



PAULO CÉSAR SILVA

Gestão da Energia na Indústria de Laticínios

57/2014

Campinas

2014

i



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

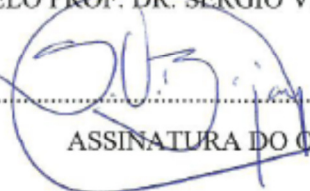
PAULO CÉSAR SILVA

Gestão da Energia na Indústria de Laticínios

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO
ALUNO PAULO CÉSAR SILVA, E ORIENTADA
PELO PROF. DR. SERGIO VALDIR BAJAY.


.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR

Campinas
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Si38g Silva, Paulo César, 1973-
Gestão da energia na indústria de laticínios / Paulo César Silva. – Campinas,
SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Sérgio Valdir Bajay.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Mecânica.

1. Indústria de Laticínios. 2. Conservação de energia. 3. Eficiência energética.
4. Indicadores de sustentabilidade. 5. Sustentabilidade. I. Bajay, Sérgio
Valdir, 1950-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Energy management in dairy industries

Palavras-chave em inglês:

Dairy industries

Energy conservation

Energy efficiency

Sustainability indicators

Sustainability

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

Sérgio Valdir Bajay [Orientador]

Joaquim Eugênio Abel Seabra

Luiz Augusto Horta Nogueira

Data de defesa: 05-06-2014

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA COMISSÃO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

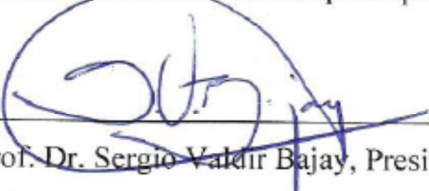
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

Gestão da Energia na Indústria de
Laticínios

Autor: Paulo César Silva

Orientador: Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



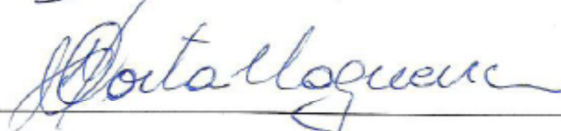
Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay, Presidente

Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Joaquim Eugênio Abel Seabra

Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

Universidade Federal de Itajubá

Campinas, 05 de Junho de 2014

Dedicatória

A Deus, o Grande Arquiteto do Universo que, através dos dons do seu Espírito Santo me concedeu sabedoria, entendimento, conselho, fortaleza e ciência, para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

Para a minha querida esposa e companheira Ana Carolina que me apoiou e me motivou através de muito amor, carinho e compreensão. Aos nossos filhos Pedro Paulo e Mateus que tiveram a compreensão e a paciência de sempre me esperar durante as difíceis horas de dedicação a este trabalho.

Aos meus pais Maria Irene e José Silva, pela doação e amor dedicados para a formação e educação, minha e de meus irmãos.

Para a minha tia Aparecida Silva, pelo aconselhamento e pelo apoio financeiro que me permitiram frequentar e concluir o curso de engenharia elétrica, grande divisor de águas em minha vida.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay por ter aceito ser o meu orientador e compartilhar o seu grande conhecimento que me ajudou muito na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Joaquim Eugênio Abel Seabra e ao Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

Para Prof. Dr. Luiz Antônio Rossi por ter me apresentado e aberto as portas da Unicamp e por ter sido, em boa parte do tempo, o meu co-orientador na realização desta dissertação de mestrado.

Para a Danone que há mais de oito anos vem me possibilitando desenvolver e realizar grandes trabalhos, e me permitiu utilizar as informações para a composição desta dissertação de mestrado. Em especial eu quero agradecer algumas pessoas dessa empresa, que me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho como Ana Paula Fonseca, Jaimir José Brotto e Silvio Fernando Bueno. Nessa oportunidade eu agradeço também a toda equipe do Departamento de Utilidades e Energias da fábrica de Poços de Caldas, que através de muito esforço e dedicação me ajudaram a construir os resultados aqui apresentados.

Aos amigos do curso: Bruno R. Kawano, Everson Odilson de Moraes, Flávio Roberto de Carvalho Mathias, Rafael Rodrigues da Silva e Roberto Perillo Barbosa da Silva pela cooperação e incentivo para a conclusão do curso.

À Unicamp, em especial aos professores e funcionários da pós-graduação da FEM e do NIPE.

“A águia gosta de pairar nas alturas acima do mundo, não para ver as pessoas de cima, mas para estimulá-las a olhar para cima”.

Elizabeth Kuber Ross

Resumo

O segmento de alimentos e bebidas é responsável pelo maior consumo energético do setor industrial no Brasil. Este trabalho apresenta um Sistema de Gestão da Energia (SGE) implantado com sucesso em uma fábrica de laticínios. O SGE em questão foi implantado em 2005, na fábrica da Danone, empresa multinacional de origem francesa, localizada na cidade de Poços de Caldas, MG.

O SGE aqui descrito passou por várias modificações na busca por melhorias, que proporcionaram uma substancial redução no consumo energético específico da fábrica, acima de 38% entre os anos de 2005 (521 kWh/ton) e 2012 (320 kWh/ton).

O autor deste trabalho, que também é funcionário da empresa e atua a nível global como um dos responsáveis pela gestão da energia na Danone, relata várias medidas de eficiência energética usualmente adotadas na indústria de laticínios e descreve as principais medidas implementadas na fábrica da Danone em Poços de Caldas, algumas delas durante a realização do curso de mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos.

A dissertação aborda as várias etapas requeridas para se estruturar um SGE e como elas foram implantadas na fábrica em questão.

Para melhorar a atual estrutura do SGE da fábrica de Poços de Caldas são propostas, na dissertação, várias novas ações, dentre as quais se destaca a implantação de um sistema automatizado e padronizado pela Companhia a nível global. A recomendação final é o credenciamento do SGE dessa fábrica pela norma ISO 50001.

Palavras Chave: Indústria de Laticínios, Conservação de energia; Eficiência energética; Indicadores de sustentabilidade; Sustentabilidade.

Abstract

The food and beverage branch is responsible for the highest energy consumption in the industrial sector in Brazil. This paper presents an Energy Management System (EMS) successfully implemented in a dairy plant. This EMS was set up in 2005, at Danone, a multinational company of French origin, located in Poços de Caldas, MG.

The EMS described here has gone through several changes in the search for improvements, which provided a substantial reduction in the plant's specific energy consumption, over 38% between 2005 (521 kWh/ton) and 2012 (320 kWh/ton).

The author of this MSc thesis, which is also an employee of the company and acts globally as one of those responsible for managing energy in Danone Group, reports various energy efficiency measures usually adopted in the dairy industry and describes the main measures implemented in the Danone factory in Poços de Caldas, some of them during the MSc course on Energy Systems Planning.

The thesis discusses the various steps required to design an EMS and how they were implemented in the plant.

To improve the current structure of the EMS in the Poços de Caldas plant, several new actions are proposed in the thesis, among which stands out the deployment of an automated system, standardized worldwide by the company. A final recommendation is the accreditation of this plant's EMS by the ISO 50001 standard.

Key Words: Dairy industries, Energy conservation; Energy efficiency; Sustainability indicators; Sustainability

Lista de Ilustrações

Figura 2.1: Etapas de um programa de uso racional da energia	7
Figura 2.2: Conteúdo típico de um relatório de diagnóstico energético.....	9
Figura 3.1: Participação dos setores da economia brasileira no consumo total de energia final em 2012	17
Figura 3.2: Participação percentual dos segmentos industriais do BEN no consumo energético industrial total em 2012	18
Figura 3.3: Processo produtivo de uma destilaria de álcool anexa a uma usina de açúcar, a partir da cana de açúcar	27
Figura 3.4: Funcionamento de uma centrífuga.....	32
Figura 3.5: Diminuição dos glóbulos de gordura no leite	33
Figura 3.6: Homogeneizador de alta pressão fabricado pela APV.....	34
Figura 3.7: Processo de pasteurização de leite	35
Figura 3.8: Trocador de calor de placas planas fabricado pela APV	36
Figura 3.9: Curva de desenvolvimento simbiótico da cultura láctica durante a fermentação do iogurte.....	38
Figura 3.10: Produtos envasados em embalagens pré-formadas	41
Figura 3.11: Processo de termoformagem.....	42
Figura 3.12: Produtos envasados em embalagens termoformadas	42
Figura 4.1 Consumos energéticos específicos das fábricas da Danone.....	49
Figura 4.2: Imagem aérea da fábrica da Danone em Poços de Caldas, MG	51
Figura 4.3: Processo de produção de PLF	53
Figura 4.4: Esquema de funcionamento de compressores de ar tipo parafuso com e sem injeção de óleo lubrificante	56
Figura 4.5: Maquete eletrônica da ETA da fábrica da Danone em Poços de Caldas	58
Figura 4.6: Tela do sistema supervisório da ETA	59
Figura 4.7: Distribuição do consumo de energia elétrica, em %, por tipo de equipamento e sistema consumidor, na fábrica de Poços de Caldas	61

Figura 5.1: Sistema típico de geração e distribuição de vapor em uma indústria de processamento de alimentos.....	64
Figura 6.1: Evolução do indicador de energia.....	107
Figura 6.2: Tela de controle de demanda do gerenciador de energia elétrica	110
Figura 6.3: Gerenciador de Energia Elétrica - Tela de Medição Principal.....	111
Figura 6.4: Condutivímetro e turbidímetro	114
Figura 6.5: Sistema de bombeamento de condensado.....	114
Figura 6.6: Analisador de ruídos ultrassônico	116
Figura 6.7: Utilização de torre para resfriamento da água de compressor de ar	117
Figura 6.8: Recuperação de calor dos compressores de ar	118
Figura 6.9: Aplicações da energia recuperada na nova central de ar comprimido	119
Figura 6.10: Bombas de água industrial	120
Figura 6.11: Instrumentos de medição do sistema de bombeamento de água.....	121
Figura 6.12: Circuito esquemático de um regenerador de amônia	122
Figura 6.13: Fluxograma de funcionamento de um extrator de ar	124
Figura 6.14: Fluxograma de recuperação de água de degelo das células de resfriamento	127
Figura 6.15: Telas do sistema supervisório das células de resfriamento.....	128
Figura 6.16: O Energy Saver	129
Figura 6.17: Painel elétrico com inversor de frequência.....	131
Figura 6.18: Caldeira de biomassa da fábrica da Danone em Poços de Caldas	132
Figura 6.19: Sistema supervisório da recuperação de calor de processos e da amônia.....	134
Figura 7.1: Consumo específico de energia elétrica, em kWh/t, durante os meses de 2006.....	137
Figura 7.2: Consumo mensal de óleo BPF, em kg, por tonelada de produção da fábrica da Danone em Poços de Caldas, em 2006	138
Figura 7.4: Formato do relatório utilizado em dezembro de 2012 pelo SGE da fábrica da Danone em Poços de Caldas	144
Figura 8.1: Evolução dos ganhos de eficiência energética das fábricas da Danone desde 2005.	146
Figura 9.1: Modelo de sistema de gestão da energia.....	163
Figura 9.2: Estrutura do novo sistema de gestão da energia padronizado pelo Grupo Danone ..	166

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Investimentos dos segmentos da indústria de alimentos e bebidas no Brasil, em R\$ milhões, no período de 2009 a 2012.....	19
Tabela 3.2: Faturamento dos segmentos da indústria de alimentos e bebidas no Brasil, de 2010 a 2012	20
Tabela 3.3: Consumos energéticos específicos, em MJ/t, de produtos da indústria de alimentos e bebidas, por usos finais.....	23
Tabela 3.4: Uso de energia para a produção de diferentes produtos alimentícios na Holanda em 2001	24
Tabela 4.1: Caracterização dos produtos lácteos.....	52
Tabela 5.1: rendimentos luminosos (lumens/Watt) de diversas fontes de iluminação.....	106
Tabela 6.1: Principais projetos visando ganhos de eficiência energética implantados na fábrica da Danone em Poços de Caldas.....	108
Tabela 8.1: Exemplo de matriz de priorização	150

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRALISO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Lãs Isolantes

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BEN – Balanço Energético Nacional

BPF – Baixo Ponto de Fluidez

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CIP – *Clean In Place* (Limpeza Local)

CLP – Controlador Lógico Programável

COP – Coeficiente de Performance

DEW – *Danone Engineering Worldwide* (Engenharia Global da Danone)

DME – Departamento Municipal de Energia

DOE – *US Department of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos)

EER – *Energy Efficiency Rate*

EFEI – Escola Federal de Engenharia de Itajubá (atualmente Unifei)

Eficind – Estudo de Prospecção de Potencial para Eficiência a Energética

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

GHG – *Green House Gases* (Gases de Efeito Estufa)

GEE – Gases de Efeito Estufa (Gases de Efeito Estufa)

HP – Horário de Ponta

HFP – Horário Fora Ponta

HTST – *High Temperature Short Time* (Alta Temperatura e Curto Tempo)

IHM – Interface Homem Máquina

IP – Integração de Processos

MME – Ministério de Minas e Energia

MMVF – *man-made vitreous fibers* (Fibras de Vidro Artificiais)
MTE – Ministério do Trabalho e Emprego
M&V – Medição e Verificação
PLF – Produto Lácteo Fresco
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
SGE – Sistema de Gestão da Energia
SKU - *Stock Keeping Unit* (Unidade de Armazenamento)
TIR – Taxa Interna de Retorno
TR – Tonelada de Refrigeração
UFAM – Universidade Federal do Amazonas
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UHT – *Ultra High Temperature* (Pasteurização sob Temperatura Ultra Alta)
UnB – Universidade de Brasília
Unicamp – Universidade Estadual de Campinas
Unifei – Universidade Federal de Itajubá
UPMS – *Utilities Performance and Monitoring System* (Sistema de Monitoramento de Desempenho de Utilidades)
VPL – Valor Presente Líquido
VSD – *Variable Speed Drive* (Inversor de Velocidade Variável)

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Eficiência energética como fator de competitividade e instrumento para se obter ganhos ambientais na indústria.....	1
1.2.Objetivos da dissertação	2
1.3.Escopo do trabalho	3
2.DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS E SISTEMAS DE GESTÃO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA.....	6
2.1.Diagnósticos Energéticos	6
2.2.Sistemas de Gestão da Energia na Indústria.....	12
3.A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E BEBIDAS E OS LATICÍNIOS NO BRASIL.....	16
3.1.A indústria de alimentos e bebidas no Brasil	16
3.2.Consumo de energia por setor no Brasil.....	17
3.3.Composição da indústria de alimentos e bebidas	18
3.4.Carne e seus derivados	25
3.5.Produção de açúcar a partir da cana de açúcar	26
3.6.A Indústria de Laticínios	28
3.6.1.Introdução.....	28
3.6.2.Processamento de leite fluído	29
3.6.3.Fabricação de sorvetes, manteiga e queijos.....	29
3.6.4.Fabricação de leite em pó	30
3.6.5.Fabricação de iogurtes	31
4.A FÁBRICA DE LATICÍNIOS OBJETO DE ESTUDO.....	45
4.1.A presença global da Danone	45
4.2.A Danone no Brasil	46

4.3.Os compromissos assumidos e declarados pela empresa	46
4.4.Redução das emissões de CO ₂	47
4.5.Gestão da energia na Danone e na fábrica de Poços de Caldas.....	48
4.6.A fábrica de Poços de Caldas	50
4.6.1.Produutos e processos.....	50
4.6.2.O setor de utilidades	52
4.6.3.Perfil do consumo energético da fábrica	60
5.MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA USUALMENTE ADOTADAS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS.....	63
5.1.Sistemas de geração e distribuição de vapor	63
5.1.1.Caldeira.....	65
5.1.2.Sistemas de tratamento da água de alimentação da caldeira	67
5.1.3.Desaerador.....	68
5.1.4.Combustíveis e a eficiência da combustão nas caldeiras	69
5.1.5.Descarga de fundo, ou <i>blowdown</i>	70
5.1.6.Medidas de conservação de energia para sistemas de geração de vapor.....	71
5.1.7.Isolamento térmico adequado das tubulações de distribuição de vapor e retorno do condensado.....	74
5.1.8.Purgadores.....	77
5.2.Eficiência energética em sistemas de ar comprimido.....	78
5.2.1.Compressores de ar.....	79
5.2.2.Reservatório de ar comprimido	82
5.2.3.Tratamento do ar comprimido	83
5.2.4.Sistema de distribuição de ar comprimido	84
5.3.Sistemas de bombeamento eficientes	85

5.4.Conservação de energia em trocadores de calor.....	87
5.4.1.Tipos de trocadores de calor e o seu uso em laticínios.....	87
5.4.2.Ganhos de eficiência energética em trocadores de calor	90
5.5.Ganhos de eficiência energética em instalações de refrigeração industrial por compressão de vapor.....	94
5.5.1.Introdução.....	94
5.5.2.Caracterização da instalação.....	95
5.5.3.Oportunidades de ganhos de eficiência energética na geração de frio	96
5.5.4.Oportunidades de ganhos de eficiência energética na distribuição de frio.....	99
5.5.5.Oportunidades de ganhos de eficiência energética no uso final do frio	100
5.6.Ganhos de eficiência energética em sistemas elétricos	102
5.6.1.Introdução.....	102
5.6.2.Escolha da melhor opção tarifária e controle do fator de potência	103
5.6.3.Motores elétricos	103
5.6.4.Iluminação.....	105
6.GANHOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA OBTIDOS RECENTEMENTE NA FÁBRICA.....	107
6.1.Apresentação geral dos projetos já executados visando ganhos de eficiência energética.....	107
6.2.Gerenciador de energia elétrica	110
6.3.Retorno de condensado.....	112
6.4.Monitoramento e eliminação de vazamentos de ar comprimido.....	115
6.5.Recuperação de energia dos compressores de ar.....	117
6.6.Automação das bombas de água industrial.....	119
6.7.Regenerador de amônia	121
6.8.Extrator de ar do sistema de refrigeração	123

6.9.Reengenharia das células de resfriamento.....	125
6.10. <i>Energy Saver</i>	128
6.11.Automação dos condensadores evaporativos	130
6.12.Caldeira a biomassa	132
6.13.Recuperação de calor de processos e da amônia	133
7.O ATUAL SISTEMA DE GESTÃO DA ENERGIA DA FÁBRICA.....	136
7.1.A origem do sistema de gestão da energia na fábrica da Danone em Poços de Caldas	136
7.2.A evolução do sistema de gestão da energia na fábrica	140
8.POTENCIAL DE GANHOS ADICIONAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA FÁBRICA.....	145
8.1.Comissão interna de conservação de energia	147
8.2.Matriz de priorização.....	149
8.3.Medição e verificação.....	151
8.4.Diagnósticos energéticos nos processos de fabricação.....	152
8.5.Recuperação de calor.....	155
8.6.Aumento do retorno de condensado	157
8.7.Sistema de ar comprimido em baixa pressão.....	158
8.8.Utilização de ozônio para desinfecção no tratamento de efluentes e nas estações de CIP....	159
8.9.Produção de biogás na ETE.....	160
9.PROPOSTA DE “UPGRADING” DO SISTEMA DE GESTÃO DA ENERGIA NA FÁBRICA DA DANONE EM POÇOS DE CALDAS, VISANDO À CERTIFICAÇÃO PELA NORMA ISO 50001.....	161
9.1.A ISSO.....	161
9.2.A norma ISO 50001.....	162
9.3.Implantação de um sistema de gestão da energia padronizado pelo Grupo Danone.....	164
9.4.Adequação do sistema de gestão da energia da Danone com a ISO 50001	166
10.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	168

10.1.Conclusões.....	168
10.2.Recomendações	170
11.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172

1. INTRODUÇÃO

1.1. Eficiência energética como fator de competitividade e instrumento para se obter ganhos ambientais na indústria

A maioria das empresas vem adotando práticas e investindo recursos em sustentabilidade. Como as atividades humanas têm influenciado o meio ambiente, por exemplo, através de mudanças climáticas provocadas por emissões de gases que causam o efeito estufa, e os recursos naturais são finitos, é necessário proporcionar qualidade de vida para as atuais populações nas diferentes regiões do planeta, porém sem comprometer as condições de sobrevivência das gerações futuras.

No mundo capitalista as empresas existem com o objetivo principal de gerar lucros. Mas essas empresas são formadas por pessoas que estão sempre buscando melhor qualidade de vida e que, por um processo natural de evolução, tem se preocupado com temas relacionados à sustentabilidade. A sociedade moderna vem exigindo das empresas atitudes responsáveis com as questões sociais e com o meio ambiente. Já é normal se observar pessoas deixando de consumir ou utilizar produtos de empresas que não apresentam um compromisso social e sustentável com as comunidades.

A produção e o consumo de energia possuem relações diretas com a sociedade e o meio ambiente e, de uma forma geral, com sustentabilidade.

Por outro lado, a energia vem cada vez mais representando um custo expressivo para as empresas, pesando no custo final de muitos produtos. Com a constante disputa por mercado, as empresas são forçadas a melhorar a qualidade de seus produtos e serviços, e a buscar a redução de seus custos. Além da acirrada competição por mercado entre as empresas, ainda existe o efeito da inflação a ser minimizado ou até anulado para evitar o aumento de preço dos produtos e manter a lucratividade.

Perante este quadro, muitas empresas do setor industrial identificaram a necessidade de reduzir o consumo de energia, sem comprometer os níveis de produção. A redução do consumo

de energia pode ser obtida através de diversas maneiras, mas a mais recomendada é a aplicação de técnicas que resultem em ganhos de eficiência energética.

Melhorar a eficiência energética de uma instalação significa otimizar o uso das suas fontes de energia. A utilização racional da energia, que é uma outra forma de se expressar esta mesma ideia, consiste em usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

Várias técnicas, metodologias, ferramentas gerenciais e normas internacionais podem ser implantadas em uma empresa de qualquer segmento industrial para reduzir o seu consumo energético específico. A evolução e disseminação destas técnicas e ferramentas de gestão têm demonstrado que ganhos de eficiência energética e aumentos de produtividade estão intimamente relacionados, ou seja, quando se investe em melhorias na eficiência energética também se obtém ganhos de produtividade.

A rigor, promover a busca de ganhos de eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando conceitos da engenharia, da economia, e da administração no planejamento e na gestão de sistemas energéticos. Dada a diversidade e complexidade desses sistemas, é importante se definir objetivos a serem atingidos e métodos a serem aplicados na escolha das ações para melhorar o seu desempenho energético (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

Neste contexto, este trabalho apresenta uma contribuição para a gestão da energia na indústria de laticínios, através de um estudo de caso da fábrica da Danone, uma empresa multinacional de origem francesa, em Poços de Caldas, MG.

1.2. Objetivos da dissertação

Existem poucos trabalhos disponíveis¹ e, sobretudo, publicados envolvendo conservação de energia na indústria de laticínios no Brasil. O objetivo geral desta dissertação é dar uma contribuição para preencher esta lacuna neste importante segmento industrial, através da

¹Na década de 1980 foi realizado um trabalho envolvendo conservação de energia na indústria de laticínios na região Sul de Minas Gerais, financiado pela CEMIG e conduzido por pesquisadores da Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). Esse trabalho não foi aqui utilizado como referência bibliográfica devido à impossibilidade de encontra-lo.

apresentação de uma abordagem metodológica genérica e sua aplicação em uma moderna fábrica deste segmento.

Para se atingir este objetivo geral, são definidos dois objetivos específicos: apresentar uma metodologia de diagnóstico energético industrial e aplica-la em um sistema permanente de gestão de energia na fábrica supracitada.

O diagnóstico energético proposto envolve três etapas – pré-diagnóstico, diagnóstico e estudos de otimização energética, refletindo a evolução de uma cadeia de conhecimentos que parte de levantamentos e análises mais gerais, porém abrangentes, que sinalizam a necessidade de realização de estudos mais específicos e detalhados, a partir dos quais é possível se indicar investimentos na aquisição de novos equipamentos e/ou mudanças nas práticas de gestão industrial.

As propostas de avanços no sistema de gestão energética desta fábrica, apresentadas nesta dissertação, visam, entre outras finalidades, permitir o credenciamento futuro desta instalação pela norma internacional ISO 50001, que estabelece padrões para sistemas de gestão de energia.

1.3. Escopo do trabalho

Esta dissertação está dividida em dez capítulos. O capítulo 2 aborda aspectos gerais sobre diagnósticos energéticos e gestão da energia no setor industrial, assim como apresenta a metodologia de diagnóstico energético industrial proposta neste trabalho, desagregada em três etapas. Inicialmente, discute-se o conceito de eficiência energética e mostram-se as principais barreiras para implantação de ações que visem o aumento da eficiência energética no mercado brasileiro. Durante o desenvolvimento desse capítulo enfatiza-se a importância da aplicação da gestão da energia para se obter ganhos e aumentar a produtividade na indústria, e para se reduzir os impactos ambientais. Encerra-se o capítulo apresentando-se várias técnicas e formas de gerenciamento da energia na indústria.

O capítulo 3 caracteriza o segmento de laticínios no contexto da indústria de alimentos e bebidas no Brasil. Após apresentar dados econômicos como o faturamento bruto, o consumo da matéria prima principal e o volume de geração dos produtos acabados, estes são relacionados ao

consumo de energia elétrica e de combustíveis. Estes últimos são utilizados principalmente na geração de vapor para os processos produtivos.

