Consumo Proposto [kWh/mês]	Economia [kWh/mês]	Investimento [R\$]
* Sistema de Geração de Vapor	765.435,90	571.355,60	194.080,40	370.000,00
Sistema de Refrigeração	64.289,60	24.553,16	39.736,44	620.150,00
Sistema de Iluminação	3.951	1.082	2.869	33.800
Uso de Fontes Renováveis	13.000	6.500	6.500	1.449.590,49

* kWh/mês de combustível

No caso do sistema de geração de vapor, o percentual de CO₂ economizado é em função da quantidade que deixa de ser lançado na atmosfera ao substituir o combustível. O cálculo do fator de emissão de CO₂ por queima de combustível fóssil consumido foi calculado com base no poder calorífico dos combustíveis e em fatores de emissão por unidade de energia, conforme o estudo publicado pela empresa Recycle Carbono (www.recyclecarbono.com.br/biblio/calculoco2.pdf) e dada pela equação (15):

$$FC_C = CE_C * FE_C * OX_C * 44/12 \quad (15)$$

em que:

FC_C = fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível [tCO₂/unidade combustível];

CE_C = conteúdo de energia por unidade de combustível [TJ/1000t];

FE_C = fatores de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível [tC/TJ], e

OX_C = fator de oxidação;

Para o óleo combustível e gás natural esses valores estão apresentados na Tabela 26:

Tabela 26: Valores para o cálculo do fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível

	Unidade	CE _C	FE _C	OX _C
Óleo Combustível	1000 t	40,15	21,1	0,99
Gás Natural Seco	10 ⁶ m ³	36,84	15,3	0,995

Fonte: www.reciclecarbono.com.br/biblio/calculoco2.pdf

Apesar do gás natural ser um combustível fóssil é o que menos emite gás causador do efeito estufa, ou seja, emite 111,441 tCO₂ contra 207,577 tCO₂ emitido pelo óleo combustível.

Com base nas informações acima, as economias de CO₂ previstas com a substituição de caldeiras atuais por caldeiras novas queimando gás natural é de 96,14t. A Tabela 27 apresenta a quantidade de carbono equivalente que podem ser evitados se as medidas de eficiência energética sugeridas forem implementadas:

Tabela 27: Quantidade de carbono equivalente para cada sistema analisado

Sistema	Carbono Equivalente [ton]
Sistema de Geração de Vapor	96,14
Sistema de Refrigeração	2,260
Sistema de Iluminação	0,1632
Uso de Fontes Renováveis	0,370
Carbono Equivalente Total	98,93

Tem-se uma redução direta de 96,14 toneladas de gás carbônico por mês devido a substituição das caldeiras e de 2,79 toneladas por mês de forma indireta com a adoção de medidas de eficiência energética nos sistemas de refrigeração, iluminação e uso de fontes renováveis de energia.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O propósito deste trabalho é sensibilizar os responsáveis técnicos e gestores de empresas quanto aos benefícios que podem advir de práticas de uma utilização racional de energia ou maior eficiência energética na planta industrial através da aplicação da metodologia de auxílio a implementação de ações de eficiência energética.

Foi realizado um estudo de caso em uma indústria de laticínio que se iniciou com as atividades propostas pela base da pirâmide (nível 1) que é a estruturação e organização do programa. Foi definido a política energética do laticínio e esta norteou as atividades dos próximos níveis. O segundo passo foi atuar no nível 2, uso eficiente dos equipamentos e treinamentos, e a primeira fase deste nível foi a realização do diagnóstico energético.

O diagnóstico permitiu selecionar, em ordem de prioridade, os equipamentos ou sistemas críticos do laticínio em termos de importância para os processos produtivos. Dentre eles estão o sistema de geração de vapor, refrigeração e o sistema de iluminação.

Após explorar as possibilidades de reduzir as perdas energéticas destes sistemas, tem-se a aplicação do nível 3. Neste nível, foi realizado um estudo de aproveitamento do biogás, fonte de energia disponível no laticínio, para atender parcialmente a demanda de água gelada requerida nos processos produtivos da cooperativa.