O capítulo 4 apresenta a fábrica objeto de estudo, situando-a dentro do contexto da indústria de laticínios no Brasil. São abordados, inicialmente, o crescimento econômico da fábrica e a evolução do consumo da sua matéria prima principal e de sua produção. Apresentam-se, a seguir, as instalações industriais com seus processos produtivos, destacando-se os consumos de energia elétrica e combustíveis e os principais equipamentos consumidores.

As medidas de eficiência energética usualmente adotadas na indústria de laticínios são discutidas no capítulo 5. Apresenta-se sucintamente várias oportunidades consideradas como boas práticas para se obter ganhos energéticos e ações inovadoras aplicadas na redução do consumo de energia elétrica e de combustíveis utilizados na geração de vapor.

O capítulo 6 apresenta os ganhos de eficiência energética obtidos recentemente na fábrica, através da implantação de um sistema de gestão da energia e execução de vários projetos. É mostrada a evolução dos indicadores de energia elétrica e energia térmica, ambas em kWh/ton, e quanto cada um destes projetos contribuiu para a redução desses indicadores. Finalizando o capítulo, analisa-se a evolução dos indicadores de energia da fábrica, em comparação com os resultados obtidos em outras fábricas do mesmo segmento da companhia, em diversos países e regiões.

O atual sistema de gestão da energia da fábrica objeto de estudo é analisado com mais detalhes no capítulo 7. É relatado como se iniciaram as medições e o monitoramento do consumo de energia, e como esses dados são relacionados com os volumes de produção da fábrica. Apresenta-se a evolução da forma de gerenciamento até se chegar à prática utilizada atualmente, a realização de planos de ações e as medidas que tem sido adotadas para se reduzir o consumo de energia. É apresentando, também, o envolvimento dos diferentes níveis hierárquicos dos funcionários da empresa com o tema “gestão da energia”, o apoio da alta gerência e as responsabilidades das pessoas envolvidas.

O capítulo 8 analisa o potencial de ganhos adicionais de eficiência energética na fábrica, com base em uma relação de boas práticas e novas tecnologias utilizadas pela empresa a nível global e previamente implantadas em outras fábricas do Grupo. Após a realização de uma análise

técnica do potencial de ganhos, é apresentada uma análise financeira para as principais oportunidades identificadas, utilizando os critérios de retorno financeiro adotados pela empresa.

O capítulo 9 apresenta propostas de “*upgrading*” do sistema de gestão da energia da fábrica, buscando ampliar o escopo de medição dos equipamentos do setor de utilidades, maior consumidor de energia da fábrica, e passando a monitorar também o consumo de energia dos processos de fabricação. São mostrados, neste contexto, os resultados de análises realizadas recentemente sobre diversas tecnologias de instrumentos de medição e *softwares* utilizados em aplicações de gestão da energia. Finalizando este capítulo, são discutidos os passos necessários para se obter a certificação da fábrica pela norma ISO 50001.

Por último, o capítulo 10 apresenta as conclusões da dissertação, junto com recomendações tanto de melhorias a serem implementadas imediatamente, ou no futuro, na fábrica objeto de estudo, como estudos complementares a este, que podem indicar novos rumos na busca de maior eficiência energética na indústria de laticínios no País.

2. DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS E SISTEMAS DE GESTÃO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA

2.1.Diagnósticos Energéticos

Fatores como crescimento econômico do país, mudanças políticas no governo, incertezas sobre a disponibilidade e restrições ambientais podem influenciar na capacidade de fornecimento e no custo da energia. De qualquer forma, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando conceitos da engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. Dada a diversidade e frequente complexidade desses sistemas, é importante se utilizar técnicas e métodos para definir objetivos e ações visando melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia.

Uma dessas técnicas, muito utilizada, é o diagnóstico energético, ou auditoria energética, que contempla uma abordagem sistemática dos fluxos energéticos em um dado sistema, visando determinar quem, quanto e como se está consumindo energia e, com isto, sinalizar possíveis usos mais racionais de insumos energéticos. Foi com esta acepção que, no início dos anos oitenta, os diagnósticos energéticos se difundiram rapidamente, sobretudo aplicados a instalações industriais e tendo como estímulo básico o contexto de custos energéticos crescentes. Assim, podem ser citados os trabalhos do CNP – Conselho Nacional do Petróleo (1985), Rocchiccioli (1981) e Gorecki (1982).

Uma auditoria energética pode ser simplesmente definida como um processo para determinar os tipos e os custos de consumo de energia de uma instalação, avaliando onde em uma instalação ou planta fabril usa a energia, e identificando oportunidades de redução de consumo (THUMANN, NIEHUS E YOUNGER, 2013).

As denominações “análise energética” e “auditoria energética” tem sido utilizadas como sinônimos de diagnóstico energético. A expressão auditoria tem sido eventualmente evitada em função da conotação fiscalizadora e punitiva que pode receber, quando associada à auditagens contábeis (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

De qualquer forma, o conceito parece estar bastante disseminado, pois sempre que se procura implantar uma política de racionalização energética, ou um programa de eficiência energética, utiliza-se como ponto de partida diagnósticos, auditorias ou levantamentos energéticos. Observa-se também que, nesta fase de análise do sistema, podem ser identificadas interessantes alternativas de redução de custos com energia, sem necessariamente implicarem em redução das perdas energéticas, seja por reduções de perdas de processo, por substituição de insumos energéticos e, ainda, por alterações da modalidade tarifária ou tributária, associada às faturas energéticas. Neste sentido, o diagnóstico energético tem mais o caráter de uma análise de custos econômicos relacionados com energia (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

De fato, a utilização eficiente e racional da energia é um objetivo a ser buscado em qualquer conjuntura, onde a conciliação dos custos de investimento e dos custos operacionais em bases corretas é sempre desejável.

A implementação de uma adequada gestão dos fluxos energéticos requer uma abordagem própria. Assim, a operacionalização da eficiência energética passa necessariamente por uma mínima estrutura gerencial, de porte e abrangência compatíveis com os fluxos energéticos da empresa envolvida.

A Figura 2.1 apresenta as etapas de um programa de uso racional da energia, segundo Marques, Haddad e Martins (2006).



Fonte: Marques, Haddad e Martins (2006)

Figura 2.1: Etapas de um programa de uso racional da energia

É preciso diagnosticar a realidade energética, inicialmente, para, então, estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e de redução de perdas e acompanhar seus resultados, em um processo contínuo. Esta abordagem é válida para instalações novas, em caráter preventivo, ou instalações existentes, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais. O diagnóstico energético quantifica os fluxos energéticos ao longo do processo produtivo de bens e serviços. Desta forma, ele permite o início ordenado e a continuidade de um programa de eficiência energética, através da resposta às seguintes questões:

- Quanta energia está sendo consumida?
- Quem está consumindo energia?
- Como está se consumindo energia, com qual eficiência?

Marques, Haddad e Martins (2006) destacam que os diagnósticos energéticos, por si só, não conduzem à racionalização do uso da energia. Eles constituem um primeiro e decisivo passo nesta direção, a requerer medidas e ações posteriores, desejavelmente estabelecidas de forma planejada e estruturada, com clara definição de metas, responsáveis e efetivo acompanhamento, se possível no âmbito de um Programa de Eficiência Energética, com visibilidade na corporação e a necessária provisão de recursos físicos e humanos.

Existem algumas metodologias ou procedimentos padronizados disponíveis para se efetuar um diagnóstico energético. Algumas delas utilizam aplicativos computacionais para analisar as unidades consumidoras industriais e comerciais. Alguns exemplos de aplicação de modelos computacionais de simulação na instalação industrial objeto de análise nesta dissertação são apresentados mais adiante.

O resultado de um diagnóstico energético é um relatório contendo informações sobre os consumos de energia e, principalmente, recomendações para se obter ganhos com o uso racional dos energéticos.

A Figura 2.2 apresenta um exemplo de estruturação de um relatório de diagnóstico energético.

Para se atingir o resultado esperado de um diagnóstico energético específico para um processo, planta ou empresa, é desejável se obter as seguintes informações:

- Consumos mensais de água, energia elétrica e combustíveis, ao longo de um ano;
- Plantas, desenhos e esquemas detalhados das instalações (*as built*, se possível);
- Balanços energéticos e de materiais, atualizados, para cada unidade;

- Temperaturas e pressões em pontos relevantes, em valores medidos e de projeto;
- Características elétricas dos equipamentos e valores medidos associados;
- Considerações sobre as especificações do produto, de caráter energético;
- Considerações ambientais e de locação da empresa; e
- Perspectivas de alterações no processo.

Relatório de Auditoria Energética	
1 - Resumo Executivo	
2 - Empresa	
(localização, indicadores, descrição básica dos processos)	
3 - Estudos energéticos	
(diagramas, características, estudo das perdas)	
3.1 - Sistemas Elétricos	
a) Levantamento da carga elétrica instalada	
b) Análise das condições de suprimento	
(qualidade do suprimento, harmônicas, fator de potência, sistema de transformação)	
c) Estudo do Sistema de Distribuição de energia elétrica	
(desequilíbrios de corrente, variações de tensão, estado das conexões elétricas)	
d) Estudo do Sistema de Iluminação:	
(luminometria, análise de sistemas de iluminação, condições de manutenção)	
e) Estudo de Motores Elétricos e outros Usos Finais	
(estudo dos níveis de carregamento e desempenho, condições de manutenção)	
3.2 - Sistemas Térmicos e Mecânicos	
a) Estudo do Sistema de ar condicionado e exaustão	
(sistema frigorífico, níveis de temperatura medidos e de projeto, distribuição de ar)	
b) Estudo do Sistema de geração e distribuição de vapor	
(desempenho da caldeira, perdas térmicas, condições de manutenção e isolamento)	
c) Estudo do Sistema de bombeamento e tratamento de água	
d) Estudo do Sistema de compressão e distribuição de ar comprimido	
3.3 - Balanços energéticos	
4 - Análise de Racionalização de Energia	
(estudos técnico-econômicos das alterações operacionais e de projeto, como por exemplo, da viabilidade econômica da implantação de sistemas de alto rendimento para acionamento e iluminação, viabilidade econômica da implantação de sensores de presença associados a sistemas de iluminação, análise do uso de iluminação natural, análise de sistemas com uso de termoacumulação para ar condicionado, viabilidade econômica da implantação de controladores de velocidade de motores, análise da implantação de sistemas de cogeração)	
5 - Diagramas de Sankey atual e prospectivos	
6 - Recomendações	
7 - Conclusões	
8 - Anexos	
(figuras, esquemas, tabelas de dados)	

Fonte: Marques, Haddad e Martins (2006)

Figura 2.2: Conteúdo típico de um relatório de diagnóstico energético.

Em geral, boa parte dessas informações não estão inicialmente disponíveis e precisam de visitas a campo, entrevistas na empresa, consultas a fabricantes de equipamentos, estabelecimento de correlações, medições, etc. (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

É recomendável que um diagnóstico energético seja realizado várias vezes em uma mesma empresa, ou instalação. Um novo diagnóstico deve ser repetido sempre que houver alguma alteração no processo de produção, ou em indicadores de consumo de energia. É desejável se estabelecer um ciclo de execução com o auxílio da metodologia PDCA.

Neste trabalho, o diagnóstico energético da fábrica objeto de estudo foi dividido em três etapas sequenciais: pré-diagnóstico, diagnóstico e estudos de otimização energética.

O pré-diagnóstico objetiva um levantamento prévio e simplificado das informações mais relevantes de uma instalação, como o consumo de energia elétrica e de combustíveis, principais equipamentos instalados no local, tais como caldeiras, compressores de ar, compressores de refrigeração, motores elétricos e transformadores, e informações básicas relativas aos serviços fornecidos ou processos produtivos.

As informações levantadas através de um pré-diagnóstico possibilitam que se obtenha um conhecimento geral expedito do processo produtivo de uma determinada instalação e seu consumo energético. Essas informações devem ser utilizadas como pontos de partida para se estruturar a execução de um diagnóstico energético detalhado e ajudam para que este seja realizado com maior sucesso e eficácia.

Um pré-diagnóstico pode ser executado sem a necessidade de visitas em campo, ou seja, no ambiente fabril, tal qual está sendo realizado no âmbito do Projeto Eficind – Estudo de Prospecção de Potencial para a Eficiência Energética, um projeto coordenado pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Unicamp, em parceria com a Universidade de Brasília (UNB), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). O projeto visa efetuar uma caracterização nacional do potencial de eficiência energética de setores da indústria e do comércio, a fim de subsidiar os estudos de planejamento energético a longo prazo, executados pelo governo federal por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Ministério de Minas e Energia (MME). Este projeto fornece, através da internet, uma planilha eletrônica para preenchimento; posteriormente, a empresa respondente recebe um relatório padrão com os

resultados da análise dos dados levantados e eventuais recomendações gerais de possíveis melhorias na utilização de energia da instalação. O ANEXO A apresenta tal relatório padrão de pré-diagnóstico energético do Projeto Eficind, aplicado na fábrica de Poços de Caldas da empresa Danone.

Através da realização de um diagnóstico energético detalhado consegue-se identificar com precisão em que etapas do processo produtivo, ou equipamentos residem as principais oportunidades de ganhos de eficiência energética e se consegue estimar a magnitude destes ganhos. No caso de processos, ou equipamentos pouco complexos e cujos ganhos estimados de eficiência podem ser obtidos com investimentos envolvendo rápidos períodos de retorno (“*payback*”), basta se realizar cotações de preços junto a fabricantes de confiança e uma análise econômica simples para se ter elementos suficientes, com os resultados do diagnóstico energético, para uma decisão sobre a realização, ou não, dos investimentos requeridos.

Já no caso de processos, ou equipamentos mais complexos, com diversos parâmetros operacionais regendo o seu bom funcionamento, e sobretudo quando as magnitudes dos investimentos requeridos e seus períodos de retorno forem mais elevados, o diagnóstico energético precisa ser complementado através de estudos de otimização energética destes processos, ou equipamentos. Estes estudos devem contemplar, em geral, balanços de massa, de energia e, quando justificado, também de disponibilidade termodinâmica, além de análises econômicas mais elaboradas, envolvendo, se necessário, análises de sensibilidades dos resultados obtidos em relação a parâmetros sobre os quais se tenha incertezas significativas.

No Capítulo 6 são apresentados alguns estudos de otimização, que posteriormente se transformaram em projetos e foram implantados na fábrica da Danone em Poços de Caldas.

Um diagnóstico energético pode ser executado basicamente de duas formas e cabe à direção de cada empresa tomar a decisão pela escolha que for mais conveniente para a sua realidade. Uma opção para executar um trabalho de diagnóstico energético é utilizando uma equipe formada por funcionários da própria empresa. Essa equipe pode ser multifuncional, com funcionários de diversas áreas, que devem apresentar um bom conhecimento técnico sobre fundamentos de eletricidade, termodinâmica, mecânica e hidráulica, bem como conhecimentos operacionais sobre os equipamentos e processos da empresa. A outra opção para executar um diagnóstico energético é terceirizando o trabalho, através da contratação de uma ESCO (*Energy Service Company*).

ESCOs são empresas de engenharia especializadas em serviços de conservação de energia, ou melhor, em promover a eficiência energética e de consumo de água nas instalações de seus clientes, utilizando-se primordialmente de contratos de performance (www.abesco.com.br, acessado em 17/11/2013).

Os serviços oferecidos por uma ESCO são divididos em várias etapas, buscando a identificação de oportunidades para: reduzir gastos com energia em suas várias formas de utilização, avaliar a confiabilidade de fornecimento e possibilidade de substituição parcial ou integral do insumo energético em consumo, avaliação de atrativos e oportunidades econômicas, incluindo sugestões viáveis, assessoramento de contratação de financiamentos, implantação das oportunidades identificadas e *start-up* das implementações, incluindo o Plano de Medição & Verificação (www.abesco.com.br, acessado em 17/11/2013).

2.2. Sistemas de Gestão da Energia na Indústria

Empresas que investem em projetos de eficiência energética podem economizar recursos, ganhar competitividade e amenizar a pressão sobre o aumento da oferta de energia. Postergar parte do investimento no aumento da oferta de energia permite às empresas liberarem recursos para outras prioridades, sem perda de qualidade, segurança no abastecimento e com ganhos sociais e ambientais. Ou seja, a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada, a preços mais baixos, sem a necessidade de novas obras e com efeitos positivos para o meio ambiente.

As organizações não podem controlar os preços da energia, as políticas governamentais ou a economia mundial, mas elas podem melhorar o modo como gerenciam a energia que consomem. A melhoria do desempenho energético pode proporcionar benefícios imediatos para uma organização pela maximização do uso de suas fontes de energia e dos bens relacionados a ela, reduzindo assim tanto o custo como o consumo. A organização, através da implantação de um sistema de gestão contribui para a redução do esgotamento de recursos energéticos e mitigação dos efeitos mundiais do uso de energia, como o aquecimento global.

Um sistema de gestão é uma estrutura comprovada para gerenciar e continuamente melhorar as políticas, procedimentos e processos de uma organização. Esse conceito é adotado em diversas áreas organizacionais, o que inclui a gestão da energia.

Assim como qualquer sistema de gestão, um sistema de gestão da energia pode ser implantado de forma muito simples, contendo o mínimo de informações e controles que possibilitem aos seus usuários tomarem decisões para manter ou melhorar os resultados da organização. Da mesma forma, um sistema de gestão da energia pode ser implantado com alto grau de complexidade, considerando a utilização de muitas informações de diversas áreas ou processos de uma organização.

Independente do porte ou complexidade de um sistema de gestão da energia é de fundamental importância a precisão das informações utilizadas. Essas informações podem ser adquiridas de forma manual, através de uma pessoa designada para tal função, ou de forma automática via instrumentos de medição e sistemas eletrônicos. Não há dúvida de que, estando previamente definidas e validadas, as informações adquiridas automaticamente certamente serão mais seguras e confiáveis do que as informações coletadas manualmente, por minimizarem os riscos de interferências e erros humanos. É importante mencionar também que a utilização de sistemas automatizados para aquisição de informações para gestão da energia, por si só, ajuda a melhorar a gestão global de uma organização, proporcionando maior agilidade na disponibilização das informações e liberando a mão de obra para realização de outras atividades, normalmente mais nobres.

Uma forma básica e simples para se agrupar as informações e organizar um sistema de gestão da energia pode ser através da utilização do *software* Excel. Esta planilha eletrônica permite analisar dados e realizar cálculos, além de criar tabelas e gráficos.

Com a evolução da tecnologia da informação, foram desenvolvidos, a partir de sistemas de gestão utilizados em diferentes áreas das organizações, diversos *softwares* ou sistemas dedicados para a gestão da energia. Estes *softwares* veem evoluindo constantemente e possibilitam a integração entre os diversos sistemas de gestão de uma organização.

É possível e recomendável que o sistema de gestão da energia esteja integrado com o sistema de gestão da produção em uma instalação industrial. Essa integração possibilita ao sistema de gestão da energia utilizar informações de processos disponíveis no outro sistema, tais como vazões, pressões, temperaturas e volumes de produção. Esses dados podem ser agregados

às informações de consumos de energéticos para se obter e monitorar o rendimento energético de equipamentos específicos, a eficiência energética de um setor produtivo e, principalmente, se obter o consumo específico de energia, por exemplo em kWh/ton de produção.

Através de um sistema de gestão da energia se pode implantar e gerenciar os indicadores de eficiência energética de uma fábrica, fundamentais quando se deseja obter redução do consumo específico de energia, redução de custo e aumento da produtividade.

Os fabricantes de *softwares* dedicados para a gestão da energia se desenvolveram a tal ponto que podem ofertar seus sistemas em plataformas ou estruturas básicas, que permitem ser formatadas ou configuradas em função da demanda ou necessidade de cada cliente. O produto final pode ser customizado de forma a melhor atender as necessidades de cada organização.

Por exemplo, o cliente pode escolher as informações que deseja monitorar e definir as variáveis a serem utilizadas para os cálculos internos, de modo a obter os resultados que deseja monitorar e controlar. É possível, também, se definir o formato dos relatórios e gráficos a serem gerados pelo sistema e enviar automaticamente essas informações para diferentes níveis hierárquicos da organização. O envio das informações é estabelecido através de filtros pré-definidos em função do que cada um desses níveis necessite, ou deseje receber.

Cabe a cada organização definir uma estrutura funcional para operar o sistema de gestão da energia. Essa estrutura pode ser formada por uma ou mais pessoas, dependendo do grau de complexidade e do nível de detalhe com que a organização deseja tratar o assunto. Qualquer que seja a situação é fundamental que seja designado um responsável pela gestão do sistema e tratamento das informações e ações por este geradas.

É desejável que o responsável pelo sistema de gestão da energia possua formação técnica compatível com a função designada, pois, além de tornar cada vez mais eficientes as instalações, sistemas e equipamentos, esse profissional deverá também responder a dois desafios: avaliar a demanda energética necessária ao atendimento das necessidades atuais e futuras da instalação, bem como adquirir ou contratar no mercado o suprimento desta demanda.

Para se obter sucesso com a implantação de um sistema de gestão da energia é necessário que a empresa conceda autonomia, ou certos poderes para tomada de decisão às pessoas responsáveis pelo sistema. É fundamental, também, que a alta administração da empresa se envolva e apoie esta iniciativa.

No Capítulo 7 desta dissertação é apresentado o histórico de implantação e evolução do sistema de gestão da energia na fábrica da Danone em Poços de Caldas. O Capítulo 9 traz uma proposta de “*upgrading*” deste sistema, visando à certificação pela norma ISO 50001.

3. A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E BEBIDAS E OS LATICÍNIOS NO BRASIL

3.1.A indústria de alimentos e bebidas no Brasil

O sistema RAIS de estatísticas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) registrou 45,4 mil empresas na indústria de alimentos e bebidas brasileira em 2010. A indústria da alimentação é o destino de 57% da produção agrícola brasileira. Estima-se que o valor bruto da produção dos principais produtos agropecuários do País em 2012 foi de R\$ 214 bilhões (ABIA/CNI, 2012).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA), o faturamento das empresas deste segmento industrial somou R\$ 431,6 bilhões em 2012, sendo R\$ 353,6 bilhões em alimentos e R\$ 78,0 bilhões em bebidas. Esse desempenho coloca o setor como o segundo maior em valor bruto de produção da indústria de transformação, atrás apenas da indústria petroquímica (<http://www.abia.org.br>, acessado em 22/06/2013).

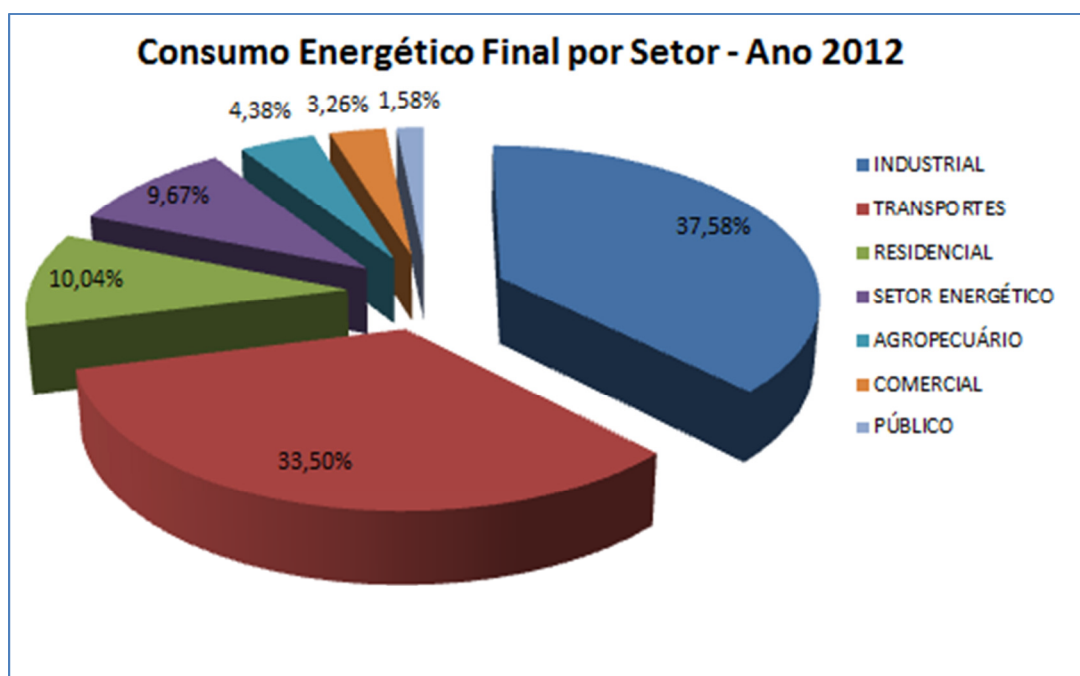
Do total de vendas, US\$ 43,4 bilhões foram exportados naquele ano, o que equivale a R\$ 84,8 bilhões, ou 19,6% das vendas totais do setor e 17,9% do faturamento total das exportações brasileiras. De outro lado, as importações de alimentos foram bem menos significativas e concentradas em trigo, totalizando US\$ 5,6 bilhões.

Embora os alimentos semi-elaborados tenham grande peso nos resultados totais das exportações desta indústria, os segmentos que exportam alimentos processados alcançaram posições de liderança no comércio mundial, de acordo com a ABIA. Os produtores de açúcares, carnes e derivados, suco de laranja, café solúvel e farelo de soja são os cinco principais segmentos exportadores de produtos industrializados e, no caso dos três primeiros, eles são líderes mundiais.

Em 2012, este segmento industrial empregou 1.632.600 trabalhadores (<http://www.abia.org.br>, acessado em 22/06/2013).

3.2. Consumo de energia por setor no Brasil

A Figura 3.1, gerada a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2013, apresenta a participação dos setores da economia no consumo energético final total do Brasil em 2012. Através desta figura observa-se que o setor industrial é o maior consumidor de energia, representando 37,58% do consumo total de energia final no Brasil. O segundo maior consumidor de energia é o setor de transportes com 33,50%, seguido pelo setor residencial, com 10,04%.



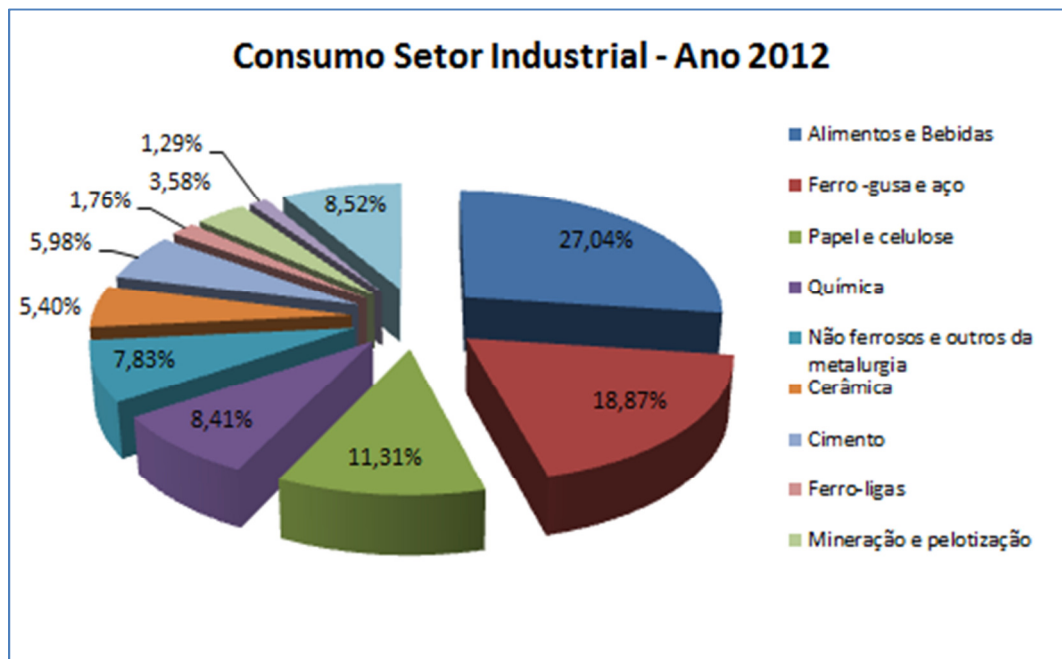
Fonte: elaboração própria a partir dos dados do BEN (MME, 2013)

Figura 3.1: Participação dos setores da economia brasileira no consumo total de energia final em 2012

O BEN sub-divide o setor industrial em 11 segmentos: alimentos e bebidas, ferro-gusa e aço, papel e celulose, química, não ferrosos e outros da metalurgia, cerâmica, cimento, ferro-ligas, mineração e pelotização, têxtil e outros setores da indústria.

A Figura 3.2 mostra a participação percentual destes segmentos no consumo industrial total de energia no País em 2012. Esta figura revela que a indústria de alimentos e bebidas é o maior segmento consumidor, representando 27,04% do consumo energético industrial total no Brasil. O

segmento de ferro-gusa e aço é o segundo maior consumidor com 18,87%, seguido pela indústria de papel e celulose com 11,31%.



Fonte: elaboração própria a partir de dados do BEN (MME, 2013)

Figura 3.2: Participação percentual dos segmentos industriais do BEN no consumo energético industrial total em 2012

3.3.Composição da indústria de alimentos e bebidas

Uma primeira divisão que se pode fazer da indústria de alimentos e bebidas é no segmento de alimentos, ou produtos alimentares e o segmento de bebidas.

Dentro do segmento de alimentos, ou produtos alimentares destacam-se os seguintes grupamentos industriais:

- Abate de animais e a produção de conserva de carnes;
- Fabricação e o refino de açúcar;
- Beneficiamento de leite e a fabricação de laticínios;
- Beneficiamento, moagem e torrefação de produtos alimentares;
- Produção de conservas de bens vegetais;

- Atividades de pesca e correlatas;
- Produção de balas, chocolates e produtos afins;
- Produção de artigos de padaria,
- Fabricação de massas alimentícias e biscoitos;
- Refino e a preparação de óleos comestíveis;
- Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais.

No segmento de bebidas, destacam-se:

- Produção e engarrafamento de bebidas alcoólicas - cervejas, chopes, maltes, vinhos, aguardentes, etc;
- Produção e engarrafamento de bebidas não alcoólicas - refrigerantes e sucos concentrados;
- Gaseificação e engarrafamento de águas minerais.

A Tabela 3.1 apresenta os investimentos anunciados pelas empresas em segmentos da indústria de alimentos e bebidas no Brasil, no período de 2009 a 2012.

Tabela 3.1: Investimentos dos segmentos da indústria de alimentos e bebidas no Brasil, em R\$ milhões, no período de 2009 a 2012

Setores	2009	2010	2011	2012
Carnes	2.083	2.399	555	1.728
Açúcar	1.264	832	1.593	135
Laticínios	979	1.990	1.759	1.435
Sucos	60	307	56	540
Óleos e Gorduras	86	1.021	191	575
Cafés e Cereais	182	343	468	556
Chocolate	323	671	218	456
Derivados de Trigo	444	735	677	953
Conservas Vegetais	414	362	1.051	4
Diversos	1.490	1.540	3.044	579
Bebidas	7.250	5.831	6.010	4.167
Total	14.685	16.111	15.713	11.135

Fonte: ABIA - Balanço Anual 2012 e Perspectivas Para 2013 (Anuncio das Empresas)

Esta tabela mostra que o segmento de carnes tem liderado o volume de investimentos em três dos quatro anos deste período, na indústria da alimentação. Os laticínios são o segmento que mais investiu, na indústria de alimentos, em 2011; em 2010 e 2012 eles ocuparam o segundo lugar entre os maiores investidores nesta indústria. A Tabela 3.1 também revela que o montante

de investimentos destinados para o segmento de bebidas é bastante significativo e está muito próximo dos valores destinados para a indústria da alimentação.

No Brasil a indústria de laticínios está presente em todas as regiões do País, aparecendo de forma mais marcante nas regiões Sul e Sudeste. Ela vem se destacando, em termos de faturamento, na indústria de alimentação nos últimos anos, ficando atrás apenas dos produtores de derivados de carne, beneficiamento de café, chá e cereais e indústria de açúcares. A Tabela 3.2 apresenta o faturamento dos principais segmentos da indústria de alimentos e bebidas em 2012.

Tabela 3.2: Faturamento dos segmentos da indústria de alimentos e bebidas no Brasil, de 2010 a 2012

SEGMENTOS	Fat 2010 R\$ bilhões	Fat 2011 R\$ bilhões	Fat 2012 R\$ bilhões	Var %	Part%
Derivados de Carne	65,96	79,10	88,74	12,2	25,09
Beneficia/o de Café, Chá e Cereais	35,87	40,64	46,88	15,4	13,26
Acúcares	37,69	42,19	42,08	-0,2	11,90
Laticínios	33,14	38,07	42,20	10,9	11,93
Óleos e Gorduras	29,30	34,53	40,93	18,5	11,57
Derivados do Trigo	19,95	21,43	23,46	9,5	6,63
Derivados de Frutas e Vegetais	15,62	18,18	20,36	12,0	5,76
Diversos	17,69	20,54	24,17	17,7	6,83
Chocolate, Cacau e Balas	10,50	11,52	12,38	7,5	3,50
Desidratados e Supergelados	6,47	7,44	9,06	21,8	2,56
Conservas de Pescados	2,48	2,90	3,38	16,8	0,96
Total Alimentos	274,643	316,526	353,644	11,73	100,0
Total Bebidas	55,999	66,790	77,971	16,74	
Total Indústria da Alimentação	330,643	383,317	431,615	12,60	

Fonte: ABIA - Balanço Anual 2012 e Perspectivas Para 2013

A indústria de alimentos e bebidas envolve um grande número de tipos de processos industriais nos vários segmentos homogêneos que a compõem.

De uma forma resumida, as principais operações consumidoras de energia térmica na indústria de alimentos e bebidas são:

- Secagem;
- Processos de separação (evaporação e destilação);
- Cozimento;
- Esterilização com aplicação de calor.

As principais operações consumidoras de energia elétrica na indústria de alimentos e bebidas são:

- Refrigeração, resfriamento e congelamento – na maior parte dos casos por compressão mecânica;
- Extrusão – pressurização mecânica do produto através de bocais;
- Moagem, trituração ou pulverização;
- Bombeamento de fluídos.

As demais operações consumidoras de energia na indústria de alimentos e bebidas são:

- Aquecimento / fornecimento de vapor ou de água quente;
- Assamento, tostagem – aquecimento em atmosfera controlada;
- Branqueamento – imersão em vapor ou em água fervendo para ajudar a preservação ou descascamento;
- Concentração por evaporação a vácuo – uso de calor e vácuo para retirar água de uma solução;
- Desidratação – geralmente pela aplicação de calor, mas também por alternativas que incluem a liofilização, a aplicação de microondas e de vácuo;
- Fermentação – aquecimento brando por períodos longos com fermento;
- Fritura;
- Mistura;
- Separação – pré-concentração de líquidos utilizando filtração mecânica. Inclui, também, peneiramento, filtração, ultra-filtração, uso de membranas e pressão osmótica;
- Limpeza – lavagem a quente de máquinas e instalações, frequentemente com água sob alta pressão;
- Aquecimento ou calefação, iluminação e condicionamento de ar em instalações prediais.

Em quase todos os processos da indústria de alimentos e bebidas é necessário água quente, ou vapor, gerado em caldeiras. O uso de fornos, secadores e equipamentos de refrigeração também é muito comum. O principal uso final da eletricidade na indústria de alimentos e bebidas é a força motriz, seguida pela refrigeração (ROCHA, BAJAY e GORLA, 2010).

Publicações com dados sobre consumos energéticos específicos na indústria de alimentos e bebidas são raras. A seguir são apresentadas duas tabelas com tais tipos de dados.

A Tabela 3.3 mostra consumos energéticos específicos, em MJ/t, por usos finais da energia, de produtos da indústria de alimentos e bebidas, enquanto que a Tabela 3.4 traz consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica de diversos produtos alimentícios na Holanda em 2001.

Através da Tabela 3.3 pode-se observar que a produção de café solúvel apresenta o maior consumo energético específico. Porém, o consumo final de energia neste segmento não é muito expressivo, por conta do pequeno volume de produção.

Tabela 3.3: Consumos energéticos específicos, em MJ/t, de produtos da indústria de alimentos e bebidas, por usos finais.

Cadeias produtivas e produtos	Força Motriz	C. P. (vapor)	C. P. (água quente)	A. D. (fornos)	A. D. (secadores)	Refrig.	Ilumin.	Total
Derivados de carne								
Carne Bovina	165,0	968,0	303,0	136,0	0,0	291,0	93,0	1.956,0
Carne suína	186,0	1.067,0	303,0	213,0	0,0	327,0	105,0	2.202,0
Frango	428,0	1.746,0	229,0	263,0	0,0	414,0	126,0	3.205,0
Abate e preparo de aves	761,0	1.746,0	229,0	263,0	0,0	409,0	150,0	3.558,0
Beneficiamento de café, chá e cereais								
Café torrado e moído	236,0	0,0	0,0	2.477,0	0,0	0,0	57,0	2.769,0
Café solúvel	1.098,0	4.980,0	5.661,0	0,0	14.072,0	0,0	263,0	26.074,0
Farinha de trigo (moagem)	124,0	0,0	14,0	0,0	276,0	0,0	30,0	444,0
Arroz beneficiado	121,0	205,0	0,0	0,0	58,0	0,0	29,0	413,0
Óleos e gorduras								
Refino de óleo de soja	391,0	2.870,0	339,0	0,0	935,0	0,0	94,0	4.629,0
Refino de óleos vegetais	333,0	2.924,0	189,0	0,0	322,0	0,0	80,0	3.847,0
Margarina	84,0	322,0	12,0	0,0	0,0	22,0	15,0	454,0
Derivados de leite								
Leite Pasteurizado	166,2	98,8	162,3	0,0	0,0	44,2	29,4	500,9
Leite longa vida - UHT	166,2	134,5	200,5	0,0	0,0	44,2	29,4	574,8
Leite em pó	506,8		470,1	0,0	5.574,9	0,0	121,6	9.324,6
Leite flavorizado	207,8	134,5	180,5	0,0	0,0	55,2	36,7	614,7
Leite condensado	108,5	964,7	0,0	0,0	0,0	0,0	58,5	1.132,0
Cremes de leite	624,7	347,6	466,4	0,0	0,0	0,0	149,9	1.588,6
Iogurtes	210,7	136,4	183,0	0,0	0,0	56,0	37,2	623,3
Queijos	207,8	134,5	180,5	0,0	0,0	55,2	36,7	614,7
Manteiga	93,2	964,7	0,0	0,0	0,0	24,8	16,5	1.099,2
Requeijão	640,6	346,9	466,4	0,0	0,0	0,0	153,7	1.607,6
Bebidas lácteas	210,7	136,4	183,0	0,0	0,0	56,0	37,2	623,3
Sorvetes		262,9	1.315,7	0,0	0,0	436,3	289,9	3.946,3
Açúcares								
Açúcar bruto	673,5		3.496,5	4,7	0,0	24,8	36,5	
Açúcar refinado	94,7	869,9	836,6	292,3	0,0	0,0	22,7	2.116,2
Derivados de trigo								
Biscoitos e bolachas	123,2	0,0	165,1	505,2	0,0	0,0	29,6	823,1
Panificação	157,7	298,4	0,0	505,2	0,0	0,0	37,8	999,1
Massas alimentícias	253,7	366,0	0,0	940,1	0,0	67,4	44,8	1.672,0
Derivados e frutas e vegetais								
Doces de frutas em pasta e massa	689,2		176,0	0,0	0,0	0,0	165,4	2.790,2
Extratos e concentrados de tomate	81,1	993,9	631,4	233,9	0,0	0,0	19,5	1.959,8
Diversos								
Preparo de alimentos para animais	273,7	269,0	47,8	415,3	0,0	0,0	65,7	1.071,5
Chocolate, cacau e balas								
Balas, confeitos e semelhantes	688,4	935,6	163,4	0,0	0,0	0,0	165,2	1.952,6
Chocolate em barras ou tabletes	226,3	467,8	33,7	350,8	0,0	0,0	54,3	1.132,9
Chocolate em pó	367,7	701,6	39,2	350,8	0,0	0,0	88,2	1.547,5
Bombons	462,1		0,0	0,0	233,9	122,8	81,6	2.654,5
Conservas de pescado								
Peixe enlatado em conservas	241,2		0,0	125,2	0,0	0,0	57,9	6.118,8
Peixes congelados	610,2	878,3	204,6	0,0	0,0	162,2	107,8	1.963,1
Pescado	335,3		204,6	0,0	0,0	89,1	59,2	2.442,3
Bebidas								
Cerveja, chope e malte	457,9	448,7	542,5	1.299,4	0,0	0,0	109,9	2.858,4
Refrigerantes	390,5	0,0	672,2	0,0	467,5	0,0	248,9	1.779,1
Suco e concentrado de laranja	1.075,0		280,5	2.105,0	0,0	0,0	257,9	4.770,6

C.P.: calor de processo; A.D.: aquecimento direto; Refrig.: refrigeração; Ilumin.: iluminação.

Fonte: Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria, Rocha et al 2010.

Tabela 3.4: Uso de energia para a produção de diferentes produtos alimentícios na Holanda em 2001

Produto	Consumo específico de eletricidade	Consumo específico de combustíveis e calor	Unidade
Setor de carnes			
Bovinos e Ovinos	341	537	MJ/t carcaça
Suínos	465	932	MJ/t carcaça
Aves	1008	576	MJ/t carcaça
Carne Processada	750	3950	MJ/t produto
Esquartejamento	234	1042	MJ/t material bruto
Setor de Peixes			
Filés frescos	129	6	MJ/t produto
Peixe Congelado	608	6	MJ/t produto
Peixe preparado e conservado	482	1062	MJ/t produto
Peixe desidratado e defumado	12	2077	MJ/t produto
Carne de peixe	684	6200	MJ/t produto
Frutas e vegetais			
Produtos de batatas	-	5722	MJ/t produto
Sucos não concentrados	250	900	MJ/t produto
Suco de tomate	125	4789	MJ/t produto
Frutas e vegetais congelados	738	1800	MJ/t produto
Cogumelos preservados	-	2898	MJ/t produto
Vegetais preservados no vinagre	-	2178	MJ/t produto
Ketchup	380	1700	MJ/t produto
Geléias	490	1500	MJ/t produto
Frutas e vegetais desidratados	1500	4500	MJ/t produto
Óleo cru e refinado	-	672	MJ/t produto
Produtos Lácteos			
Leite e produtos fermentados	241	524	MJ/t produto
Manteiga	457	1285	MJ/t produto
Leite em pó	1051	9385	MJ/t produto
Leite Condensado	295	1936	MJ/t produto
Queijo	1206	2113	MJ/t produto
Caseína e lactose	918	4120	MJ/t produto
Soro em pó	1138	9870	MJ/t produto
Amido e produtos de amido			
Amido de trigo	2960	8800	MJ/t produto
Amido de milho	1000	2331	MJ/t produto
Amido de batata	1425	3564	MJ/t produto
Alimentos preparados para animais			
Para animais de fazenda	-	475	MJ/t produto
Para animais domésticos	-	2306	MJ/t produto
Açúcares			
Açúcar refinado	555	5320	MJ/t produto
Polpa de beterraba	5	1820	MJ/t produto
Outros produtos			
Biscoitos doces	-	4581	MJ/t produto
Waffles e Wafers	-	3195	MJ/t produto
Sopas e caldos	-	7659	MJ/t produto
Massas	648	2	MJ/t produto
Farinha	420	30	MJ/t produto
Cacau	-	6384	MJ/t produto
Café não-torrado	141	1597	MJ/t produto
Café torrado	518	1997	MJ/t produto
Extratos de café em forma sólida	-	15675	MJ/t produto
Cerveja	19,5	153	MJ/t produto
Água mineral e refrigerantes	133	199	MJ/1000 L produto
Água aromatizada e refrigerantes sem açúcar	120	360	MJ/1000 L produto

Fonte: Energy Efficiency and Management in Food Processing Facilities, Lijun Wang 2009.

É possível observar, tanto na Tabela 3.2 quanto na Tabela 3.4, que os consumos energéticos específicos envolvidos na produção de carnes e derivados, e na produção de açúcar são significativos, porém não são os maiores entre os produtos listados nestas tabelas. No entanto, devido à sua grande importância para a economia nacional e pelos grandes volumes produzidos, estes segmentos industriais são tratados com maiores detalhes nas seções a seguir. Por conta de seu papel central neste trabalho, a indústria de laticínios também recebe um tratamento mais amplo neste capítulo.

3.4.Carne e seus derivados

Este segmento industrial compreende o abate de animais e a produção de carnes processadas e de seus subprodutos (gorduras, ossos, etc.). Os principais tipos de carnes processados por este ramo industrial são os de gado, porcos, aves, carneiros e bodes.

As rotas de processamento da carne variam de acordo com o tipo de carne e com o grau de processamento – só abate; abate e corte; abate, corte e processamento dos subprodutos. As principais operações unitárias envolvidas são o abate, remoção do couro, ou das penas, remoção das vísceras, fatiamento, processamento de subprodutos e refrigeração. Os produtos podem deixar as fábricas como carcaças inteiras, cortes primários, ou carne embalada. Algumas fábricas realizam um processamento adicional para produzir, por exemplo, salsichas (Wang, 2009).

Combustíveis são consumidos nesta indústria principalmente para a geração de vapor, enquanto que o principal uso da eletricidade é em motores elétricos, sobretudo naqueles que acionam compressores de sistemas de refrigeração e compressores de ar. As principais aplicações de aquecimento direto são em fornos e tanques de cozimento, defumadores e queimadores de gases residuais.

O processamento da carne é bem mais energo-intensivo do que o abate. O consumo energético específico varia bastante com o tipo de produto.

Neste segmento da indústria de alimentos, o consumo dominante de combustíveis é nas caldeiras, o maior consumo de vapor é no processamento de subprodutos, se consome bastante

água quente na remoção das vísceras e o maior consumo de energia elétrica é nos *chillers* (BROWN, HAMEL e HEDMAN, 1985).

Vários resíduos do processamento da carne e de seus derivados podem ser convertidos em energéticos, por exemplo, através da digestão anaeróbica. Sebos oriundos deste segmento industrial têm sido utilizados na produção de biodiesel em vários países, inclusive no Brasil.

3.5. Produção de açúcar a partir da cana de açúcar

As duas principais matérias-primas utilizadas na produção de açúcar no mundo são a cana de açúcar e a beterraba. No Brasil se produz açúcar a partir da cana desde os primórdios da colonização portuguesa.

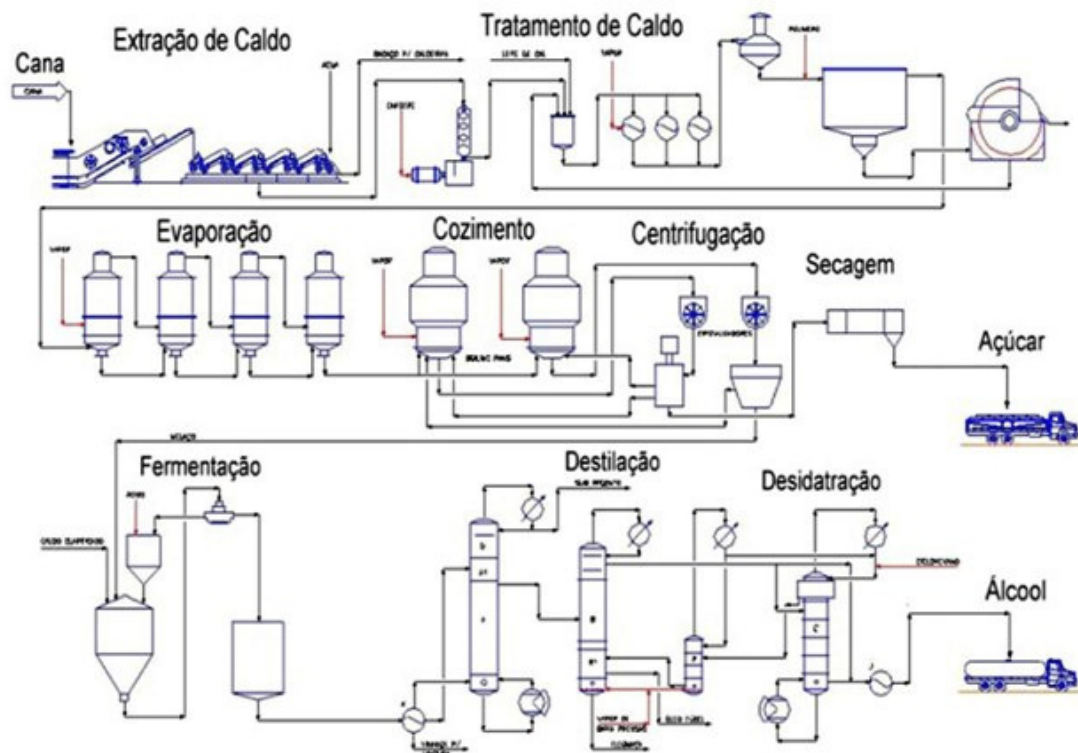
Independente da matéria prima utilizada, as etapas do processo de fabricação de açúcar são: preparação da matéria prima para a operação de extração; extração do caldo; purificação do caldo; evaporação; cristalização e recuperação do açúcar. As etapas mais energo-intensivas são a extração do caldo, sua purificação, a evaporação e a cristalização (WANG, 2009).

Energia térmica é requerida, sobretudo, nas operações de evaporação e cristalização, enquanto que energia elétrica alimenta motores elétricos que acionam bombas e operações de centrifugação.

Vapor usualmente supre as necessidades de energia térmica. Como tanto vapor e eletricidade são requeridos no processo de fabricação de açúcar e se dispõe de resíduos que podem ser utilizados como combustíveis, unidades de cogeração são tradicionalmente empregadas para fornecer estes dois insumos energéticos (ROSSI et al., 2013).

De fato, usinas modernas que produzem açúcar a partir da cana são autossuficientes em energia elétrica, gerada em unidades de cogeração que queimam o bagaço da cana e, mais recentemente, no Brasil, também parte da palha resultante da colheita da cana. As plantas de cogeração de tais usinas em geral empregam turbinas de contrapressão, que movimentam geradores elétricos e, também, as moendas de extração do caldo da cana. As tecnologias empregadas nas usinas de produção de açúcar e álcool permitem uma geração substancial de excedentes de energia elétrica, que podem ser vendidos para a rede pública (ROSSI et al., 2013).

A Figura 3.3 ilustra os processos de fabricação de açúcar e álcool, a partir da cana de açúcar, em uma mesma instalação.