Com vista a reduzir a carga do horário de ponta, foi pré-dimensionado um sistema fotovoltaico off-grid. Essa ação foi proposta com base no objetivo do topo da pirâmide de conservação de energia, nível 4 da metodologia. O sistema fotovoltaico projetado reduz o consumo de energia elétrica no período mais crítico da empresa em termos de custos com energia.

Os projetos foram pré-dimensionados, necessitam de um melhor detalhamento de custos e especificação técnica de equipamentos se forem implementados, mas servem de base para mostrar que existem oportunidades e que é possível atingir a excelência energética quando se tem a participação da alta direção, colaboração, treinamentos, conscientização e motivação da equipe técnica.

Fazendo uma correlação entre os resultados das medidas sugeridas com as diretrizes da política energética proposta têm-se:

- reduzir as emissões dos gases de efeito estufa de forma sustentável: foram evitadas cerca de 96,14 toneladas de CO₂ e 2,79 toneladas equivalentes de carbono por mês, valor significativo do ponto de vista ambiental e sustentável;
- aumentar a eficiência energética das atividades produtivas da cooperativa, contribuindo para redução de custos operacionais e o uso eficiente dos recursos: as condições operacionais dos sistemas de geração de vapor e produção de água gelada foi melhorada e, conseqüentemente, os sistemas apresentaram aumento no desempenho energético. O indicador de desempenho energético mensal foi de 0,271 kWh/litro de leite processado para 0,193 kWh/litro de leite processado, próximo a meta estabelecida de 0,13 kWh/litro de leite processado. Isso indica que mais ações devem ser tomadas a fim de se alcançar um maior desempenho energético, como por exemplo, analisar o desempenho do sistema de força motriz.
- ser sustentável através de maneiras inovadoras de eliminar ou minimizar os eventuais impactos causados no meio ambiente pelas suas atividades produtivas: através de campanhas educativas, treinamento dos colaboradores, participação de toda a empresa na busca da forma mais eficaz e sustentável de operacionalizar os equipamentos, processos e sistemas.
- busca contínua de melhores resultados na utilização dos recursos energéticos: água, energia elétrica e combustíveis e de excelência nas operações: através da implantação do conceito de melhoria continua foi possível alcançar as metas estabelecidas e eliminar as causas que as impedem de serem atingidas.

Conclui-se que a metodologia proposta neste trabalho é viável e aplica-se em diversos setores industriais de pequeno, médio e grande porte, em especial as indústrias de laticínios. Pode-se ainda concluir que a energia é o principal insumo para assegurar o desenvolvimento econômico e social do país e que a sua racionalização traz medidas que impactam positivamente o meio ambiente.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolver uma solução tecnológica informatizada que possibilita o acompanhamento dos vários níveis da metodologia, o registro de dados e análise das informações coletadas.
- Aprofundar na dinâmica de funcionamento do modelo, definindo conceito de “ciclo de melhoria contínua em eficiência energética”, indispensável para o planejamento estratégico das ações de eficiência energética nas empresas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEEE - American Council for a Energy-Efficient Economy. **The 2014 International Energy Efficiency Scorecard**. Report Number E1402. July, 2014. 104 f. Disponível em: <<http://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e1402.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

AALBORG INDUSTRIES – Alfa Laval Aalborg Ind. e Com. Ltda. **Tabelas técnicas**. Disponível em: <<http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/tabelas-tecnicas-aalborg-industries.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

ALJUNDI, I. H., Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. **Applied Thermal Engineering**, Jordan, v. 29, n. 2-3, p. 324–328, feb. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431108001129>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

ANDRADE, F. F. **O Método de Melhorias PDCA**. 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04092003-150859/pt-br.php>>. Acesso em: 21 dez. 2015

BALESTIERI, J. A. P.; NOGUEIRA, L. A. H.; NEBRA, S. A.; JÚNIOR, S. O.; GALLO, W. L. R. Metodologias para análise de sistemas energéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15, 1999, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: COBEM, 1999. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/Biblioteca21/diretrizes-2013-29-11-13.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

BACILA, D. M.; FISCHER, K.; KOLICHESKI, M. B. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescente. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.19, n. spe, p. 21-30, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000500021&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 ago. 2015.