Fonte: Rossi et al. (2013)

Figura 3.3: Processo produtivo de uma destilaria de álcool anexa a uma usina de açúcar, a partir da cana de açúcar

As etapas da fabricação de açúcar a partir da cana são (ROSSI et al., 2013):

- Lavagem da cana;
- Preparo para moagem ou difusão;
- Extração do caldo: moagem ou difusão;
- Purificação do caldo: peneiragem e clarificação;
- Evaporação do caldo;
- Cozimento;
- Cristalização da sacarose;
- Centrifugação: separação entre cristais e massa cozida;
- Secagem e estocagem do açúcar.

3.6.A Indústria de Laticínios

3.6.1. Introdução

Os produtos lácteos incluem o leite, assim como os seus derivados processados (geralmente fermentados). As fábricas que produzem estes alimentos pertencem à indústria de laticínios e se caracterizam pelo manejo de um produto altamente perecível, como o leite, que deve ser mantido sob vigilância e analisado corretamente durante todos os passos da cadeia de frio até sua chegada ao consumidor.

O leite é a matéria-prima para a fabricação de uma série de produtos, como bebida láctea, leite fermentado, coalhada, queijos, leite em pó, manteiga, creme de leite, requeijão, iogurte, doce de leite, leite condensado, leite pasteurizado (integral, semi-desnatado e desnatado), leite UHT, sorvetes, ricota, sobremesas lácteas, soro de leite, soro de leite em pó, etc.

Segundo Wang (2009), os principais produtos da indústria de laticínios são o leite fluido, em suas diversas formas de conservação, os queijos, a manteiga, os sorvetes e o leite em pó. O soro é um importante subproduto da fabricação de queijos.

O porte dos laticínios varia de instalações familiares que produzem um ou dois produtos, cooperativas de médio porte, até grandes complexos industriais que processam uma variedade de produtos com um elevado grau de automação.

Aquecimento, resfriamento, concentração, secagem e limpeza (CIP) são as principais operações realizadas nos laticínios. Estas cinco operações são responsáveis por cerca de 50% do consumo energético na produção de leite fluido e 96% do consumo energético envolvido na produção de leite em pó (WANG, 2009).

Neste segmento industrial se gasta muito combustível na geração de vapor. Segundo Wang (2009), os principais usos da energia elétrica são no acionamento de motores elétricos, em geral, e no emprego destes na movimentação de compressores de ar de refrigeração.

3.6.2. Processamento de leite fluído

O leite fluído é o produto dominante dos laticínios. O conteúdo de gordura do leite é 4%, ou mais. Leite semi-desnatado e leite desnatado são produzidos através da retirada parcial, ou total da nata do leite, respectivamente.

O leite pode ser pasteurizado a 72 °C por 15 s, ou esterilizado a 115 °C por 20 min. Açúcar é adicionado ao leite condensado. Vitaminas, como a A e a D também podem ser adicionadas ao leite fluído (Wang, 2009).

Segundo Brown, Hamel e Hedman (1985), no processamento de leite fluído o consumo dominante de combustível é nas caldeiras, o maior consumo de vapor é na pasteurização, ou esterilização e o *chiller* é o equipamento que requer mais energia elétrica.

3.6.3. Fabricação de sorvetes, manteiga e queijos

Creme de leite é a corrente rica em gordura oriunda do processo de desnatamento do leite. A percentagem de gordura no creme normalmente se situa entre 35% e 45%.

O creme de leite é utilizado para produzir sorvetes e manteiga. O creme precisa ser pasteurizado, para assegurar que estes produtos estarão livres de bactérias patogênicas. Para a produção de manteiga, o creme precisa passar por um processo de cura. Algumas vezes, culturas de bactérias são adicionadas ao creme para fermentar açúcares presentes no creme, transformando-as em ácido láctico, a fim de se obter sabores e aromas desejados em certos tipos de manteiga. O creme curado é mantido a baixas temperaturas durante cerca de 15 h para cristalizar os glóbulos de gordura. O creme é batido, em seguida, formando grânulos de manteiga. Resultam duas fases deste processo: manteiga semi-sólida e leite desnatado, ou leiteiro. Este último é drenado da manteiga. Pode-se adicionar sal à manteiga, para melhorar o seu gosto e estender a sua vida útil (WANG, 2009).

O queijo é um produto concentrado do leite. Os principais sólidos no queijo são proteínas e gorduras. Os queijos podem ser classificados de acordo com teor de umidade, teor de gordura, ou características de sua cura. O queijo coalho é fabricado diretamente a partir do leite, utilizando culturas de bactérias e enzimas proteolíticas. Bactérias lácticas convertem açúcares no leite, principalmente a lactose, em ácido láctico. As enzimas proteolíticas, ou coalho, causam a coagulação das proteínas no leite, sobretudo a proteína denominada caseína, produzindo coalhada. Esta é aquecida em seguida, para se remover parte de sua umidade, através de uma drenagem. O líquido residual é soro de leite. O queijo fresco tem um alto grau de acidez e não passa pelo processo de cura proteolítica. Queijos fundidos são obtidos a partir de queijo coalho; eles passam por tratamentos térmicos adicionais para assegurar uma longa durabilidade (WANG, 2009).

3.6.4. Fabricação de leite em pó

O leite em pó integral tipicamente contém de 2 a 5% de água, enquanto que o leite em pó desnatado contém 2%, ou menos de umidade e 1,5%, ou menos de gordura. Além de substituir o leite fresco, o leite em pó também pode ser empregado para desenvolver produtos alimentícios modernos, como produtos para bebês, misturas lácteas para café, caseína em pó e pós de sorvetes.

O processo produtivo do leite em pó envolve duas etapas: evaporação à vácuo e secagem em *spray dryers*, com um, dois, ou três estágios. A primeira etapa é muito importante em termos de busca de ganhos de eficiência energética, pois o consumo energético de modernos evaporadores de múltiplo efeito com recompressão do vapor é cerca de dez vezes menor do que o consumo de energia dos *spray dryers*. A fabricação de leite em pó é a que apresenta o maior consumo específico de energia no segmento de laticínios (WANG, 2009).

3.6.5. Fabricação de iogurtes

O iogurte é um PLF - Produto Lácteo Fresco, obtido pela fermentação do leite com cultivos pró-simbióticos de *Streptococcus thermophilus* e o *Lactobacillus bulgaricus*.

O processo de fabricação do iogurte envolve muita tecnologia e ingredientes de qualidade. Estudos da bioquímica do leite chegaram ao processamento desse produto. A produção do iogurte tem início na seleção das matérias primas, como o leite, leite em pó e açúcar, que precisam ser de alta qualidade. O processamento de iogurtes é dividido nas seguintes etapas mais importantes:

3.6.5.1. Padronização

A padronização é o ajuste do teor de gordura desejado para o leite a ser destinado para cada tipo de produto, neste caso o iogurte. Normalmente é realizada uma retirada parcial da gordura do leite com o objetivo de manter constante o teor no produto final. A gordura ou creme de leite retirado neste processo é separado para ser utilizado posteriormente em alguns produtos específicos, produzidos na mesma unidade fabril, ou para ser comercializado com outras fábricas que utilizem este produto em seus processos de fabricação.

No processo de padronização é utilizado um equipamento denominado desnatadeira, centrífuga ou centrifugadora. Este equipamento promove a separação dos componentes (glóbulos de graxos ou gordura) via sedimentação dos sólidos e líquidos, ou líquidos imiscíveis de diferentes densidades, separando-os.

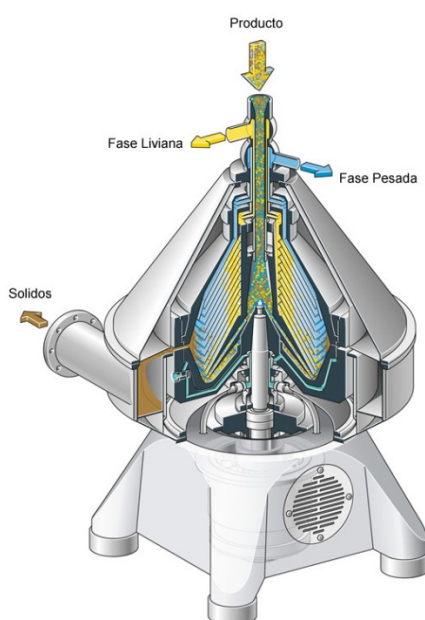
Nas centrífugas, o leite é colocado no rotor do equipamento, que possui um raio apreciável. Nele, o leite gira em um movimento circular uniforme a uma elevada velocidade angular. Nesta condição, a força centrífuga que age sobre o produto promove a separação de suas fases.

Existem vários modelos e diversos fabricantes de centrífugas, que investem em desenvolvimento tecnológico e atualmente oferecem equipamentos robustos e eficientes do ponto

de vista energético. A Figura 3.4 apresenta o sistema de funcionamento de uma centrífuga clássica, fabricada com eixo na posição vertical.

Na centrífuga, o leite é admitido a uma temperatura em torno de 45 °C. Por ação da força centrífuga, os sólidos são depositados no fundo e na lateral, o leite sobe pela área externa dos pratos e o creme, que é mais leve, segue para o centro, saindo do rotor através de tubulações.

Em uma grande fábrica de laticínios as centrífugas são equipamentos que apresentam um considerável consumo de energia, por conta de seus motores elétricos, normalmente de grande porte e alta rotação.



Fonte: www.centripar.com.br/tag/centrifugas-mausa/, acesso em 16 de julho de 2014

Figura 3.4: Funcionamento de uma centrífuga

3.6.5.2. Homogeneização

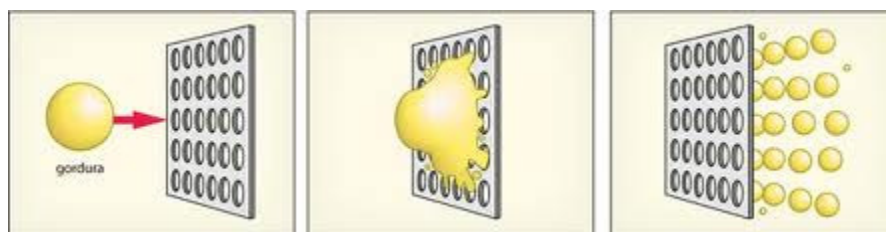
Após a padronização da quantidade de gordura o leite passa por um equipamento chamado homogeneizador, o qual trabalha sob alta pressão com o objetivo de reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura e obter no produto acabado uma consistência lisa e cremosa.

A homogeneização é uma operação utilizada para modificar as propriedades funcionais ou a qualidade sensorial dos produtos laticínios e exerce pouco, ou nenhum efeito no valor

nutricional, ou na vida de prateleira desses produtos. Essa operação tem como objetivo prolongar a estabilidade da emulsão da gordura, reduzindo mecanicamente o tamanho dos glóbulos até que atinjam um diâmetro em torno de 1 μm a 2 μm . A diminuição do tamanho dos glóbulos evita a floculação e, portanto, impede que a nata se separe.

A Figura 3.5 apresenta, de forma ilustrativa, o processo de diminuição dos glóbulos de gordura do leite, em um processo de homogeneização.

A homogeneização rompe os glóbulos de gordura em glóbulos muito menores. Em consequência disso, diminui a tendência de aglomeração dos glóbulos e a coalescência. Essencialmente, todo leite homogeneizado é produzido por meio mecânico, sendo forçado a passar através de um pequeno orifício a alta velocidade. A desintegração dos glóbulos originais de gordura do leite é atingida por uma combinação de fatores, como turbulência e cavitação. A homogeneização tornou-se um processo industrial padrão, universalmente praticado como meio de estabilizar a emulsão de gordura contra a ação da gravidade.



Fonte: www.revistaescola.abril.com.br, acesso em 29 de setembro de 2013

Figura 3.5: Diminuição dos glóbulos de gordura no leite

A homogeneização pode ser feita em duas fases. Esse processo consiste em fazer o leite passar por uma segunda válvula a uma pressão menor (3,5 MPa a 5 MPa). Com isso, evita-se o reagrupamento dos glóbulos e consegue-se que a emulsão tenha maior estabilidade. O leite, entre 65°C e 70°C, entra com forte pressão (25 MPa) em um tubo em cujo extremo encontra-se uma verga cônica de aço ou ágata que se mantém na posição desejada graças a um sistema de regulação externo. O leite deve vencer a resistência oferecida pela trava e abrir o caminho entre ele e a parede. A ruptura dos glóbulos se produz pelo choque com a trava e pela laminação que sofrem ao sair por um canal estreito. Nesse momento, o leite expande-se e provoca a explosão dos glóbulos.

Estes pequenos glóbulos distribuídos no leite têm uma menor tendência de unir-se, separando-se da fase aquosa do leite, resultando no fenômeno chamado cremeação. Existem diversas outras maneiras de se homogeneizar um produto, incluindo o uso de energia ultra-sônica com a finalidade de desintegrar partículas.

O estado físico e a concentração da fase gordurosa contribuem de forma decisiva no processo de homogeneização. Se conduzido com o leite frio, condição na qual, em geral, a gordura deste está no estado sólido, o processo é completamente ineficaz. A alta pressão causa a formação de glóbulos de gordura menores e a dispersão da fase lipídica aumenta com a elevação da temperatura de homogeneização e, além disso, o processo é facilitado com a diminuição da viscosidade do leite à temperaturas mais altas. A temperatura de homogeneização varia entre 60 °C e 70 °C e a pressão varia entre 10 MPa e 25 MPa (100 bar a 250 bar), dependendo do produto.

A Figura 3.6 ilustra um homogeneizador de alta pressão comercializado no mercado.

O processo de homogeneização também apresenta um expressivo consumo de energia elétrica nas grandes fábricas de laticínios, pois os motores utilizados nos homogeneizadores são de média e alta potência, normalmente de 350 CV e podendo chegar até 700 CV. Estes equipamentos evoluíram muito; atualmente os fabricantes oferecem produtos com alto nível de automação e controle, e dotados de inversores de frequência. O avanço tecnológico está possibilitando que os homogeneizadores se tornem mais produtivos e confiáveis do ponto de vista operacional e mais eficientes com relação ao consumo de energia.



Fonte: www.spx.com, acesso em 29 de setembro de 2013

Figura 3.6: Homogeneizador de alta pressão fabricado pela APV

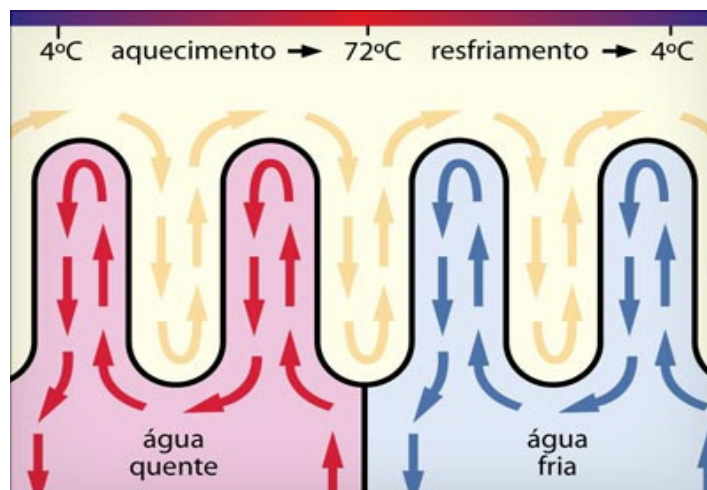
3.6.5.3. Pasteurização

O equipamento chamado pasteurizador aquece toda a mistura do iogurte a uma temperatura suficiente para eliminar as bactérias indesejáveis que possam estar presentes na mistura. Ou seja, a pasteurização é um tratamento térmico que visa eliminar as bactérias patogênicas do leite. Neste processo há redução da população das bactérias deteriorantes.

A pasteurização é um dos processos mais importantes no tratamento do leite. Quando realizado de forma correta, este processo confere ao leite uma validade muito mais longa.

A temperatura e o tempo de pasteurização são fatores importantes que precisam ser especificados de forma precisa para garantir a qualidade do leite e suas exigências com relação ao período de validade. A temperatura de pasteurização para o leite de tipo regular, homogeneizado e pasteurizado HTST (*High Temperature and Short Time*) é normalmente de 72 °C a 75 °C por 15 a 20 segundos.

A Figura 3.7 ilustra, de forma simplificada, um processo de pasteurização, onde o leite entra no sistema a uma temperatura de 4 °C, é aquecido até 72 °C e, em seguida, é resfriado novamente a 4 °C.



Fonte: www.revistaescola.abril.com.br, acesso em 29 de setembro de 2013

Figura 3.7: Processo de pasteurização de leite

Existe também uma técnica de pasteurização lenta, com aquecimento a uma temperatura de 65 °C durante 30 minutos. Esta técnica não é utilizada em grandes laticínios e na fabricação de iogurte em grande escala, mas apresenta algumas vantagens que a torna atraente para pequenos volumes, como, por exemplo, na fabricação de queijos artesanais.

O processo de pasteurização pode variar de país para país, de acordo com a legislação local. Uma exigência comum a todos os países é que o tratamento de calor deve garantir a destruição dos microorganismos indesejáveis e todas as bactérias patogênicas, sem danificar o produto (www.tetrapak.com/br, acesso em 29 de setembro de 2013).

Um pasteurizador é um trocador de calor, normalmente de placas planas. Este equipamento é um grande consumidor de vapor e água gelada na fabricação de iogurte. Existem várias ações que podem ser aplicadas a este equipamento de modo a torná-lo mais eficiente, tais como seu correto dimensionamento, utilização de material adequado na sua fabricação, em função do tipo da aplicação, utilização de placas na menor espessura possível, execução de correto procedimento de limpeza das placas e aplicação da técnica de regeneração, sempre que possível.

A Figura 3.8 mostra um típico trocador de calor de placas planas utilizado como pasteurizador. Este modelo é fabricado pela APV, uma tradicional empresa de equipamentos para a indústria de alimentos e bebidas, com larga experiência no segmento de laticínios.



Fonte: www.spx.com, acesso em 03 de outubro de 2013

Figura 3.8: Trocador de calor de placas planas fabricado pela APV

A aplicação da técnica de regeneração nos processos térmicos, principalmente na pasteurização, na indústria de laticínios, se tornou uma prática comum e vem sendo adotada praticamente em todas as fábricas. Esta técnica consiste em utilizar a energia térmica contida no produto, em cada estágio do processo, para trocar calor com o mesmo produto na mudança de estágio. Por exemplo, pode-se utilizar a baixa temperatura do leite que está entrando no pasteurizador para resfriar o mesmo leite que está saindo do estágio de aquecimento. Dessa forma é possível se economizar energia no estágio em que o produto necessita ser aquecido e, também, no estágio em que o produto necessita ser resfriado. Equipamentos corretamente dimensionados podem atingir níveis de regeneração em torno de 85%.

Em alguns trocadores de calor utilizados para pasteurização são instaladas seções de pré-resfriamento com a utilização de água de torre de resfriamento.

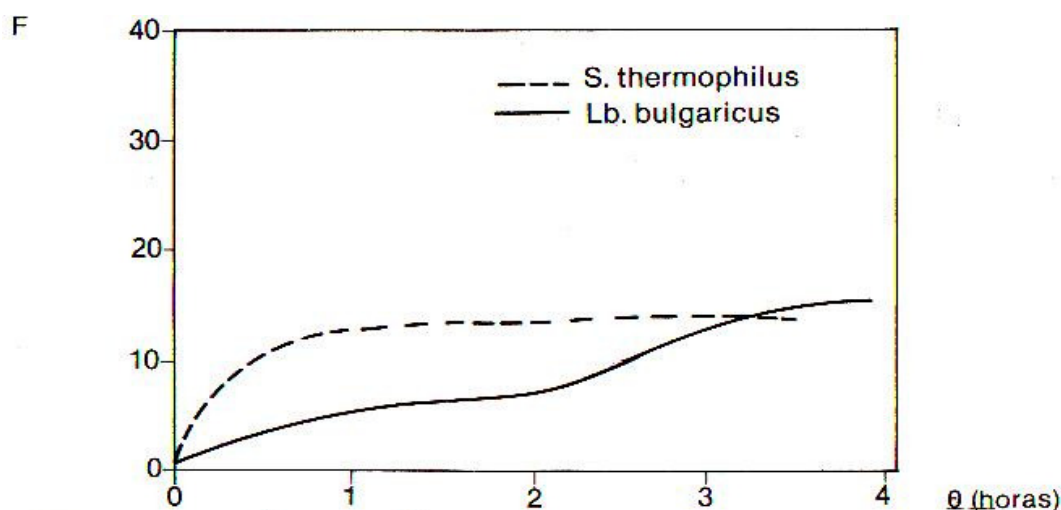
Existe uma técnica chamada Integração de Processos (IP) ou “*pinch point*”, que pode ser aplicada a esses casos para se recuperar energia. Essa técnica é abordada no Capítulo 5, item 5.5.3.5.

3.6.5.4.Fermentação

Durante a fermentação, as bactérias do iogurte, *Streptococcus termophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*, crescem simbioticamente, produzindo ácido láctico e compostos aromáticos, além de formar o coágulo. No início da fermentação, a acidez do leite menor que 20° D (graus Dornic) favorece o crescimento do *S. termophilus*, estimulado por alguns aminoácidos livres (especialmente a valina) produzidos pelo *L. bulgaricus*, o que provoca um aumento de acidez. Nesta fase, o *S. termophilus* libera ácido fórmico estimulante do desenvolvimento do *L. bulgaricus*.

Ao se atingir aproximadamente 46° D, o meio se torna pouco propício ao *S. termophilus*, favorecendo o rápido desenvolvimento do *L. bulgaricus*, com produção de acetaldeído, o principal responsável pelo aroma característico do iogurte. Com o aumento de acidez, o pH se aproxima de 4,6, ponto isoelétrico da proteína do leite, e tem-se a coagulação.

No final da fermentação, é desejável que a proporção numérica entre as duas espécies de microrganismos seja similar. Uma curva típica do crescimento microbiano pode ser observada na Figura 3.9, onde: F = fator de multiplicação do microrganismo e θ = tempo de fermentação (www.ufscar.br, acesso em 4 de outubro de 2013).



Fonte: www.cca.ufscar.br/espacobiotec/temas2.htm, acesso em 04 de outubro de 2013

Figura 3.9: Curva de desenvolvimento simbiótico da cultura láctica durante a fermentação do iogurte

Continua-se a fermentação até que a acidez atinja de 85° D a 90° D. Nessa fase do processamento é que ocorre a diferenciação da produção de iogurte natural ou batido.

O equipamento utilizado para o processo de fermentação na produção de iogurte em escala industrial é o tanque de fermentação. Este tanque, fabricado em formato cilíndrico normalmente com aço inoxidável, é dotado de serpentina tubular, agitador, sistema de pressurização e isolamento térmico.

O tanque de fermentação é fabricado com parede dupla e entre as essas duas paredes é instalada a serpentina, também chamada de camisa, que envolve a parte interna da parede lateral do tanque e tem como objetivo promover o processo térmico através do aquecimento ou resfriamento do produto. Normalmente se utiliza água, aquecida ou resfriada para a realização do processo térmico.

O agitador é um acessório utilizado para promover a agitação ou mistura do produto. Este dispositivo é dotado de motor elétrico, redutor mecânico, eixo, selo de vedação e hélice.

O sistema de pressurização é utilizado para evitar a contaminação do produto no interior do tanque por microrganismos ou outros contaminantes presentes no ar ambiente. Usualmente se utiliza ar comprimido sob baixa pressão, em torno de 0,5 bar. Como forma de evitar contaminações por microrganismos ou outros contaminantes que, eventualmente, possam estar presentes no ar comprimido, são utilizados filtros microbiológicos.

Assim como a serpentina, o isolamento térmico também é instalado entre as duas paredes do tanque, porém este segundo fica ao lado da parede externa e tem o objetivo de manter a temperatura constante no interior do tanque. Normalmente os materiais utilizados para isolamento térmico dos tanques utilizados na indústria de laticínios são a lã de rocha e o poliuretano injetado. O isopor também é utilizado, porém em menor escala.

O processo de fermentação não é considerado um grande consumidor de energia na fabricação de iogurte, mas existem várias boas práticas que podem ser adotadas para se obter um melhor rendimento operacional e uma maior eficiência energética, tais como uma manutenção e uma limpeza adequados do sistema, e o tratamento das águas de aquecimento e resfriamento com produtos químicos de modo a evitar incrustações que prejudicam a troca térmica. Deve-se, também, buscar um correto dimensionamento do redutor mecânico e do motor elétrico do agitador, utilizar inversor de frequência quando for aplicável e utilizar motor elétrico de alto rendimento. O correto dimensionamento e manutenção do isolamento térmico evita perda de calor para o meio ambiente. Finalmente, é recomendável se aplicar boas práticas em instalações de ar comprimido, como a utilização de soprador de ar com alta vazão e baixa pressão para pressurização do tanque.

3.6.5.5. Resfriamento

Quando o produto atinge a acidez desejada ele é resfriado. O resfriamento é necessário para se interromper o processo de fermentação e evitar o aumento excessivo da acidez.

O processo de resfriamento pode ser realizado mantendo o produto no próprio tanque de fermentação. Esta forma de resfriamento é realizada através da substituição da água quente,

anteriormente utilizada no processo de fermentação, por água gelada na camisa do tanque. Nessa etapa o agitador pode ser acionado para acelerar o processo de resfriamento do produto.