BENNETT, M.; NEWBOROUGH, M. Auditing energy use in cities. **Energy Policy**, Reino Unido, v. 29, n. 2, p. 125 - 134, jan. 2001. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421500001087>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

BHATT, M. S. Energy audit case studies I-steam systems. **Applied Thermal Engineering**, Índia, v. 20, n. 3, p. 285–296, fev. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431199000204>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

BIMESTRE, T. A.; **Proposta de metodologia para aplicação de eficiência energética em uma Usina Hidrelétrica**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Fatores de Emissão de CO₂ para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência Energética** / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME : EPE, 2007. 244 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023)**; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro : EPE, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2026%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20para%20os%20pr%C3%B3ximos%2010%20anos.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. 2011. Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

CAMACHO, M. A. G. **Modelo para implantação e acompanhamento de programa corporativo de gestão de energia**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado em Processamento de Energia) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao_mario_camacho.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

CASEMIRO, L., XAVIER, L., BITTENCOURT, A. **Lâmpadas fluorescentes terão regras para descarte adequado**. 2014. Disponível em: <http://www.tre-rj.gov.br/ambiental/jsp/download_arquivo.jsp?id=92726>. Acesso em: 29 ago. 2015..

CAUSO, A. F. T. **Mecanismos políticos para promoção da eficiência energética e geração renovável em edificações: um estudo de caso da Alemanha e aplicações para o Brasil**. 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000912677>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

CEBDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Destravando o financiamento à eficiência energética no Brasil: soluções financeiras e não-financeiras para os agentes do mercado**. Rio de Janeiro, 2014. 36 p. Disponível em: <http://cebds.org/wp-content/uploads/2014/12/Copclima-2014_Port_com-cap.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Modulação de carga**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/nossos_negocios/Paginas/modulacao_carga.aspx>. Acesso em: 22 dez. 2015.

CHAN, D.Y. L.; YANG, K. H.; HSU, C. H.; CHIEN, M. H.; HONG G. B. Current situation of energy conservation in high energy-consuming industries in Taiwan. **Energy Policy**, Taiwan, v. 35, n. 1, p. 202-209, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505003216>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

COMGÁS, Tarifas do Gás Natural Canalizado. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/gnc.aspx>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

COSTA, D. C. P. **Especificação de um Sistema de Certificados Brancos e Estudo do seu Impacto no Plano Nacional para a Eficiência Energética**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2009. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59172/1/000137615.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

CRESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Potencial Solar – SunData**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

DeCANIO, S. J. The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. **Energy Policy**, USA, v. 26, n. 5, p. 441–454, apr.1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421597001523>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

DINCER, I., HUSSAIN, M. M., AL-ZAHARNAH, I. Analysis of sectoral energy and exergy use of Saudi Arabia. **International Journal of Energy Research**, Saudi Arabia, v. 28, p. 205–243, 2004. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.962/epdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

EERE – Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/amo/better-plants>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estratégia para expansão da oferta**. Apresentação em PowerPoint do PNE 2030. Brasília : MME : EPE, 2007. 40 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070626_1.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2015.

EVO – EFFICIENCY VALUTION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance: Conceitos e opções para determinação de economia de energia e de água**. EVO 10000 – 1:2012 (Br). Disponível em: <http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2015.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Banco de boas práticas ambientais. Estudo de Caso: Reúso de água no processo industrial – setor laticínio.** 2014. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/boas_praticas/parecer_itambe.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2015.

FROMME, J. W. Energy conservation in the Russian manufacturing industry – Potential and obstacles. **Energy Policy**, Germany, v. 24, n. 3, p. 245–252, mar. 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0301421595001212>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

GARCIA, A. G. P. **Leilão de Eficiência Energética no Brasil.** 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/agpgarcia2.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

IBRIK I. H.; MAHMOUD, M. M. Energy efficiency improvement procedures and audit results of electrical, thermal and solar applications in Palestine. **Energy Policy**, Israel, v. 33, n. 5, p. 651–658, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503002866>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos.** 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Processamento de Energia) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/7/TDE-2007-10-02T165649Z-878/Publico/JOHNINSONIMHOFF.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: <http://www.inee.org.br/escos_mev.asp?Cat=mev>. Acesso em: 11 dez. 2015.