Outra forma de efetuar o resfriamento é, após a etapa de fermentação, se enviar o produto para outro tanque, passando-o, durante o processo de transferência, por um trocador de calor. O tanque que recebe o produto também deve ser hermético. É necessário tomar cuidado para que nenhuma das características até então obtidas sejam perdidas, como, por exemplo, a viscosidade. Nesse caso o resfriamento é realizado normalmente com a utilização de um trocador de calor de placas planas, que utiliza água gelada a 2 °C para promover o resfriamento. A água gelada utilizada para resfriamento é produzida em uma central frigorífica, que é uma grande consumidora de energia elétrica.

3.6.5.6. Adição de base de frutas

Alguns tipos de iogurtes recebem a polpa, também chamada de base, ou pedaços de frutas, de acordo com suas características. As bases de frutas são adicionadas para propiciar o sabor característico ao iogurte, como morango, ameixa, pêssgo e muitos outros encontrados facilmente nas prateleiras dos supermercados e demais estabelecimentos que comercializam este produto.

As bases de frutas são produzidas por outras empresas que processam e fornecem esse material para as fábricas de iogurte através de baldes, containers ou tanques, de plástico ou de aço inoxidável.

A dosagem da base de fruta é realizada através de sistemas de bombeamento. O mais comum é se empregar bombas de deslocamento positivo (helicoidais ou de lóbulos), mas também se utilizam bombas pneumáticas para esta operação.

A adição da polpa de fruta é feita em tanque provido de misturador dinâmico, ou na própria linha de embalagem.

3.6.5.7. Embalagem

O iogurte é embalado ou envasado em máquinas de alta tecnologia sem nenhum contato manual, mantendo-se, assim, a sua qualidade e frescor.

Atualmente existem dois tipos de embalagens utilizadas na fabricação de iogurtes: as embalagens pré-formadas e as embalagens termo-formadas.

As embalagens pré-formadas podem ser fabricadas dentro ou fora da mesma fábrica de iogurtes, pela própria empresa ou por uma empresa terceira contratada para tal finalidade. Como estas embalagens são fabricadas fora da linha de envase, em qualquer destes caso, elas recebem o nome de pré-formadas. A Figura 3.11 ilustra produtos envasados em embalagens pré-formadas.

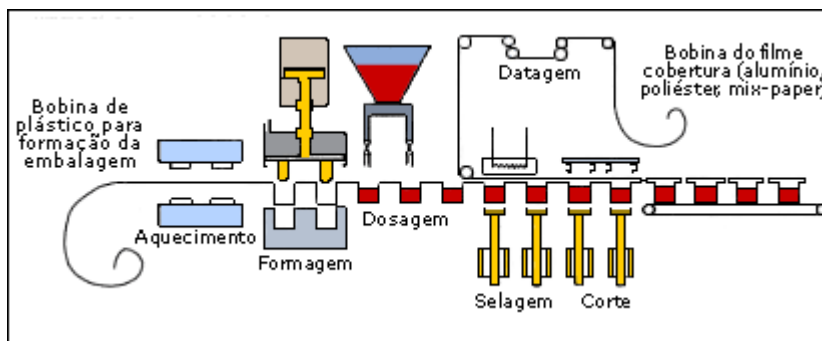


Fonte: www.danone.com.br, acesso em 05 de outubro de 2013

Figura 3.10: Produtos envasados em embalagens pré-formadas

As embalagens termoformadas são produzidas no momento do envase. A máquina de envase, neste caso chamada de termoformadora, recebe a bobina de plástico para formação da embalagem.

A termoformagem é um processo aplicado para dar nova forma a um plástico por meio de calor. Tal plástico pode ser de diferentes composições e espessuras e é adquirido na forma de bobinas. O processo consiste em aquecer o plástico em um molde, onde se aplica pressão para copiar o formato; em seguida ele deve ser resfriado para conservar sua nova forma. A Figura 3.12 ilustra um processo de termoformagem.



Fonte: www.dinieper.com.br, acesso em 05 de outubro de 2013

Figura 3.11: Processo de termoformagem

Este é um processo contínuo e após a formação do pote o iogurte é dosado.

O dosador é um acessório de alta precisão acoplado à termoformadora, que deve receber cuidados especiais para se evitar contaminações ao produto e garantir a dosagem correta para cada unidade produzida. A Figura 3.13 apresenta produtos envasados em embalagens termoformadas.



Fonte: www.danone.com.br, acesso em 05 de outubro de 2013

Figura 3.12: Produtos envasados em embalagens termoformadas

Após a etapa de envase é realizada a selagem, ou fechamento do pote com um filme de alumínio, poliéster ou *mix-paper*.

3.6.5.8. Conservação

Depois de embalado o iogurte segue para a câmara frigorífica para conservação, onde permanece estocado sob temperatura controlada. Por se tratar de produto altamente perecível,

com curto tempo de vida, em média com validade de 35 dias, o iogurte permanece o mínimo tempo possível estocado na fábrica. É comum o produto ser produzido e expedido no mesmo dia.

A temperatura ideal para conservação do iogurte varia de 1 a 10 °C e é obtida através da aplicação de equipamentos de refrigeração industrial. A câmara frigorífica utilizada para conservação do iogurte utiliza resfriadores com expansão direta do gás refrigerante, normalmente a amônia, ou utiliza água resfriada em *chiller*.

O sistema de refrigeração utilizado para resfriamento nos processos de fabricação e nas fases de conservação e estocagem do iogurte é responsável pelo maior consumo de energia elétrica desse segmento industrial, podendo chegar a 40% do total de energia elétrica utilizada. Os equipamentos empregados nesta área da indústria têm recebido constantes avanços tecnológicos e existem várias técnicas que podem ser aplicadas para se obter uma melhor eficiência energética.

3.6.5.9. Higienização

A higiene é um fator essencial no processamento de alimentos. Assim como em qualquer outro segmento da indústria de laticínios, os equipamentos utilizados na fabricação de iogurte exigem um severo processo de higienização.

Sempre que um equipamento utilizado em contato direto com o produto está iniciando a sua operação, ou após a finalização de um ciclo operacional, este equipamento deve passar por um processo de higienização.

Na indústria de laticínios o sistema ou técnica mais utilizada para higienização dos equipamentos é o CIP (*Clean In Place*). O CIP é uma técnica que foi desenvolvida por volta do ano 1950 e atualmente está bastante difundida em vários segmentos industriais, como alimentos e bebidas, cosméticos, farmacêutico e outros. O CIP é utilizado com muita eficácia para limpeza das superfícies internas dos equipamentos onde o produto tem contato direto, tais como tubulações, bombas, tanques, homogeneizador, centrífuga, pasteurizador, linhas de envase e

outros. O CIP é utilizado em praticamente todos os equipamentos utilizados na fabricação do iogurte.

O sistema CIP foi concebido para efetuar a limpeza e desinfecção automática sem a necessidade de qualquer desmontagem ou montagem muito significativa. Outros benefícios de uma estação CIP bem concebida incluem: segurança do operador (os operadores não precisam entrar nos tanques e recipientes para limpá-los e não precisam manusear materiais de limpeza potentes) e tempo de máquina parada minimizado entre ciclos de fabricação ou troca de produtos.

Este sistema utiliza água sob alta temperatura e alta pressão, e produtos químicos para tornar a higienização mais eficiente. Por outro lado, o CIP representa um custo operacional e consumo energético de alta relevância para a indústria de laticínios. Em uma fábrica de iogurtes o CIP pode chegar a consumir 35% do vapor e 40% da água total produzidos.

Para tornar um sistema CIP mais eficaz para a higienização dos equipamentos e mais eficiente em termos de consumo de produtos químicos, água e energia, várias ações podem ser adotadas, tais como aplicar alto nível de automação e controle e utilizar instrumentos de medição confiáveis e seguros para monitoramento de temperaturas, vazões, pressões, etc.

Procedimentos operacionais e planos de manutenção bem elaborados e confiáveis são fundamentais para se obter um bom desempenho em uma estação de CIP. Mesmo que o sistema possua um alto nível de automação e controle é indispensável que os operadores sejam bem treinados e utilizem procedimentos padronizados para operá-lo.

4. A FÁBRICA DE LATICÍNIOS OBJETO DE ESTUDO

4.1.A presença global da Danone

Este trabalho tem como objeto de estudo a fábrica da Danone instalada na cidade de Poços de Caldas, MG.

O Grupo Danone é uma empresa multinacional de origem francesa que atua nos segmentos de laticínios, águas, nutrição infantil e nutrição clínica. A empresa estabeleceu que: “Sua missão é levar saúde e nutrição para o maior número de pessoas”.

Presente em mais de 120 países, o grupo conta com aproximadamente 90 mil colaboradores em todo o mundo. É o terceiro maior grupo alimentício da Europa, o sétimo maior fabricante de alimentos do mundo e o primeiro em países como a França, Espanha e Itália.

Segundo a empresa de consultoria britânica InterBrands, somente a marca Danone está avaliada em US\$ 4,48 bilhões, ocupando a posição de número 63 no ranking das marcas mais valiosas do mundo (www.danone.com.br, acessado em 09/11/2013).

No mundo, a Danone possui quatro ramos de negócios:

- Produtos lácteos frescos com a marca Danone: core do grupo e líder mundial no segmento;
- Bebidas – águas: vice-líder em águas no mundo. Possui marcas como Bonafont, Evian e Volvic;
- Nutrição infantil: recentemente a Danone adquiriu a empresa Numico e passou a atuar nos segmentos de saúde e nutrição; e
- Divisão *Medical Nutrition* da Danone. É líder em nutrição clínica, com 100 anos de experiência em pesquisa e desenvolvimento de produtos nutricionais que complementam o protocolo de tratamento de doenças, visando a melhora de resultados clínicos.

No ano de 2013 o Grupo operou, a nível global, no segmento de produtos lácteos frescos, com 48 fábricas instaladas por todos os continentes do mundo (www.danone.com.br, acessado em 09/11/2013).

4.2.A Danone no Brasil

A Danone iniciou suas atividades no Brasil em 1970, com o lançamento do primeiro iogurte com polpa de frutas, que rapidamente se revelou um sucesso de vendas no país.

Em dezembro de 2000 a Danone adquiriu a marca Paulista, que está presente no Brasil desde 1933, quando iniciou a sua trajetória de sucesso com a distribuição porta a porta de leite em garrafas de vidro. Esta aquisição fez com que a Danone consolidasse a sua posição no mercado de produtos lácteos frescos (PLF). A união das empresas faz da marca a maior do Brasil, um importante passo na expansão de seus negócios no mercado brasileiro.

Hoje, a empresa opera por meio de suas fábricas de PLF localizadas em Poços de Caldas, MG e Maracanaú, CE. Sua matriz está situada em São Paulo e a empresa possui vários escritórios de vendas e centros de distribuição pelo Brasil.

O faturamento da Danone no Brasil em 2013 foi da ordem de R\$ 2 bilhões. A empresa vem crescendo a uma média de 15% ao ano no País.

No Brasil a Danone possui cerca de 38% da fatia de mercado de PLF. A empresa tem como objetivo, neste momento, não o aumento da fatia de mercado, mas sim fazer com que este mercado cresça. Este é um mercado que fatura cerca de R\$ 5 bilhões por ano e possui grandes oportunidades de expansão. Um dos focos da Danone é elevar o consumo per capita de iogurtes no Brasil, atualmente de 6,5 kg ao ano. A diretoria da empresa aposta no aumento do consumo, que poderá chegar a 9 kg até 2016; a Espanha e a França possuem consumos anuais per capita de iogurtes de 26 kg e 33 kg, respectivamente. Mais do que fatia de mercado, pretende-se desenvolver o tamanho do bolo (www.estadao.com.br, publicado em 17/10/2012).

4.3.Os compromissos assumidos e declarados pela empresa

Em seu portal na Internet a empresa informa que: “Desde 1972 o modelo de negócios da Danone se fundamenta na crença de que não há desempenho econômico sem prestar atenção nas pessoas”.

Segundo Antoine Riboud, fundador e ex-presidente do Grupo Danone: “Responsabilidade corporativa não termina nos portões da fábrica, ou nas portas dos escritórios. Os empregos e negócios criados são parte central da vida dos empregados, e a energia e matéria prima que nós consumimos mudam nosso planeta. Opinião publica existe para lembrar-nos da nossa responsabilidade no mundo industrializado de hoje” (www.danone.com.br, acessado em 09/11/2013).

A missão Danone de “levar saúde, por meio de alimentos, ao maior número de pessoas possível” reflete este modelo de negócios.

Em 2001, o Grupo passou a adotar ferramentas de avaliação comuns para todas as unidades da Danone no mundo, capacitando times em todos os países para incluírem o desenvolvimento sustentável nas estratégias do dia a dia.

4.4. Redução das emissões de CO₂

Em 2007 o Grupo Danone estabeleceu a ambiciosa meta de reduzir em 30% suas emissões de carbono no período de apenas quatro anos (2008-2012).

A Danone calcula suas emissões de gases por meio das metodologias GHG Protocol e Danprint.

O GHG Protocol é, atualmente, a metodologia mais usada no mundo para quantificar e gerenciar emissões de gases de efeito estufa (GEEs). O primeiro inventário publicado da Danone é relativo ao ano de 2010 e cobriu todos os aspectos de operação da sua divisão de produtos lácteos frescos, além de avançar em aspectos importantes ao contemplar as emissões que não estão sob sua responsabilidade direta ao longo do ciclo de vida de seus produtos. Abrange, por exemplo, de forma pioneira, as emissões indiretas resultantes da atividade leiteira, atividade que corresponde a mais de 80% das emissões indiretas da Danone.

Danprint é uma ferramenta exclusiva da Danone para avaliar o ciclo de vida de seus produtos e colaborar com a gestão das emissões de GEEs. Em linha com a norma PAS 2050, a ferramenta baseia-se no conceito de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O DanPrint determina as

emissões de gases de efeito estufa em todo o ciclo de vida do produto, desde as matérias-primas até o descarte pós-consumo (www.danone.com.br, acessado em 09/11/2013).

Em 2011, a planta fabril de Poços de Caldas se tornou a primeira dentre as 48 fábricas do Grupo Danone a contar com uma caldeira alimentada com biomassa. Com a iniciativa, a empresa substituiu o óleo combustível por uma fonte de energia renovável (cavaco, cascas de cereal e briquetes), que proporciona uma melhor relação com o meio ambiente.

Com isso, a Danone reduziu em 65% as emissões de CO₂ da fábrica de Poços de Caldas e diminuiu em 95% o uso de combustível fóssil.

Maiores detalhes sobre o projeto de implantação da caldeira de biomassa são apresentados no capítulo 6.

4.5.Gestão da energia na Danone e na fábrica de Poços de Caldas

Após o início da utilização de ferramentas de avaliação comuns e com o aprimoramento dos sistemas de gerenciamento, a Danone iniciou a implantação de sistemas de gestão da energia em suas fábricas. Assim como ocorreu em algumas outras grandes empresas nacionais e multinacionais, a Danone detectou essa necessidade e atualmente a gestão da energia é tratada com alto grau de importância em todas as suas unidades produtivas.

O capítulo 7 desta dissertação apresenta com maiores detalhes o sistema de gestão da energia implantado na fábrica de Poços de Caldas.

Com a evolução da gestão da energia a empresa identificou a necessidade de se desenvolver profissionais para trabalhar neste assunto e, assim, foi criado o *Energy Team*, um grupo de especialistas formado por profissionais alocados em praticamente todas as fábricas. O objetivo do *Energy Team* é cuidar do gerenciamento energético em suas respectivas plantas, identificar e desenvolver oportunidades de redução do consumo de energia e água, elaborar procedimentos operacionais e, principalmente, compartilhar e replicar as boas práticas aplicadas.

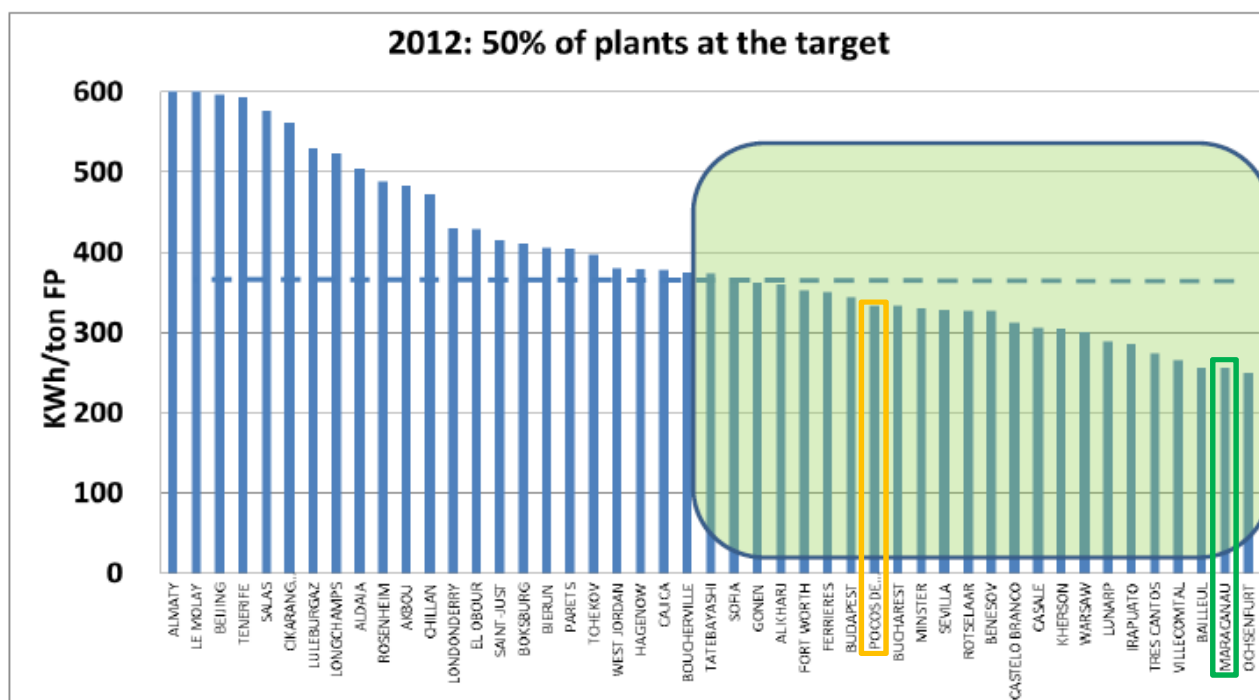
Atualmente todas as informações ligadas à gestão da energia são compartilhadas entre as fábricas do Grupo e existe uma meta global, revisada periodicamente, para se buscar uma contínua redução do consumo energético específico das fábricas.

A Figura 4.1 apresenta os indicadores de consumo de energia² das fábricas da Danone. Em 2012 a meta global de consumo energético específico foi de 370 kWh/ton.

Através da Figura 4.1 pode-se observar que a fábrica mais eficiente da Danone, em termos de consumo energético específico, é a fábrica de Ochsenfurt na Alemanha, com 250 kWh/ton.

A fábrica de Maracanaú (Fortaleza CE), no Brasil, ocupa a segunda melhor posição, com 265 kWh/ton. O excelente consumo energético específico apresentado por essa fábrica, perante o Grupo, se explica em função das técnicas de engenharia e boas práticas aplicadas na concepção do projeto de construção, processo de fabricação utilizado para atender os tipos de produtos produzidos e sistema de gerenciamento adotado.

A fábrica de Poços de Caldas ocupa a décima sétima posição na Figura 4.1, com 320 kWh/ton. Essa fábrica apresenta a melhor redução de consumo entre as fábricas do Grupo, uma vez que, no ano de 2005, este indicador era de 545 kWh. As ações que propiciaram esta redução de consumo são apresentadas no Capítulo 6.



Fonte: DEW – Danone Engineering Worldwide (Engenharia Global da Danone)

Figura 4.1 Consumos energéticos específicos das fábricas da Danone

² O indicador de consumo de energia (kWh/ton) é utilizado como parâmetro e referência para as fábricas. Porém, deve ser levado em consideração o perfil de consumo dos diferentes produtos (SKUs) produzidos em cada fábrica.

A meta interna³ para consumo específico de energia da companhia a nível global para o ano de 2020 já foi definido, e é de 250 kWh/ton. Trata-se de uma meta bastante desafiadora, mas existe um consenso entre os integrantes do *Energy Team* de que ela é possível de ser alcançada através de muito esforço das pessoas envolvidas com o tema, através dos sistemas de gestão da energia e mudando algumas tecnologias hoje utilizadas.

Novas medidas de conservação de energia que poderão ajudar a fábrica de Poços de Caldas a atingir a meta adotada pelo Grupo são apresentados no Capítulo 8.

4.6. A fábrica de Poços de Caldas

4.6.1 Produtos e processos

A fábrica da Danone em Poços de Caldas é considerada de grande porte, dentro do segmento PLF. Essa fábrica processou em 2013 uma média de 40.000 toneladas de leite por mês. Ela é uma das três unidades produtivas mais importantes para o Grupo Danone, junto com as fábricas de Longchamps na Argentina e Irapuato no México.

A Figura 4.2 apresenta uma vista aérea da fábrica de Poços de Caldas.

Os produtos da fábrica da Danone em Poços de Caldas são divididos, de uma forma geral, em alguns grandes grupos:

- Iogurtes firmes (Actívia, Iogurte Natural, Corpus)
- Iogurtes líquidos (Dan'Up, Actívia Líquido)
- Petit suisse (Danoninho, Paulista)
- Actimel
- Sobremesas (Danete, Flan)

³ Esta é uma meta interna da empresa e não um compromisso formalizado e assumido publicamente com a sociedade.



Fonte: Fábrica de Poços de Caldas da Danone

Figura 4.2: Imagem aérea da fábrica da Danone em Poços de Caldas, MG

Existe uma norma da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) que classifica os produtos lácteos. A Tabela 4.1 apresenta, de uma forma resumida, a caracterização dos produtos lácteos produzidos na fábrica de Poços de Caldas.

Pode-se observar na Tabela 4.1 que existem diferenças entre os tipos de produtos lácteos frescos. Os fabricantes desses produtos são obrigados perante a Lei, e sob pena de multas, a cumprir as principais exigências relacionadas às proporções de teor de proteína láctea, soro de leite e amido.

Na fábrica de Poços de Caldas são produzidas todas as famílias de produtos mencionados na Tabela 4.1, ou seja, leite fermentado e iogurte, bebida láctea e *petit suisse*.

Para produzir essa grande gama de produtos a fábrica de Poços de Caldas é equipada com uma ampla variedade de equipamentos de processamento, que podem operar simultaneamente para alimentar as vinte linhas de enchimento, ou embalagem. Os processos utilizados nas indústrias de laticínios são detalhados no capítulo 3, seção 3.6.

Tabela 4.1: Caracterização dos produtos lácteos

TABELA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS LÁCTEOS			
	Leite Fermentado e iogurte	Bebida Láctea	Petit Suisse
Definição	Leite fermentado é o produto resultante da fermentação do leite pasteurizado por fermentos lácteos próprios. Todo iogurte é um leite fermentado, mas nem todo leite fermentado é um iogurte. A diferença está no microrganismo que faz a fermentação.	Bebida Láctea é o produto obtido a partir do leite ou derivados do leite. Podem ser fermentadas ou não, adicionadas ou não de outros ingredientes lácteos e não lácteos.	Petit Suisse é um queijo fresco, não maturado e com alta umidade. É obtido por coagulação do leite com o coalho e/ou enzimas específicas e/ou bactérias específicas.
Quantidade de base láctea	Mínimo 70%	Mínimo 51%	Mínimo 70%
Teor de proteína láctea	2.9g/100g de base láctea	1.2g/100g de base láctea	6g/100g de base láctea
Soro de leite	Adição facultativa	OBRIGATÓRIO	Adição facultativa
Amido	Máximo 1%	Quantum satis	Quantum satis

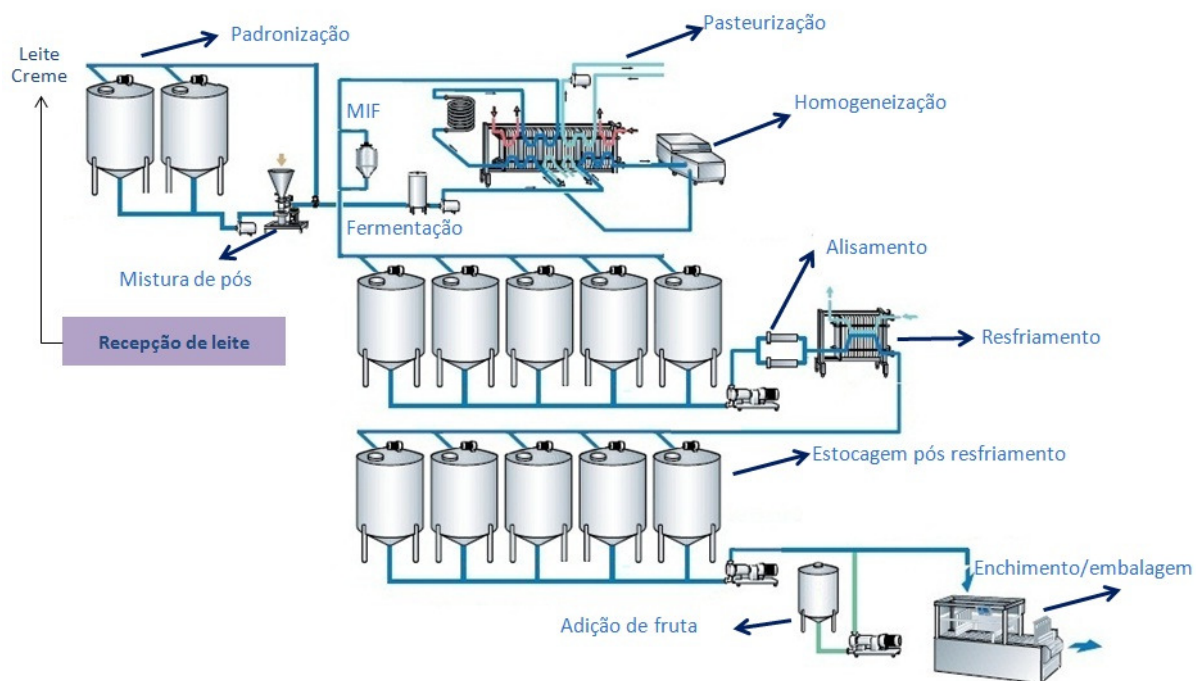
Fonte: Fábrica de Poços de Caldas da Danone

A Figura 4.3 apresenta, de uma forma resumida e genérica, as etapas mais importantes do processo produtivo utilizado na fábrica de Poços de Caldas.