KOTAS, T. J. **The Exergy Method of Thermal Plant Analysis.** London: Butterworths, 1985.

MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos.** São Paulo : CETESB, 2006. 89 p. Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4276>. Acesso em: 18 dez. 2015.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18-21 julho 2004, São Paulo. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

MENNA, M. R. M. **Modelagem e análise de custo de sistemas de refrigeração por absorção**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos) – Centro de Engenharia e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2008. Disponível em: <http://200.201.88.199/portalpos/media/File/eng_quimica/marcio_mirapalheta.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

MONTEIRO, M. A. G.; MONACHESI, M. G. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**. Rio de Janeiro, Eletrobras; Procel, 2005. 103 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

MONTEIRO, M. A. G.; ROCHA, C. A. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido: manual prático**. Rio de Janeiro: Eletrobras; Procel, 2005. 87 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualArComprimido.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

MORAN, M.; SHAPIRO, H. **Fundamentals Of Engineering Thermodynamics**. 6th ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008.

MUHLE, I. N. Instalações de refrigeração por absorção: a experiência da MADEF. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Proceedings online**. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200000100050&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 12 dez. 2015.

NOGUEIRA, L. A. H. **Eficiência energética no uso de vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2005. 196 p. Disponível em:

<http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/LivroVapor.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2015.

NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA, C. A.; NOGUEIRA, F. J. H. **Eficiência energética no uso de vapor: manual prático**. Rio de Janeiro, Eletrobrás; Procel, 2005. 95 p.

NRCan - Natural Resources Canada. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/industry>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

OHIJEAGBON, I. O.; WAHEED, M. A.; JEKAYINFA, S. O. Methodology for the physical and chemical exergetic analysis of steam boilers. **Energy**, Nigeria, v. 53, n. 1, p. 153-164, may 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213001539>>. Acesso em 22 dez. 2015.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico – Conceitos, Metodologia e Práticas**. 20ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 2004, 384 p.

PAINULY, J. Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. **Renewable Energy**, Denmark, v. 24, n.1, p. 73–89, sep. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148100001865>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

PENA, S. M. **Sistema de ar condicionado**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2011. 148 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCEL-Man%20Ar-Cond-Procet-Eletr-11.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. **Relatório final de acção de promoção a eficiência energética em geradores de vapor**. Maio, 2010, 156 p. Disponível em: <<http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SGCIE/Documentacao/Documents/RelFinal-AccaoEE-Caldeiras-Vapor-Termodfluído.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. **Criação de valor compartilhado**. Harvard Business Review Brasil, jan. 2011. Disponível em: <<http://hbrbr.com.br/criacao-de-valor-compartilhado/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

PRIAMBODO, A.; KUMAR, S. Energy use and carbon dioxide emission of Indonesian small and medium scale industries. **Energy Conversion and Management**, Thailand, v. 42, n. 11, p. 1335–1348, jul. 2001.

ROCHA, A. V. et. al. **Gestão da Qualidade**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006, 196 p.

ROCHA, L. L. R.; MONTEIRO, M. A. G. **Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, Procel, 2005, 188 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/GuiaGestaoEnergetica.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

SAIDUR, R.; AHAMED, J. U.; MASJUKI, H. H. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. **Energy Policy**, Malaysia, v. 38, n. 5, p. 2188-2197, may 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509009422>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SAIDUR, R. A review on electrical motors energy use and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Malaysia, v. 14, n. 3, p. 877-898, apr. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002494>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SAIDUR, R.; RAHIM, M. A.; HASANUZZAMAN, M. A review on compressed-air energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Malaysia, v. 14, n. 4, p. 1135-1153, may 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002755>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SAMPAIO, L. M. B.; RAMOS, F. S.; SAMPAIO, Y. Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 3, p. 465-480, set. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-80502005000300007>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SANTOS, A. H. C.; FAGÁ, M. T. W.; SANTOS, E. M. The risks of an energy efficiency policy for buildings based solely on the consumption evaluation of final energy. **Internacional Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Brazil, v. 44, n. 1, p.70-77, jan. 2013.