4.6.2 O setor de utilidades

Os insumos conhecidos como “utilidades” são essenciais em praticamente todos os tipos de indústrias. Não se concebe um sistema de manufatura com os níveis esperados de produtividade e qualidade sem um suprimento adequado de água, energia elétrica, vapor, ar comprimido, gases especiais, etc. Nas indústrias farmacêuticas, de alimentos e de cosméticos, nas quais boa parte das atividades exige ambientes controlados e salas limpas, os cuidados com as utilidades aumentam, visando a garantia do fornecimento em volume, qualidade e parâmetros adequados, no momento certo e, principalmente, assegurando o grau de limpeza desejado, para evitar contaminações.

Resumo do processo produtivo



Fonte: Tetra Pack Processing Systems AB, 1995

Figura 4.3: Processo de produção de PLF

As utilidades mais críticas para essas indústrias são aquelas designadas como “sanitárias”, porque entram em contato com os produtos, ou com os ambientes limpos em que estes são produzido e, portanto, podem comprometer a qualidade final da produção. Desse grupo de insumos, submetido a rigoroso processo de qualificação, os itens mais representativos são as águas tratadas (potável, purificada e para injetáveis), água gelada e de resfriamento, ar comprimido, gases especiais (oxigênio, nitrogênio e ozônio) e vapores.

Em seus guias de engenharia, a *Danone Engineering Worldwide* (DEW) define os padrões de equipamentos e instalações, e recomenda as boas práticas a serem utilizadas no setor de utilidades, assim como em todos os demais setores das fábricas do Grupo Danone.

A DEW disponibiliza um guia de engenharia específico para cada tipo de instalação que fornece utilidades tais como ar comprimido, refrigeração industrial, geração e distribuição de vapor, estação de tratamento de água, estação de tratamento de efluentes, entre outros. Estes guias estão em constante processo de evolução e são alterados conforme necessidade, por

exemplo, em função de uma mudança tecnológica. Toda alteração proposta para algum guia de engenharia do DEW é compartilhada internamente com os profissionais e especialistas daquele respectivo assunto através da rede corporativa e, após análise e validação deste grupo, a alteração é aprovada e disponibilizada para utilização.

Como foi mencionado na seção anterior deste capítulo, a fábrica de Poços de Caldas é considerada grande e complexa e, conseqüentemente, este conceito também se aplica ao seu setor de utilidades. Nessa fábrica, este setor produz ou fornece os seguintes serviços ou insumos básicos: energia elétrica, refrigeração industrial, vapor, ar comprimido, nitrogênio, água, vácuo e tratamento de efluentes industriais.

A energia elétrica é fornecida para a fábrica pelo Departamento Municipal de Energia (DME). Poços de Caldas é um dos poucos municípios do Brasil que possui uma concessionária municipal de energia elétrica, com capacidade de geração, distribuição e comercialização de eletricidade. A fábrica de Poços de Caldas é alimentada com energia elétrica em alta tensão (grupo tarifário A, subgrupo A4), na tensão de 13,8 kV. A demanda contratada no final do ano 2013 foi de 9.400 kW em todos os horários, ou seja, nos períodos de ponta e fora da ponta. As tensões utilizadas nos setores de produção e administração são 380 / 220 V (tensão de linha / tensão de fase). Para rebaixar a tensão de 13,8 kV para os níveis de utilização, a fábrica emprega diversos transformadores, estrategicamente dispostos em diferentes locais, somando, juntos, uma potência instalada de 27.235 kVA.

A demanda por refrigeração é normalmente alta em uma indústria de laticínios, e essa necessidade é maior ainda quando se trata da fabricação de PLF, como é o caso da fábrica de Poços de Caldas. Nessa fábrica se utiliza refrigeração para processamento e conservação dos produtos. A central frigorífica da fábrica é dotada de nove compressores do tipo parafuso, utilizados em cinco sistemas frigoríficos:

- *Chillers* para produção de água gelada a 4 °C (evaporação a 0 °C e condensação a 35 °C);
- Sistema *booster* para produção de água gelada a 4 °C (evaporação a 0 °C / condensação a 35 °C);
- Produção de água gelada pelo processo Actimel a 2 °C (evaporação a -2 °C / condensação a 35 °C);
- Células de resfriamento rápido a 2 °C (evaporação a -10 °C / condensação a 35 °C);

- Túnel de resfriamento com glicol a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (evaporação a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ / condensação a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Os compressores frigoríficos utilizados na fábrica de Poços de Caldas são de grande porte; suas capacidades instaladas variam de 300 kW a 500 kW. Considerando todos os compressores e equipamentos periféricos, a Central de Refrigeração possui uma potência elétrica instalada em torno de 5.500 kW.

Para a produção de vapor a fábrica dispõe de duas caldeiras com capacidade de produção de 20 ton vapor/h cada, sendo uma alimentada por biomassa e a outra alimentada por óleo de Baixo Ponto de Fluidez (BPF). A segunda caldeira é mantida como reserva, para atender à demanda de vapor da fábrica nos casos de intervenções, manutenções programadas, inspeções de segurança ou alguma falha na caldeira de biomassa. O vapor é produzido nas caldeiras e distribuído para a fábrica sob uma pressão de 9 kgf/cm^2 ; esta pressão é reduzida em função da necessidade de cada processo, no momento do consumo. O projeto de instalação da caldeira de biomassa foi muito importante para a Danone Brasil em diversos aspectos e é apresentado com detalhes no Capítulo 6.

Ar comprimido é um outro insumo de utilidades amplamente utilizado na fábrica de Poços de Caldas para acionamento de válvulas, freios, bombas, dispositivos pneumáticos, pressurização de tanques, venturis, dosadores de produtos e outras aplicações diversas. No ano de 2013 foi desenvolvido o projeto de uma nova central de ar comprimido para a fábrica e se iniciou o processo de substituição dos compressores tipo parafusos lubrificados por compressores isentos de óleo. Essa é uma concepção já adotada por outras fábricas do Grupo Danone, sendo recomendada no Guia de Engenharia para Aplicações de Ar Comprimido, desenvolvido pelo DEW.

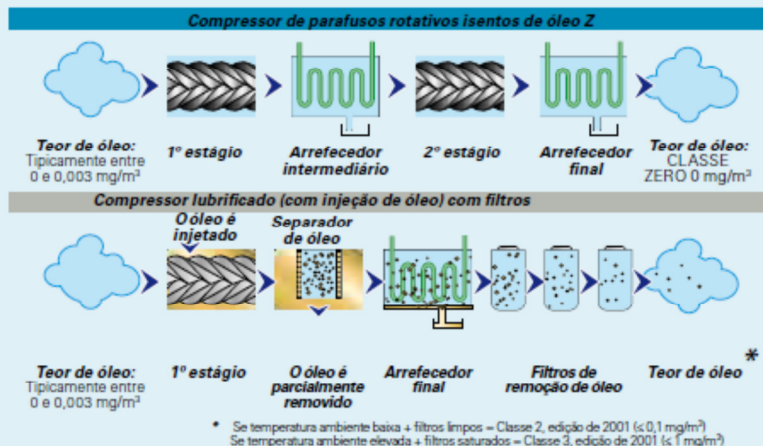
No passado utilizava-se a tecnologia dos compressores lubrificados e o ar comprimido era tratado para se eliminar a presença de água e óleo, através de secadores e filtros coalescentes. O avanço da tecnologia dos compressores isentos de óleo trouxe mais segurança e confiabilidade para os processos que têm contato direto com o ar comprimido.

A Figura 4.4 ilustra, de uma forma esquemática, o funcionamento dos compressores tipo parafuso isento de óleo e lubrificado.

► Os compressores com injeção de óleo com filtros de remoção de óleo conseguem fornecer ar isento de óleo?

Muitas vezes referido como "ar tecnicamente isento de óleo", este sistema baseia-se em dispositivos de arrefecimento do ar (por exemplo, secadores de refrigeração) e diversas etapas de remoção de óleo com vários componentes. Uma falha de qualquer um destes componentes ou uma manutenção inadequada pode resultar na contaminação com óleo de um processo. Por conseguinte, com compressores injectados a óleo haverá sempre o risco de contaminação e a possibilidade de consequências graves para a sua empresa.

Adopte um padrão sem riscos.
Visite www.classzero.com



Fonte: www.atlascopco.com.br, acessado em 18 de janeiro de 2014

Figura 4.4: Esquema de funcionamento de compressores de ar tipo parafuso com e sem injeção de óleo lubrificante

A capacidade instalada de ar comprimido da nova central da fábrica de Poços de Caldas é de 21.360 Nm³/h, para atender a uma demanda de 15.000 Nm³/h. Este sistema conta com quatro compressores do tipo parafuso acionados por motores de 500 kW cada, sendo que um desses compressores é mantido como reserva. A empresa optou por instalar essas máquinas de grande capacidade de produção de ar para aproveitar o espaço físico disponível para a central e para se obter uma melhor eficiência energética, comparada com a utilização de uma maior quantidade de máquinas de menor porte. A soma dos quatro compressores, mais os equipamentos periféricos que compõem a central de ar, tais como torre de resfriamento de água, bombas hidráulicas e secadores de ar, representam uma potência instalada de 2.300 kW.

A fábrica de Poços de Caldas foi pioneira, no Grupo Danone, a adotar a recuperação de calor dos compressores de ar; esta técnica é apresentada no Capítulo 6.

O nitrogênio é um gás incolor, inodoro e insípido. Não é inflamável nem combustível. O ar atmosférico contém cerca de 78,09% de nitrogênio, em volume. Este gás é ligeiramente mais leve que o ar e ligeiramente solúvel na água. É inerte, exceto sob altas temperaturas. Da mesma forma que o oxigênio, o nitrogênio é obtido por meio da destilação do ar. O processo retira o ar da atmosfera, que é então filtrado, comprimido e resfriado. Por meio destas etapas são extraídos os

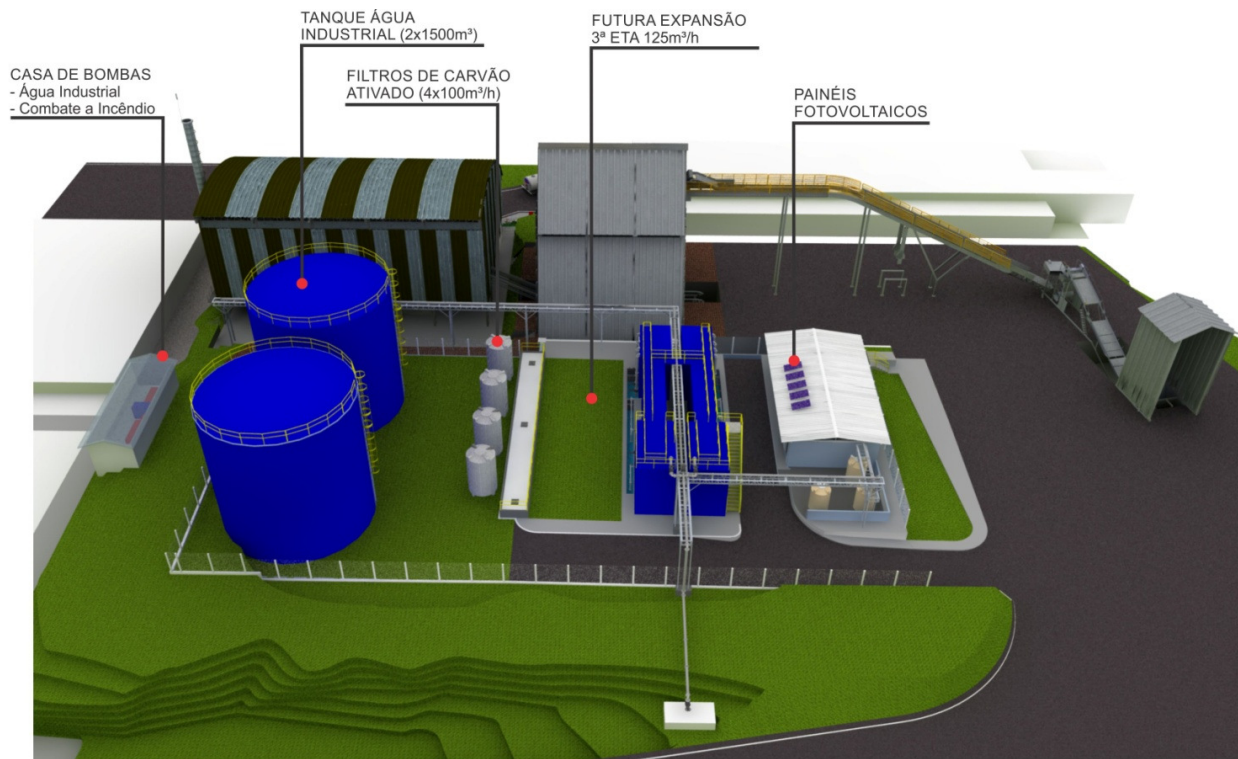
teores de água, gases indesejados e impurezas. O ar purificado passa então por uma coluna através da qual são separados nitrogênio, oxigênio e argônio, no estado líquido.

A fábrica de Poços de Caldas utiliza nitrogênio, armazenado em dois reservatórios de 20 m³ cada, para promover o deslocamento das bases de frutas em algumas linhas de envase. Nesse caso, este gás é utilizado por causa de suas características de inércia e ausência de cor e odor, o que reduz o risco de deterioração das propriedades do produto final.

A água utilizada nos processos e utilidades é captada em um rio e tratada na própria fábrica de Poços de Caldas. No ano de 2013 foi realizada a instalação de uma nova Estação de Tratamento de Água (ETA), com capacidade de 250 m³/h.

A ETA é dotada de dois módulos com capacidade de 125 m³/h cada, que utilizam a sequência clássica de tratamento de água, ou seja, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Neste sistema, foram adotadas várias medidas visando a redução do consumo de água e de energia elétrica adquirida do DME, tais como utilização de iluminação tipo LED, painéis solares para geração de energia fotovoltaica, portas e janelas de vidro para aproveitamento de luz solar e um sistema de recuperação de água de retro lavagem dos filtros. Todas essas ações são apresentadas no Capítulo 6.

A Figura 4.5 apresenta a maquete eletrônica que ilustra o projeto da Nova ETA da fábrica de Poços de Caldas.



Fonte: Fábrica de Poços de Caldas da Danone

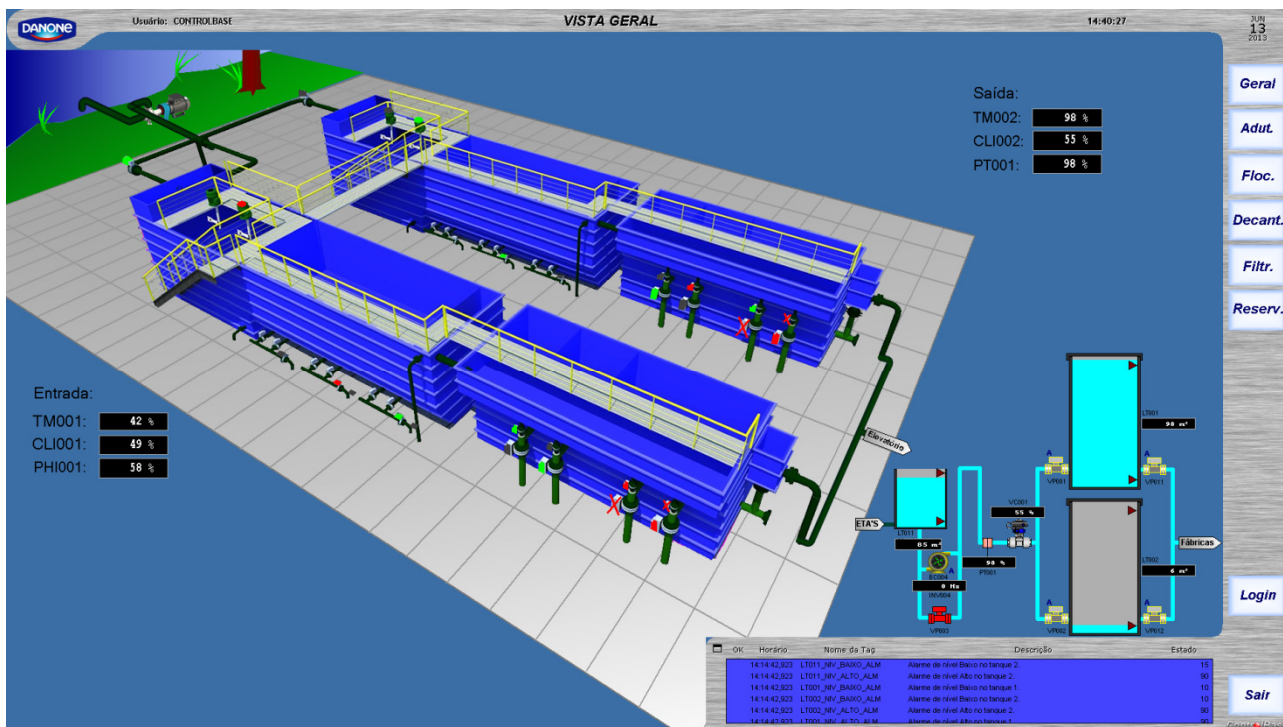
Figura 4.5: Maquete eletrônica da ETA da fábrica da Danone em Poços de Caldas

Merece destaque o nível de controle e automação utilizado na ETA. O sistema de automação abrange as bombas de captação de água bruta do rio, que controla a vazão das bombas em função do nível dos reservatórios de água tratada da fábrica. A dosagem dos produtos químicos necessários para o tratamento da água, tais como ácido clorídrico, alcalinizante e coagulante, também é controlada, como uma função da vazão e da turbidez da água de entrada na estação.

O sistema supervisório da ETA controla automaticamente o tratamento e também registra as variáveis mais importantes do processo, tais como vazão, turbidez e nível de cloro dissolvido na água. Essas informações podem ajudar na investigação de algum problema na produção que possa ter relação com a qualidade da água tratada.

Após a operação de desinfecção com cloro na ETA, a água tratada é enviada para os reservatórios da fábrica onde permanece estocada até a utilização.

A Figura 4.6 apresenta a tela do sistema supervisório utilizado para controle e automação da ETA.



Fonte: Fábrica de Poços de Caldas da Danone

Figura 4.6: Tela do sistema supervisório da ETA

A ETA foi projetada para atender as exigências da Anvisa e, também, a norma interna do Grupo Danone, um pouco mais restritiva em alguns aspectos. Antes de ser bombeada para consumo na fábrica, a água passa por filtros de carvão ativado para retirar o cloro e algum resíduo de sólidos suspensos. A partir dos filtros de carvão, a água é destinada para diferentes aplicações na fábrica, onde pode receber um último tratamento, de acordo com a necessidade.

A água a ser utilizada em contato direto com o produto passa por uma das cinco estações de micro filtração por membranas, estrategicamente instaladas em diferentes pontos.

A água a ser utilizada para produção de vapor nas caldeiras passa por abrandadores, que são equipamentos destinados a diminuir a dureza da água, ou seja, retirar os sais minerais cálcio e magnésio suspensos na água e indesejáveis no sistema de geração e distribuição de vapor, por causarem incrustações.

A água destinada ao sistema de refrigeração ou para as torres de resfriamento recebe um tratamento adicional com produtos químicos para evitar corrosão, incrustações e proliferação de

bactérias. Este tratamento químico é efetuado por uma empresa terceirizada, especialista no assunto.

A fábrica de Poços de Caldas possui uma central para produção de vácuo. A central é dotada de duas bombas, tipo filme de água, acionadas por motores de 60 kW cada. O vácuo é utilizado na fábrica em sistemas dosadores de produtos, nas máquinas de envase, e também nas encaixotadoras, na movimentação dos cartonados utilizados para montagem das caixas que recebem os produtos acabados.

Todo efluente industrial gerado pela fábrica é enviado para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). No ano de 2013 a ETE também recebeu grandes investimentos para ampliação da capacidade e mudança de tecnologia. O projeto da nova ETE contempla a instalação de equipamentos importados da Alemanha e está sendo executado em três etapas, sendo que primeira foi concluída em 2013, a segunda está sendo executada em 2014 e a terceira acontecerá em 2015.

A tecnologia utilizada na ETE da fábrica de Poços de Caldas consiste em um sistema misto, anaeróbico em um estágio e aeróbico em outro. Os tanques de aeração utilizam a técnica de ar difuso, ou seja, o ar soprado é injetado na parte inferior dos tanques. A ETE também emprega membranas, que servem para abrigar as bactérias aeróbicas utilizadas no tratamento do efluente. A ETE da fábrica é utilizada para o tratamento do esgoto industrial; o esgoto sanitário, gerado a partir dos banheiros, é enviado para tratamento em uma das ETEs do município de Poços de Caldas.

4.6.3 Perfil do consumo energético da fábrica

No ano de 2012 o consumo energético específico médio da fábrica foi de 320 kWh/ton, que pode ser subdividido em 116 kWh/ton de energia elétrica (36,25%) e 204 kWh/ton de energia térmica (63,75%), este último valor representando o consumo de combustíveis para a geração de vapor.

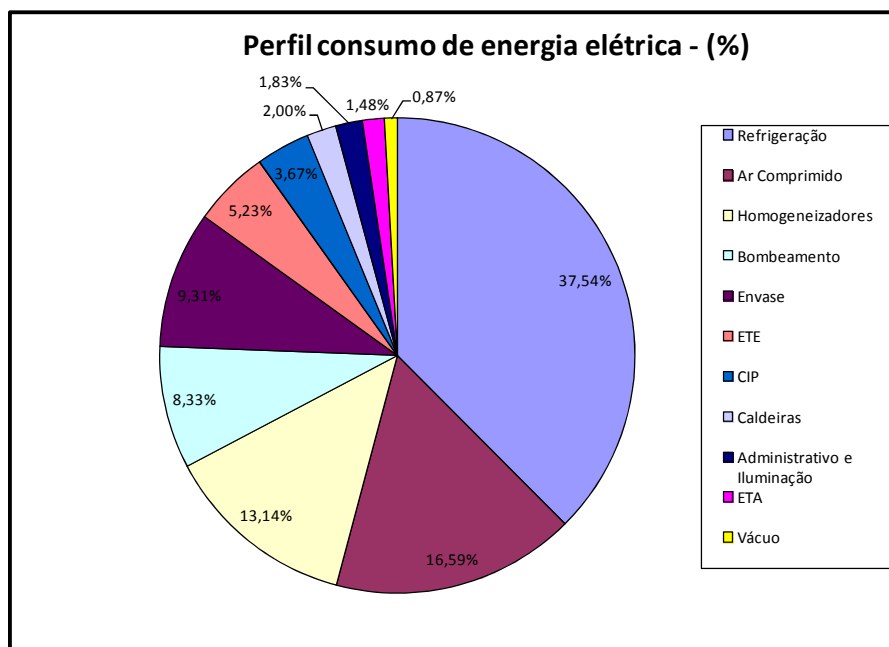
Naquele ano, o volume de produção foi de 360.000 ton. Logo, os consumos absolutos de eletricidade e energia térmica foram:

- Energia elétrica: $116 \times 360.000 = 41.760$ MWh; e
- Energia térmica: $204 \times 360.000 = 73.440$ MWh.

O custo com energia representou, aproximadamente, 8% do custo operacional da fábrica em 2012.

Nessa fábrica, o consumo específico de energia térmica é maior do que o consumo específico de energia elétrica, porém, o custo unitário da eletricidade é muito maior (aproximadamente quatro vezes) do que o custo do combustível utilizado para gerar energia elétrica.

A Figura 4.7 ilustra a distribuição do consumo de energia elétrica, em porcentagem, pelos diversos tipos de equipamentos e sistemas consumidores na fábrica de Poços de Caldas.



Fonte: Fábrica de Poços de Caldas da Danone

Figura 4.7: Distribuição do consumo de energia elétrica, em %, por tipo de equipamento e sistema consumidor, na fábrica de Poços de Caldas

Através da Figura 4.7 pode-se observar que o setor de utilidades é responsável por 65% da energia elétrica consumida pela fábrica. Por outro lado, é importante esclarecer que o consumo próprio de energia do setor de utilidades é muito baixo, uma vez que todos os insumos de utilidades são produzidos para atender as necessidades de consumo dos processos de produção da fábrica.

Um outro fato que pode ser observado na Figura 4.7 é que os equipamentos destinados para processos consomem os restantes 35% da energia elétrica consumida na fábrica e que os homogeneizadores são responsáveis por 13,14% deste total.

O consumo total de vapor é monitorado através de medidores de vazão instalados na saída de cada uma das caldeiras. Os consumos de combustíveis também são monitorados e gerenciados em cada caldeira. Não se monitora, no entanto, a distribuição do consumo de vapor por setor, ou tipo de equipamento, como ocorre com o consumo de energia elétrica. Sabe-se, somente, que o sistema *Cleaning in Place* (CIP) é responsável por aproximadamente 35% do consumo total do vapor produzido na fábrica.

5. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA USUALMENTE ADOTADAS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Conforme descrito no capítulo 3 desta dissertação, o processamento do leite e seus derivados em nível industrial requer a execução de diversas operações unitárias: padronização, homogeneização, pasteurização, fermentação, resfriamento, esterilização e higienização.

Todas estas etapas de processamento são consumidoras de alguma forma de energia, seja energia elétrica, através de motores que acionam equipamentos como bombas, compressores de ar comprimido, ou compressores frigoríficos, seja energia térmica, através do consumo de vapor para aquecimento.

Neste capítulo se descrevem medidas de conservação de energia usualmente adotadas na indústria de laticínios, envolvendo sistemas de geração e distribuição de vapor, sistemas de ar comprimido, sistemas de bombeamento, trocadores de calores, sistemas de refrigeração e sistemas elétricos, que são os sistemas e equipamentos mais utilizados e que mais consomem energia neste segmento industrial.

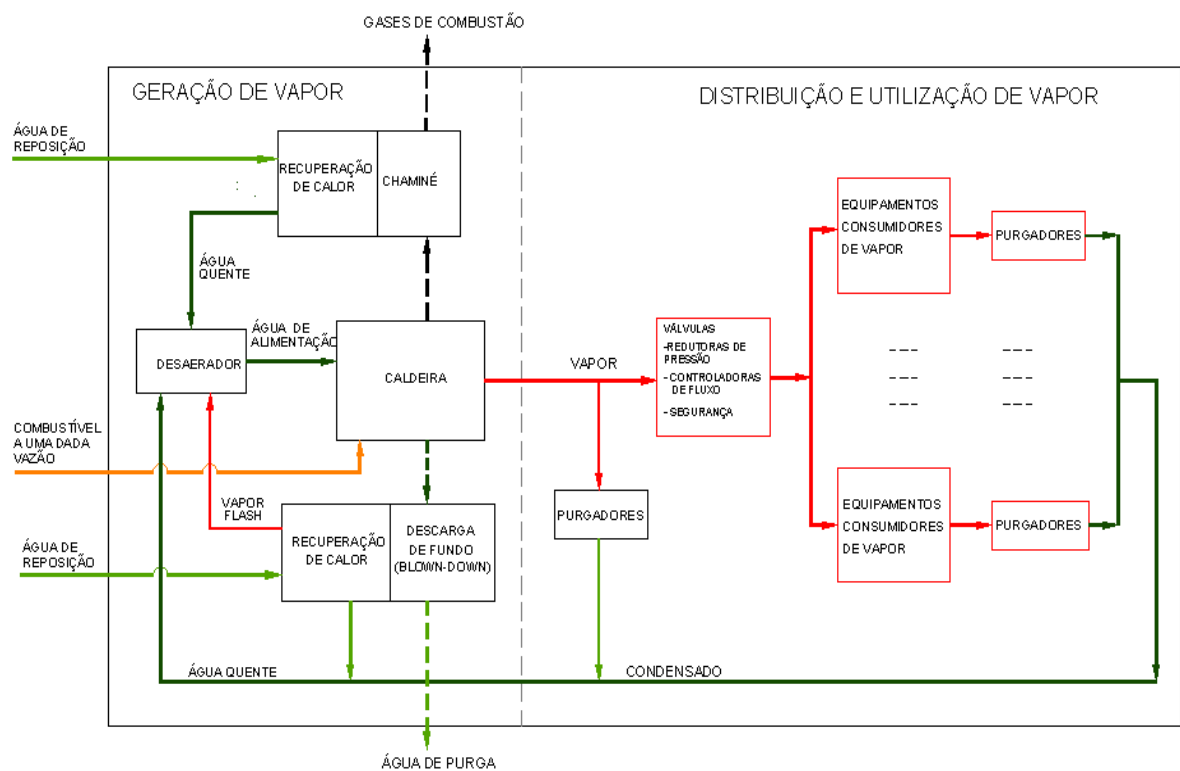
5.1. Sistemas de geração e distribuição de vapor

O vapor é uma forma segura e de baixo custo para transportar a energia térmica necessária para os processos industriais. O vapor é utilizado na indústria de laticínios basicamente para esterilização, pasteurização, fermentação, secagem e higienização.

O vapor utilizado nas indústrias de laticínios é normalmente gerado a partir da queima de algum tipo de combustível em caldeiras. Este combustível pode ser de origem fóssil como o gás natural, óleo BPF, óleo de xisto e óleo diesel, ou algum tipo de biomassa como lenha e cavaco de

madeira, ou resíduos industriais como bagaço de cana, madeira de paletes⁴ picados e resíduos de serrarias, ou fábricas de móveis.

A Figura 5.1 apresenta um típico sistema de geração e distribuição de vapor utilizado em uma instalação de processamento de alimentos.



Fonte: Adaptado de Wang (2008)

Figura 5.1: Sistema típico de geração e distribuição de vapor em uma indústria de processamento de alimentos

Para cada um dos componentes utilizados em um sistema de geração e distribuição de vapor existem possibilidades de se aplicar técnicas de conservação de energia para minimizar as perdas intrínsecas, tornando o sistema mais eficiente.

⁴ **Paleta** é um estrado de madeira, metal ou plástico que é utilizado para movimentação de cargas.

5.1.1. Caldeira

Uma caldeira que queima combustível é um vaso de pressão projetado para transferir calor de um processo de combustão para um fluido, geralmente vapor ou água quente. Há, ainda, caldeiras elétricas e caldeiras de recuperação de calor, que não costumam ser utilizadas na indústria de laticínios.

As caldeiras podem ser classificadas em dois grandes grupos: as caldeiras flamotubulares e as aquotubulares.

As caldeiras flamotubulares são essencialmente metálicas e o processo de combustão ocorre dentro da própria caldeira, no tubo-fornalha. Uma vez queimado o combustível, os gases quentes passam a percorrer os tubos internamente, onde fornecem calor à água até que esta atinja a vaporização.

Foi somente com o advento das caldeiras aquotubulares que se tornou possível maiores produções de vapor a pressões elevadas e a altas temperaturas. Atualmente elas existem em uma infinidade de tamanhos e formatos. Neste tipo de caldeira, a água circula no interior dos tubos e os gases de combustão circulam por fora. Seu princípio de funcionamento está baseado na circulação natural da água, mantida pela diferença de densidade conseguida por diferença de temperatura entre dois conjuntos de tubos. Evidentemente, com a circulação natural tem-se limitada a pressão de trabalho que se pode alcançar na caldeira. Para se alcançar maiores pressões, é necessário o auxílio de uma bomba de circulação de água.

5.1.1.1. Eficiência de uma caldeira

A eficiência, ou rendimento de uma caldeira é definida pela proporção de calor útil no vapor produzido pelo conteúdo energético do combustível utilizado. A eficiência da caldeira, η_c , pode ser considerada como o produto de dois componentes: a eficiência da combustão, η_q , dos combustíveis e a eficiência da troca de calor, η_t :

$$\eta_c = \eta_q \times \eta_t \quad (5.1)$$

A eficiência de combustão reflete a proporção da energia contida no combustível que é convertida em calor através dos gases de combustão, que pode ser quase 100%. A eficiência dos trocadores de calor representa a fração do calor contido nos gases de combustão efetivamente transferido para o vapor, que normalmente é de 70% a 80% em uma caldeira industrial.

5.1.1.2. Perdas de calor em uma caldeira

As propriedades físicas e químicas dos combustíveis apresentam uma significativa influência sobre a eficiência da caldeira. Normalmente caldeiras que utilizam combustíveis gasosos ou líquidos têm maior eficiência energética do que as caldeiras com combustíveis sólidos, porque a combustão completa de combustíveis sólidos requer uma grande quantidade de excesso de ar e a combustão emite resíduos sólidos quentes. Tanto a forma construtiva quanto os parâmetros de operação da caldeira também influenciam no seu rendimento.

Basicamente as perdas de energia de um sistema de geração de vapor ou caldeira incluem:

- Perdas nos gases de combustão, incluindo o calor sensível contido nos gases secos, vapor de água formado pela combustão do hidrogênio nos combustíveis, e a mistura em combustíveis e ar de combustão;
- Combustão incompleta;
- Perda de calor na água de purga da caldeira;
- Diminuições nas trocas de calor e perdas de carga nos escoamentos de fluidos devido a incrustações nos dutos onde há transferência de calor;
- Perda de calor por convecção e radiação através das superfícies quentes da caldeira.

Mais de 20% do calor gerado é normalmente eliminado da caldeira através de uma chaminé que não possua uma unidade de recuperação de calor. A perda de energia através dos gases de

combustão aumenta com o aumento do excesso de ar na mistura. Dependendo do tipo de combustível, a temperatura dos gases de combustão varia entre 205 °C e 325 °C.

5.1.2. Sistemas de tratamento da água de alimentação da caldeira

Água previamente tratada, usualmente à temperatura ambiente, alimenta a caldeira, onde recebe calor proveniente da combustão dos combustíveis e é aquecida até se transformar em vapor. Os sistemas convencionais de tratamento não retiram totalmente as impurezas da água, tais como sais minerais, ferro e sílica, que podem se depositar e criar problemas como incrustações e corrosão nas partes internas da caldeira e nas tubulações.

A incrustação, ou deposição causada por sais minerais como cálcio e magnésio, e pela sílica presente naturalmente na água de alimentação da caldeira ocasiona redução da eficiência da caldeira, por se tratar de uma camada isolante térmica. Além da incrustação, um outro problema que deve ser evitado nos sistemas de geração e distribuição de vapor é a corrosão, que reduz a vida útil e oferece risco de segurança aos equipamentos, devido à perda de resistência mecânica dos componentes metálicos.

A forma mais simples de controlar a quantidade de sais minerais dissolvidos na água de alimentação e minimizar o risco de incrustação e corrosão da caldeira é através de um tratamento químico, ou seja, adição de produtos químicos. Os produtos químicos são adicionados na água para causar o efeito de floculação e decantação dos sais minerais, que, em seguida, são descartados do interior da caldeira pela válvula de descarga de fundo.

Um outro equipamento comumente utilizado no tratamento da água de alimentação da caldeira é o abrandador, cuja finalidade é a remoção de dureza da água, ou seja, a remoção de sais de cálcio e magnésio em forma de carbonatos e bicarbonatos. O ciclo de remoção, ou troca iônica ocorre graças à presença de sódio na resina do abrandador. O abrandador é um equipamento de fácil operação e baixo custo; a resina pode ser regenerada várias vezes com uma solução de cloreto de sódio.

O processo mais eficiente para o tratamento da água de alimentação de caldeiras é a desmineralização, ou deionização, que permite uma remoção praticamente total dos íons

presentes na água, podendo ser efetuado através de passagem da água por vasos de troca iônica, por um equipamento de osmose reversa, ou através da evaporação seguida da condensação do vapor gerado.

Na escolha do processo mais adequado para cada aplicação, é recomendável se efetuar uma análise econômica, pois cada processo apresenta vantagens e desvantagens, que dependem da vazão de água a ser tratada e do nível de desmineralização requerido.

Além de evitar a perda de eficiência da caldeira devido às incrustações e corrosão, a implantação de um sistema adequado de tratamento de água também proporciona ganhos, mensuráveis, com a redução das perdas de água e energia térmica através da descarga de fundo da caldeira.

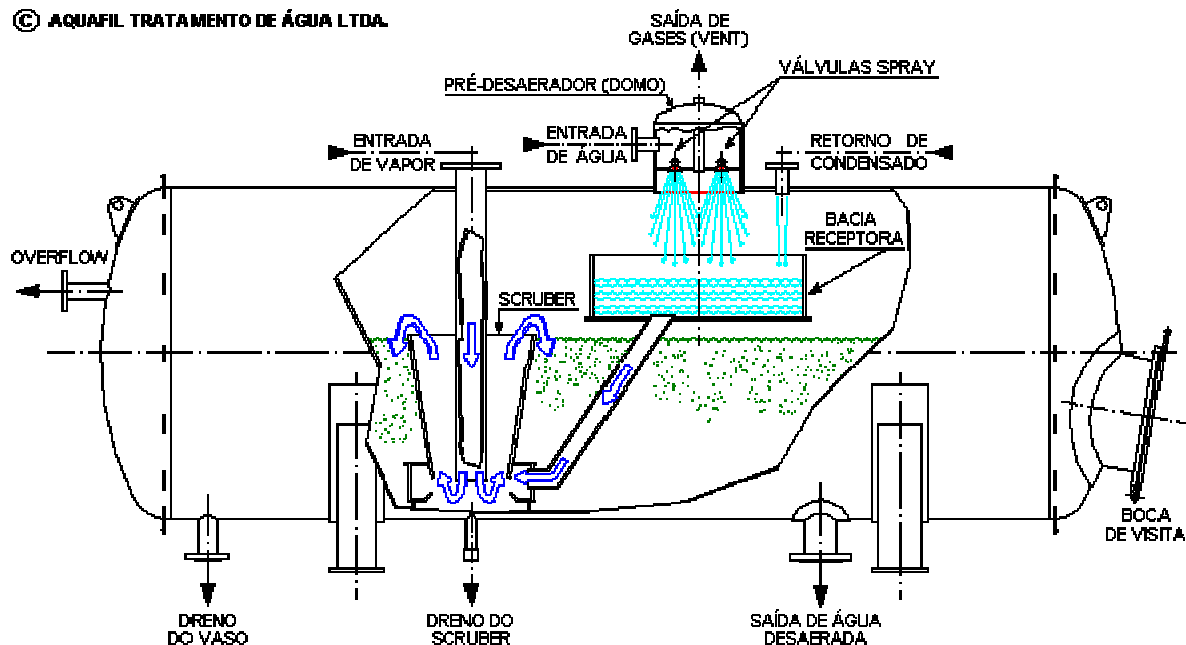
5.1.3. Desaerador

A função primária de um desaerador é remover gases não condensáveis, como o oxigênio e o dióxido de carbono, da água de alimentação da caldeira. A remoção desses gases evita o processo de corrosão na caldeira, bombas hidráulicas e tubulações de vapor e de retorno de condensado, reduzindo o seu custo de manutenção. A desaeração também melhora o tempo de resposta da caldeira, o que é bem interessante em uma fábrica de laticínios, pois isto reduz o risco de perda de produção.

A Figura 5.4 apresenta os principais componentes de um desaerador.

A água fria entra inicialmente no pré-des aerador ou domo, onde válvulas do tipo *spray*, de aço inoxidável, formam um “chuveiro” com o fluxo de água, em uma atmosfera de vapor. Nesta seção, de pré-aquecimento, a maior parte dos gases corrosivos é removida antes que a água atinja a superfície de aço da bacia receptora.

Esta água quente e parcialmente desaerada então passa para a seção de vapor, ou "*scruber*", onde uma completa desaeração é concluída, após a água ser atingida por vapor em alta velocidade.



Fonte: www.aquafil.com.br, acessado em 15/02/2014

Figura 5.4: Componentes de um desaerador

5.1.4. Combustíveis e a eficiência da combustão nas caldeiras

A combustão é um processo químico exotérmico composto de dois elementos distintos, o combustível e o comburente. Os combustíveis são compostos basicamente de carbono e hidrogênio, contendo ainda pequenas porcentagens de enxofre e outros elementos. O comburente mais utilizado é o ar atmosférico, pelo fato de ser a fonte mais abundante e barata de oxigênio.

O processo de combustão inicia-se quando a mistura atinge o ponto de inflamação, ou seja, atinge uma temperatura mínima, característica de cada combustível, na qual a reação de oxidação, que até então progredia lentamente, torna-se consideravelmente mais rápida. O processo de combustão ocorre de maneira diferenciada, dependendo da natureza dos combustíveis. No caso dos combustíveis gasosos, havendo uma mistura adequada de ar e gás, o simples alcance do ponto de inflamação já é suficiente para que ocorra a combustão. No caso dos combustíveis líquidos, inicialmente, sob a ação do calor e do oxigênio, há um desdobramento molecular dos compostos do combustível em frações gasosas mais simples, ocorrendo, em seguida, a combustão dessas frações. Já na combustão dos combustíveis sólidos ocorre,

inicialmente, a queima dos produtos voláteis e, em seguida, a formação dos compostos gasosos que entram então em combustão. No caso dos combustíveis com baixo teor de voláteis, ocorre a formação de um núcleo de carbono, que se oxida na medida em o oxigênio se funde em seu interior (MARQUES, MARTINS e NOGUEIRA, 2006).

Os gastos com a compra de combustíveis para geração de vapor são bastante expressivos em uma indústria de laticínios, como em qualquer outra indústria do segmento alimentício. O custo de aquisição de uma caldeira é relativamente baixo quando comparado ao custo operacional deste equipamento, devido aos gastos com combustíveis. É comum se observar situações em que, durante três meses de operação, a soma dos gastos com o combustível utilizado na caldeira supera o seu valor inicial de aquisição.

Para se obter uma boa eficiência de combustão em uma caldeira, normalmente se adotam as seguintes práticas:

- Controle da umidade, principalmente quando se trata da utilização de biomassa;
- Instalação de analisador de combustão “*on line*” na saída dos gases, conectado com o sistema de controle, para ajuste automático da caldeira;
- Realização de treinamento sobre técnicas para se obter uma boa combustão, para os operadores e demais profissionais envolvidos com a rotina de operação das caldeiras;
- Elaboração de plano de manutenção preventiva e limpeza das partes internas da caldeira, tais como queimadores, fornalha, tubulações e chaminé; e
- Elaboração de plano de manutenção e calibração dos instrumentos de medição e controle da caldeira, tais como termômetros, transdutores de pressão, pressostatos, fotocélulas e válvulas.

5.1.5. Descarga de fundo, ou *blowdown*

A descarga de fundo, purga ou *blowdown* é utilizada para remover sólidos dissolvidos no interior da caldeira. A perda de calor na descarga de fundo da caldeira depende da temperatura e quantidade da água eliminada. O volume de água e frequência das descargas de fundo dependem da quantidade e condição da água de alimentação da caldeira. A taxa de purga da caldeira

normalmente não deve ser superior 3% do volume de vapor produzido. No entanto, a taxa para algumas caldeiras utilizadas em instalações de processamento de alimentos pode estar acima de 15% (CEC, 2008).

5.1.6. Medidas de conservação de energia para sistemas de geração de vapor

5.1.6.1. Projeto e operação adequados

Há diferenças de eficiência entre as caldeiras devido a diferenças em seus projetos e modos de operação. Os processos a serem alimentados por vapor devem determinar a capacidade da caldeira e suas condições de operação.

A pressão de trabalho deve ser a mínima permitida pela caldeira e equipamentos dos processos, para se reduzir possíveis vazamentos e as perdas de água e energia associadas a elas. Além disso, vapor em baixa pressão também possui baixa temperatura, propiciando uma economia direta da energia estocada no vapor e redução das perdas por transferência de calor durante a distribuição. Controles automáticos podem ser instalados para monitorar a temperatura e pressão e controlar a operação da caldeira.

Caldeiras operadas em cargas muito baixas apresentam eficiências reduzidas, uma vez que muitas perdas são constantes, independente da quantidade de vapor produzida.

Um leve excesso de ar em relação à taxa estequiométrica da reação de combustão que ocorre na caldeira é requerido para que ocorra uma combustão completa com um mínimo de perda de calor com o excesso de ar e, também, para se reduzir a emissão de NO_x . De 10% a 15% de excesso de ar pode ser adequado, dependendo do combustível utilizado (EINSTEIN *et al.*, 2001).

A quantidade de excesso de ar pode ser determinada através da medição do oxigênio ou do dióxido de carbono presente nos gases de combustão com o auxílio de equipamentos relativamente baratos. Os equipamentos utilizados para medição de oxigênio são mais precisos

que os empregados na medição de dióxido de carbono. As informações das análises dos gases de combustão são utilizadas para efetuar ajustes no sistema de alimentação de ar e combustível.

Monitores de gases de combustão podem ser usados para controlar a temperatura dos gases de combustão na chaminé, monitorar os níveis de monóxido de carbono, oxigênio e fumaça, e detectar vazamentos de ar na câmara de combustão. Um sistema de monitoramento e controle de combustão pode propiciar reduções de até 3% no consumo de energia, mas seu custo pode ser considerado muito elevado no caso de caldeiras pequenas (EINSTEIN *et al.*, 2001).

A água descartada pela descarga de fundo não pode ser utilizada novamente na caldeira e é normalmente enviada para a rede de esgoto industrial devido ao alto nível de concentração de sólidos dissolvidos. A descarga de fundo deve ser ajustada de forma que o nível de sólidos totais dissolvidos no interior da caldeira seja mantido no máximo nível permitido.

5.1.6.2. Pré-aquecedores de ar

O pré-aquecedor de ar é um trocador de calor utilizado para elevar a temperatura do ar antes que este entre na fornalha. O calor é cedido pelos gases residuais quentes, ou pelo vapor da própria caldeira. A instalação desses equipamentos oferece a vantagem de melhorar a eficiência da caldeira pelo aumento da temperatura de equilíbrio na câmara de combustão.

A existência de pré-aquecedores causa um aumento na perda de carga no circuito ar/gás de combustão, exigindo maior consumo de energia no acionamento dos ventiladores da caldeira.

De acordo com seu princípio de funcionamento, os pré-aquecedores de ar podem ser classificados como pré-aquecedores recuperativos e pré-aquecedores regenerativos.

Os primeiros são trocadores de calor convencionais, estáticos, que podem ter várias formas geométricas, que dependem dos arranjos adotados para a fornalha e seus queimadores, na caldeira.

Nos pré-aquecedores regenerativos, o calor dos gases de combustão é transferido indiretamente para o ar, através de um elemento de armazenagem, por onde passa o ar e o gás de combustão, alternadamente.

O pré-aquecedor regenerativo tipo Ljungstron é constituído de placas de aço finas e corrugadas que são aquecidas quando da passagem dos gases de combustão e resfriadas quando da passagem do ar. Seu formato assemelha-se a uma roda gigante, girando lentamente.

5.1.6.3. Economizadores

A temperatura dos gases de combustão de grandes caldeiras normalmente estão na faixa de 450 °C a 650 °C. Os equipamentos chamados economizadores são trocadores de calor utilizados para recuperar uma parte deste calor para o pré-aquecimento de água. A água pré-aquecida costuma ser usada para alimentação da própria caldeira, ou para alguma outra necessidade que coincida com a sua operação. Os economizadores são particularmente interessantes quando há a necessidade de grandes quantidades de água de reposição, ou seja, em situações em que a taxa de retorno de condensado é baixa, ou ainda, quando se requer grandes quantidades de água quente para algum outro uso, durante o período de funcionamento da caldeira.

Deve se tomar alguns cuidados com este tipo de aplicação para se evitar problemas de corrosão dos componentes do economizador, uma vez que, quando se reduz muito a temperatura dos gases de combustão durante a sua passagem pelo trocador de calor, pode ocorrer a condensação do vapor de água presente nos gases, que reage com o enxofre, ou o nitrogênio, também presente nos gases, produzindo ácido sulfúrico, ou ácido nítrico, que são corrosivos. Por isso, o economizador é comumente utilizado em caldeiras que consomem gás natural como combustível e evitado em caldeiras alimentadas por biomassa, ou óleo BPF. Uma forma de se evitar a corrosão é utilizando material mais nobre na fabricação do economizador, como aço inoxidável, porém, esta solução pode inviabilizar, do ponto de vista econômico, o projeto.

O potencial de ganhos com a instalação de um economizador está diretamente ligado à quantidade de calor que pode ser recuperada e da quantidade de água fria que deve ser aquecida.

Usualmente, cerca de 5% da energia contida no combustível utilizado na caldeira, e que antes era perdida através da chaminé, possa ser recuperada com um economizador de dimensionamento adequado. Um economizador capaz de recuperar 5% da energia consumida em uma caldeira que opera o ano todo deve facilmente propiciar um retorno do investimento em até dois anos.

5.1.6.4. Recuperação de energia da descarga de fundo

Para se reduzir as perdas de energia da água, à alta temperatura e pressão, que é expelida através de descarga de fundo, pode se utilizar um trocador de calor. O calor assim recuperado, que pode ser superior a 78% do calor presente na água de descarga de fundo da caldeira, pode ser transferido para a água de alimentação da caldeira, ou, ainda, ser utilizado em outros processos que necessitem de água quente, como por exemplo, em uma estação CIP.

Uma outra opção consiste em injetar a água que sai através da descarga de fundo em uma unidade de extração de vapor *flash*, onde parte dessa água é imediatamente convertida em vapor de baixa pressão sem a presença dos sólidos. Esse vapor pode ser retornado para a caldeira via desaerador, ou usado diretamente em processos que utilizem vapor sob baixa pressão.

Einstein et al. (2001) relatam uma redução típica de 1,3% no consumo do combustível utilizado em caldeiras de pequeno porte com este tipo de medida de conservação de energia, proporcionando um retorno do investimento de 2,7 anos.