SHANGHAI, H. Q.; McKANE, A. Improving Energy Efficiency of Compressed Air System Based on System Audit. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, Jun. 2008. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/13w7f2fc>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SIITONEN, S.; TUOMAALA, M.; AHTILA, P. Variables affecting energy efficiency and CO2 emissions in the steel industry. **Energy Policy**, Finland, v. 38, n. 5, p. 2477-2485, may. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509009987>>. Acesso em 22 dez. 2015.

SILVEIRA, J. L. **Cogeração Disseminada para pequenos usuários: estudo de caso para o setor terciário**. 1994. 193 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

SOARES, G., A., **Dificuldades e incentivos para implementar a ISO 50.001**. XI Congresso de Eficiência Energética. Apresentação em power point. 2014. Disponível em: <http://www.cobee.com.br/cobee2014/downloads/Palestras/george_soares.pdf> Acesso: em 19 out. 2015.

SOLA, A. V. H. **Fatores Humanos como Barreiras para Eficiência Energética em Indústrias**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006. Disponível em: <http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/43/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. M.; KOVALESKI, J. L. A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis. **Energy Police**, Brazil, v. 39, n. 6, p. 3645-3654, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511002643>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SOUZA, H. M.; LEONELLI, P. A.; PIRES, C. A. P.; JUNIOR, V. B. S.; PEREIRA, R. W. L. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista**

Brasileira de Energia, v. 15, n. 1, p. 7-26, 2009. Disponível em: <www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=233>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SOUZA, A. C. C.; SAMPAIO, H. C.; ASTORGA, O. A. M.; SILVEIRA, J. L. Conservação de Energia no Sistema de Produção de Água Gelada em uma Indústria de Laticínios: Cogeração e Uso do Biogás de uma Estação de Tratamento de Efluentes. In: JORNADA 2004 - JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2004, Guaratinguetá. **Jornada de Iniciação Científica e de Pós-Graduação 2004**, Guaratinguetá, 2004.

SWEENEY, R. Cutting the cost of compressed air. **Machine Design**, v.74, p. 76.

THOLLANDER, P.; KARLSSON, M.; SODERSTROM, M.; CREUTZ, D. Reducing industrial energy costs through energy-efficiency measures in a liberalized European electricity market: case study of a Swedish iron foundry. **Applied Energy**, Sweden, v. 81, n. 2, p. 115–126, jun. 2005.

TUNA, C. E. **Um método de análise exergoeconômica para otimização de sistemas energéticos**. 1999. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 1999.

VARELA, I.; MARQUES, B. **Medição e verificação em eficiência energética**. ProcelInfo, 2013. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34}&Team=¶ms=itemID={D70CDA1D-FD55-47D6-BBFE-0D9B0A67CC80};&ServiceInstUID={A9D6BC0A-4FEF-4175-8A84-0C9BE1FDF0DE}>> Acesso em: 11 dez. 2015.

VENTURINI, O. J; PIRANI, M. J. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2005, 316 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/LivroRefrigeracao.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

VILLELA, I. A. C. **Modelagem termoeconômica de sistemas de refrigeração: produção de água gelada para um laticínio**. 1998, 102 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 1998.

XENERGY. **United States Industrial Motor Systems Market Opportunities Assessment.**

Prepared for the US DOE and Oak Ridge National Laboratory. Massachusetts, Dec. 1998.

Disponível em: <<http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/mtrmkt.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

WEBER, L. Viewpoint: some reflections on barriers to the efficient use of energy. **Energy**

Policy, Switzerlan, v. 25, n. 10, p. 833–835, aug. 1997. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421597000840>>. Acesso em: 22 dez. 2015.