5.1.7. Isolamento térmico adequado das tubulações de distribuição de vapor e retorno do condensado

Tubulações são utilizadas para distribuir o vapor gerado nas caldeiras até os equipamentos consumidores finais.

Como já foi dito no início deste capítulo, o vapor é uma forma segura e de baixo custo para transportar a energia térmica necessária para os processos industriais. Assim, após ser utilizado de forma indireta para fornecer calor aos processos industriais, o vapor passa do estado gasoso para o líquido e é separado, através dos purgadores, da linha de vapor para a linha de condensado, onde então, é retornado ao tanque de alimentação da caldeira. Em todas as tubulações utilizadas em instalações de distribuição de vapor e retorno de condensado é necessário a aplicação de isolamentos térmicos. O isolamento térmico é utilizado para reduzir as perdas de energia através da troca de calor com o ambiente. Normalmente se utiliza a lã mineral como isolamento térmico.

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Lãs Isolantes (Abraliso), o termo lã mineral é usado no Brasil para descrever a lã de vidro e a lã de rocha. Ambos são produtos sintéticos, classificados como MMVF – *man-made vitreous fibers*, formados a partir da fusão em alta temperatura do vidro, rocha ou escória. São produtos não cristalinos, que se diferenciam por sua composição química e pelo processo de formação das fibras, que dão propriedades e características distintas para cada produto.

A estrutura formada pelo entrelaçamento das fibras das lãs minerais impede a movimentação do ar no seu interior, resultando em produtos com propriedades térmicas, acústicas e de resistência ao fogo que nenhum outro material isolante pode alcançar, mesmo com o passar do tempo (www.abraliso.org.br, acessado em 05/02/2014).

Diversos critérios podem ser utilizados no dimensionamento do isolamento térmico de tubulações de distribuição de vapor e de outros fluídos térmicos. Os mais usuais são:

- Conservação de energia (espessura econômica);
- Proteção pessoal (temperatura da superfície externa < 60 °C);
- Redução da emissão de gases poluentes;
- Exigências de processo; e
- Evitar condensações

A maioria dos cálculos referentes a isolamento térmico pode ser feita com o auxílio do *software* 3E PLUS, que tem sido utilizado há anos em diagnósticos energéticos promovidos pelo DOE (US Department of Energy). Ele pode ser baixado gratuitamente nos seguintes portais da Internet:

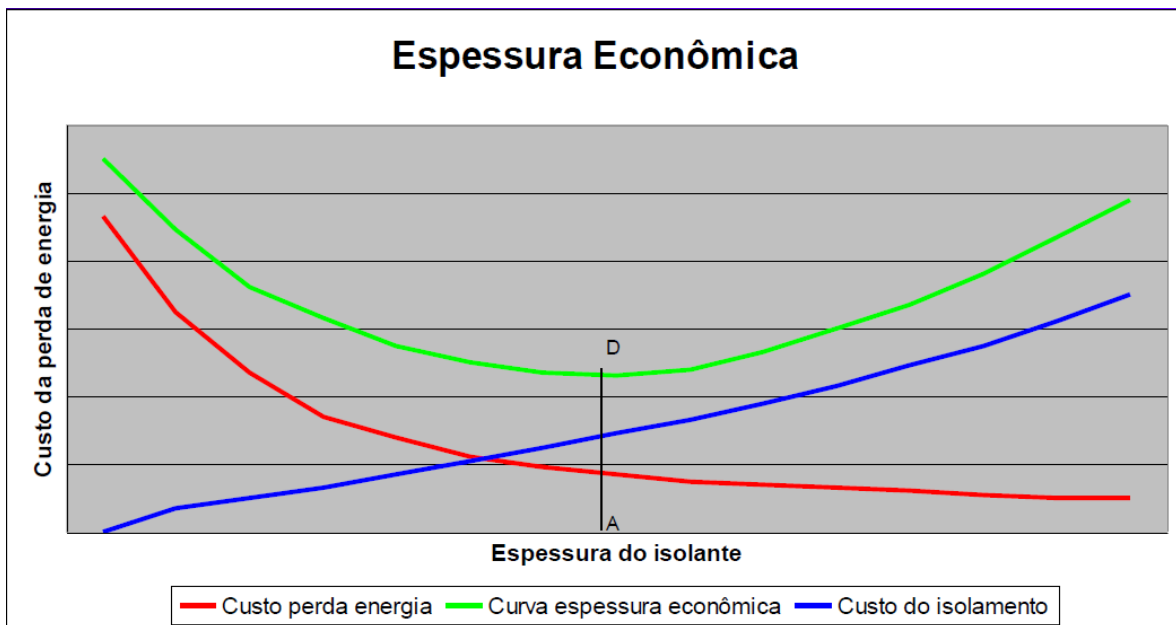
- www.pipeinsulation.org
- www.naima.org

- www.elektrobras.com.br

O *software* efetua cálculos de perdas de calor, temperaturas superficiais externas, espessuras econômicas, emissão de gases poluentes, etc.

A Figura 5.5 ilustra as curvas utilizadas para definir o conceito de espessura econômica, que requer a composição do custo da perda de energia com o custo do isolamento.

A linha azul, na Figura 5.5, representa o custo do isolamento, que é a soma do custo do isolante, custo da proteção do isolante e custo da instalação de ambos. Quanto maior for a espessura, maior será o investimento no isolamento.



Fonte: www.abraliso.org.br

Figura 5.5: Conceito de espessura econômica

O custo da energia que é dissipada através do isolamento está indicada, na Figura 5.5, pela linha vermelha. Pequenas espessuras de isolamento são responsáveis por grandes desperdícios de energia; com maiores espessuras de isolamento, os desperdícios são reduzidos.

A linha verde é o resultado da soma dos custos das linhas vermelha e azul. Esta é a conta que a empresa pagará ao longo dos anos. O ponto de inflexão, "D", da curva identifica o menor custo anual de energia. O ponto "A", no eixo horizontal, identifica a "espessura econômica" (www.abraliso.org.br, acessado em 05/02/2014).

5.1.8. Purgadores

Purgadores são válvulas automáticas que abrem para descarregar o ar e o condensado, e se fecham na presença de vapor. Eles são usados em aplicações onde somente o condensado deve ser descarregado de um espaço preenchido com vapor, sem a possibilidade do vazamento do vapor.

O vapor é um gás que é formado quando a água está em temperaturas altas e sob altas pressões, mas quando seu trabalho está finalizado (forneceu seu calor latente) o vapor se condensa e se torna condensado. Em outras palavras, o condensado não tem a capacidade de fazer o trabalho que o vapor faz. Seja em uma tubulação de distribuição de vapor ou em um trocador de calor, o condensado deve ser objeto de rápida remoção, para conservar a energia do vapor, evitar vibrações e golpes de aríete nas tubulações, causadas pelo condensado, diminuir os efeitos da corrosão e evitar a redução da seção transversal útil do escoamento do vapor devido à acumulação do condensado (NOGUEIRA *et al.*, 2005).

Todos os tipos de purgadores são projetados para eliminar o condensado sem perder vapor. O condensado é eliminado de diferentes maneiras e a diferentes condições de pressão e temperatura, dependendo do método de operação de cada purgador.

Os principais tipos de purgadores são (www.tlv.com, acessado em 05/02/2014):

- Purgador Termostático
 - Membrana;
 - Bimetálicos.
- Purgador Mecânico
 - Boia livre;
 - Boia e alavanca
- Purgador Termodinâmico

Além de se utilizar corretamente cada tipo de purgador, em função da necessidade técnica de cada instalação de vapor, é fundamental se estabelecer um plano de inspeção e manutenção dos purgadores para se garantir uma boa eficiência energética nestas instalações.

5.2. Eficiência energética em sistemas de ar comprimido

O ar comprimido é uma forma de transporte de energia de enorme utilidade e com inúmeras aplicações. Em muitos campos chega a competir com a eletricidade e, em alguns casos particulares, somente ele pode ser usado.

Assim como na maioria das indústrias, o ar comprimido é amplamente utilizado na indústria de laticínios. Entre as aplicações típicas de ar comprimido na indústria de alimentos se destacam o acionamento de atuadores pneumáticos de válvulas, secagem, resfriamento, pressurização de tanques, transporte pneumático de produtos, acionamento de bombas, dosadores de produtos, insuflamento para formação de embalagens e insuflamento nos processos da ETA e ETE.

Devido à sua ampla utilização, o ar comprimido representa uma parcela significativa na composição do consumo e do custo da energia elétrica em uma fábrica de laticínios. À guisa de exemplo, a utilização de energia elétrica destinada para produção de ar comprimido representa 16% do consumo total da fábrica de Poços de Caldas da Danone.

Além do custo da energia elétrica, os custos com manutenção dos compressores e sistemas periféricos utilizados para geração e tratamento do ar comprimido são muito expressivos na indústria de laticínios. Em muitos casos, os custos de manutenção chegam a superar o custo com energia e, assim, todas as ações destinadas a melhorar a eficiência energética de sistemas de ar comprimido contribuirão também para reduzir os seus custos de manutenção.

Um sistema típico de ar comprimido é normalmente composto por geração de ar comprimido através de um ou mais compressores, reservatório (também chamado de tanque pulmão ou separador de condensado), secador, filtros, rede de distribuição e usuários finais.

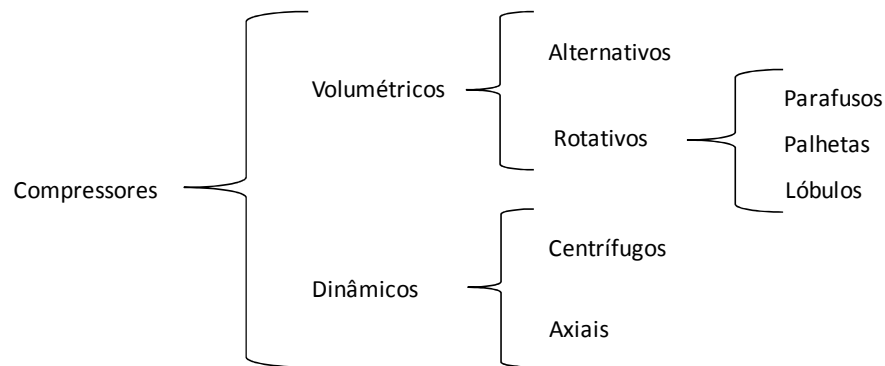
5.2.1. Compressores de ar

O compressor é o equipamento mais importante em um sistema de ar comprimido. Há dois tipos básicos de compressores de uso industrial: os volumétricos e os dinâmicos.

Nos compressores volumétricos, ou de deslocamento positivo a compressão do ar é feita através da diminuição de um volume que é ocupado pelo gás. Essa operação é feita de forma intermitente, em que podem ser identificadas diversas etapas formando um ciclo que se repete continuamente. Inicialmente um certo volume de gás é admitido no interior de uma câmara de compressão, que então é fechada. Em seguida esse volume sofre uma redução e, por consequência, verifica-se um aumento da pressão. Finalmente, a câmara é aberta e o gás é liberado para consumo. É um processo em que a etapa de compressão é efetuada em um sistema fechado, ou seja, sem variação da massa contida dentro da câmara (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

Os compressores dinâmicos, também chamados de turbocompressores, possuem dois elementos principais: o rotor e o difusor. O primeiro deles é um órgão rotativo munido de pás que transferem para o gás a energia de uma fonte de potência externa. Essa transferência de energia se dá em parte na forma de velocidade e em outra parte na forma de pressão e temperatura. Posteriormente, o escoamento estabelecido pelo rotor é recebido por um conjunto de pás fixas, denominado difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética do gás em aumento da entalpia, com consequente ganho de pressão. Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua (MARQUES, HADDAD e MARTINS, 2006).

Os compressores são, ainda, subdivididos nas categorias indicadas na Figura 5.6, que possuem diferentes faixas de operação, em termos de vazão e pressão, em que possuem eficiências elevadas.



Fonte: Marques, Haddad e Martins, 2006

Figura 5.6: Classificação geral dos compressores

A correta seleção do tipo e capacidade do compressor afeta consideravelmente a eficiência energética da instalação, que é projetada para operar, em média, por vinte anos.

Os compressores centrífugos costumam ser mais eficientes em instalações que necessitam de elevados volumes de ar comprimido. Por outro, quando é necessário operar com alto nível de pressão, o ideal é que se utilizem compressores de pistão de múltiplos estágios.

Há compressores do tipo parafuso lubrificados e os isentos de óleo. Além de contribuir com a qualidade do ar comprimido, os compressores isentos de óleo contribuem também com a redução do consumo energético, pois, nesse caso, a instalação não necessita utilizar filtros para a remoção do óleo, componentes que podem causar grandes perdas de carga no sistema.

Em conjunto com a especificação do compressor de ar está uma boa escolha e o correto dimensionamento do motor elétrico de acionamento do compressor. O ideal é que se escolha um motor de alto rendimento.

Uma outra boa solução, amplamente utilizada quando se busca uma elevada eficiência energética, é o VSD – *Variable Speed Drive* (Inversor de Velocidade Variável). Esta tecnologia consiste na utilização de um inversor de frequência para controlar a velocidade do motor que aciona o compressor. Nesse caso, o compressor ganha mais um poderoso recurso para controlar a vazão e pressão de ar conforme a necessidade dos equipamentos consumidores.

Todo compressor de ar é dotado de filtros instalados na entrada do ar captado do ambiente. Esses filtros têm duas finalidades básicas, que são proteger as partes internas do compressor contra impurezas contidas no ar que podem danificar os elementos internos, e efetuar um pré-tratamento visando à qualidade do ar comprimido a ser disponibilizado para consumo. É importante se estabelecer planos de inspeção periódica e manutenção preventiva para garantir que

os filtros não extrapolem a máxima perda de carga permitida. Filtros de admissão obstruídos causam perda de carga e, conseqüentemente, prejudicam o rendimento do compressor.

A influência das condições de admissão do ar no equipamento de compressão pode ser quantificada comparando-se o trabalho específico de compressão a uma certa temperatura com o trabalho realizado a uma temperatura mais baixa.

A equação 5.2 apresenta o benefício percentual no consumo de energia em um sistema de ar comprimido devido a uma redução na temperatura de admissão do ar (MARQUES, HADDAD E MARTINS, 2006):

$$B_1 = \left(1 - \frac{T'_0}{T_0}\right) \cdot 100\% \quad (5.2)$$

onde:

B_1 – benefício pela redução da temperatura de admissão (%)

T_0 – temperatura de entrada do ar antes da redução (K)

T'_0 – temperatura de entrada do ar depois da redução (K)

É importante se manter baixa a temperatura no interior da casa de máquinas dos compressores de ar. Essa condição pode ser conseguida através de um bom projeto de instalação, que garanta um *layout* adequado e, também, através de um sistema de controle automático da temperatura ambiente.

É comum encontrar fábricas que foram projetadas com uma capacidade de produção original e que, ao longo dos anos, os projetos originais foram alterados para suprir uma nova demanda em função da necessidade do negócio da companhia. Nesses casos é normal que os sistemas de ar comprimido também sofram adequações e a casa de máquinas seja composta por vários compressores de diferentes capacidades. Nesses casos, uma boa solução tecnológica é a instalação de um “gerenciador”, ou seja, um equipamento que controle o funcionamento dos compressores então ligados em uma rede. Esta solução garante que cada compressor seja acionado em função da necessidade do consumo de ar comprimido da fábrica. No capítulo 6 é apresentada uma aplicação deste tipo, denominada *Energy Saver* pelo fabricante Atlas Copco.

A pressão de trabalho é um fator crítico, pois afeta significativamente o consumo de energia dos compressores, que aumenta com o aumento da pressão de trabalho. Equipamentos

que operam com diferentes pressões em uma mesma instalação podem ser atendidos mediante a redução da pressão nos pontos de consumo, por meio de válvulas redutoras. Algumas vezes, torna-se econômico o uso de compressores de diferentes vazões e pressões para atender a diferentes solicitações de operação, em um mesmo sistema (ROCHA e MONTEIRO, 2005).

Considera-se que os resfriadores que se localizam após os compressores, mais conhecidos pela designação em inglês - *aftercoolers*, são parte integrante dos mesmos.

5.2.2. Reservatório de ar comprimido

O compressor usualmente fornece ar para um reservatório, também chamado de tanque pulmão, ou separador de condensado. As necessidades instantâneas de ar comprimido da instalação são cobertas pelo reservatório, que, enquanto está cedendo ar para a instalação, permite que o compressor permaneça desligado (no caso de uma operação do tipo “carga/alívio”), ou funcione de modo contínuo, sem quedas bruscas de pressão. Em algumas instalações, sobretudo as de grande porte, podem ser necessários vários reservatórios (ROCHA e MONTEIRO, 2005).

Devido ao seu princípio de operação, os compressores de pistão fornecem uma vazão pulsante. As flutuações na pressão, às vezes, prejudicam o funcionamento dos equipamentos e dispositivos consumidores. Os instrumentos de controle de operação e medição reagem muito mal a estas flutuações e podem apresentar erros drásticos. Os reservatórios são usados para balancear tais flutuações de pressão.

Uma outra função do reservatório é coletar ou drenar o condensado. Parte do calor gerado no ar devido à compressão é retirado e cedido ao meio que envolve o reservatório, pela sua superfície, resfriando o ar. Esse resfriamento é que origina o fato de grande parte do condensado ser precipitado nas paredes internas do reservatório. O condensado é coletado no fundo do reservatório e removido para o exterior por meio de um conjunto adequado de drenagem.

É comum existirem picos de demanda nos sistemas de ar comprimido causados pela característica de alguns usuários finais; nesse caso, o reservatório é utilizado para suprir estes picos e estabilizar a pressão do sistema. Além disso, o volume de ar do reservatório é utilizado para

minizar, ou eliminar a necessidade de compressores de maior capacidade apenas para atender a esses curtos períodos de demanda.

5.2.3. Tratamento do ar comprimido

Os equipamentos mais modernos que utilizam ar comprimido exigem que este seja completamente livre de impurezas, seco (isento de água) e, em certas aplicações, até esterilizado. As impurezas contidas no ar atmosférico são normalmente invisíveis a olho nu. Elas podem danificar e reduzir o desempenho de equipamentos pneumáticos, podendo até, em certos casos, provocar falhas nos produtos finais do usuário/indústria.

O ar comprimido na saída dos compressores é saturado com água. No entanto, os dispositivos instalados para drenagem, montados nas saídas dos compressores não são capazes de eliminar a água contida no ar sob forma de vapor. Consequentemente, é necessário o uso de secadores de ar para condensar esta umidade e descarregá-la para fora da rede de ar comprimido. Basicamente existem dois tipos de secadores de ar amplamente utilizados em sistemas industriais:

- Secadores por refrigeração: o ar comprimido passa através de um trocador de calor (ar / fluído refrigerante) que promove a condensação da água contida no ar comprimido.
- Secadores por adsorção: o ar comprimido passa por dentro de um tanque cheio de produto dessecante que retém a água contida no ar comprimido.

O secador de ar por refrigeração é mais econômico do que um secador por adsorção, devido ao seu menor consumo de energia elétrica. O secador por adsorção utiliza energia elétrica para regenerar o material dessecante, seja através de uma resistência ou consumindo parte do ar comprimido (10% a 15%) para esta finalidade.

Além de secadores, uma instalação industrial necessita de filtros para tratamento do sistema de ar comprimido, principalmente nos casos em que se utilizam compressores lubrificados.

O óleo lubrificante utilizado no compressor se degenera e deteriora por causa da oxidação e das temperaturas elevadas. O óleo descarregado pelo compressor, sob a forma de nevoa e vapor em suspensão no ar comprimido, se mistura com o residual de escória presente nos tubos

(formada pela condensação e ferrugem). Consequentemente, é necessário filtrar a saída de compressores lubrificados para se evitar sujar os secadores e o restante do sistema. Existem vários tipos diferentes de filtros, cada um deles correspondendo a uma classe diferente de qualidade do ar.

5.2.4. Sistema de distribuição de ar comprimido

A função do sistema de distribuição é transportar o ar comprimido desde os compressores e/ou reservatórios de acumulação até os pontos de uso final. A eficiência na distribuição de ar comprimido é determinada pela capacidade de conduzir o ar comprimido com as menores perdas possíveis.

As principais perdas de eficiência energética em um sistema de distribuição de ar comprimido são decorrentes de: (1) queda de pressão entre o compressor e os pontos de consumo de ar; e (2) vazamentos de ar. Em geral, a linha de distribuição deve ser projetada para que a queda de pressão entre o ponto de geração e o de consumo não ultrapasse o limite recomendável de 0,3 bar ou 5% da pressão de geração. No entanto, durante a vida útil de uma instalação pode ocorrer que novos pontos de consumo sejam incorporados, com suas demandas de vazão de ar específicas, fazendo com que o limite de perda de carga seja ultrapassado.

Uma queda de pressão elevada na distribuição pode dar origem a uma pressão de ar no ponto de consumo inferior à prevista, ocasionando perda de potência nas ferramentas pneumáticas, por exemplo. Nas redes de distribuição, sempre que for possível, é recomendável que seu traçado seja em forma de anel fechado, passando o mais próximo dos pontos de consumo. Isto permite que a distribuição seja mais uniforme quando os consumos são intermitentes, já que o ar poderá chegar até o ponto de consumo por caminhos diferentes. Com este traçado, as velocidades de escoamento são menores em qualquer ponto e, portanto, as perdas de carga também são menores.

Linhas com excesso de curvas e com mudanças de direção exageradas causam aumento de perdas de carga a serem vencidas pelo compressor e também levam a uma regulação de pressão

de desarme muito alta, causando maior tempo de funcionamento do compressor e levando ao consumo maior de potência e energia elétrica.

Vazamentos de ar comprimido são frequentes e de origens diversas. Representam de 10% a 40% da demanda máxima de ar comprimido de um sistema. Esta variação tão ampla depende da configuração de cada sistema e dos cuidados de manutenção. O desgaste dos equipamentos e acessórios e o mau uso do ar comprimido constituem as principais causas de perdas. O desgaste de um sistema de distribuição e de seus equipamentos é inevitável.

Embora os vazamentos possam ocorrer em qualquer parte do sistema, as áreas em que estes problemas ocorrem com mais frequência são: acoplamentos (juntas, uniões), mangueiras, tubos, adaptações, uniões de tubulações, engates rápidos, FRLs (filtro, regulador, e lubrificador), purgadores de condensado, válvulas, flanges, roscas de vedação e dispositivos de uso final.

A vazão de ar perdida aumenta com a elevação da pressão do sistema e é proporcional ao quadrado do diâmetro do furo.

Para a identificação de vazamentos, pode ser utilizada a técnica de detecção por ultrassom. No capítulo 6 é apresentado um estudo de caso que envolveu a aplicação desta técnica.

Com base na inspeção com ultrassom, definem-se prioridades para eliminação dos vazamentos, em função das perdas de energia envolvidas, e colocam-se etiquetas nos pontos de vazamentos.

Além disso, visando assegurar que o nível de perdas em vazamentos de ar seja o menor possível, deve-se criar uma rotina de manutenção para o sistema de distribuição de ar comprimido, baseada na medição periódica da vazão de ar perdido em vazamentos.

5.3. Sistemas de bombeamento eficientes

Bombas hidráulicas são equipamentos amplamente utilizados em todos os segmentos industriais e, em particular, na indústria de laticínios. Essas bombas, normalmente acionadas por motores elétricos, formam sistemas de bombeamento quando estão junto com válvulas, conexões e tubulações.

As bombas de fluxo possuem um ponto ótimo de funcionamento para uma determinada vazão, altura manométrica e rotação, em que suas perdas são mínimas. Entretanto, a maioria das instalações exige da bomba uma operação fora desse ponto de funcionamento ótimo, em função da necessidade de variação de vazão.

Normalmente na indústria, nas empresas de saneamento e em outras aplicações, as instalações de bombeamento operam suas máquinas com uma rotação constante e, para obter variações na vazão, principalmente a sua diminuição, utilizam válvulas que estrangulam o fluxo, aumentando a pressão e as perdas da bomba. Essa prática penaliza energeticamente a instalação, quando ela é comparada com a variação da vazão através da rotação da bomba (MARQUES, HADDAD E MARTINS, 2006).

Basicamente, são duas as formas de se otimizar o custo do consumo de energia elétrica dos motores que impulsionam bombas hidráulicas.

A primeira delas, direta, consiste em:

- Utilizar tubulações com diâmetros bem dimensionados;
- Manter a tubulação em bom estado de conservação quanto à rugosidade interna;
- Manter a tubulação, os componentes periféricos como válvulas e conexões, e os equipamentos e processos consumidores em bom estado de modo a evitar a existência de vazamentos;
- Trabalhar com arranjos de concepção de projeto e de operação que sejam norteados pela melhor setorização das zonas de pressão, evitando-se o desperdício com altas pressões desnecessárias na rede, que provocam perdas hidráulicas evitáveis;
- Variar a velocidade dos motores elétricos com a variação da demanda, de modo a adequar o ponto de funcionamento da bomba ao seu máximo rendimento; e
- Escolher o conjunto moto-bomba com melhor rendimento para o ponto de trabalho desejado.

A segunda forma consiste em se evitar ou se reduzir o consumo dos sistemas de bombeamento no período de ponta, que é o período de tempo em que o sistema da concessionária local distribuidora de energia elétrica é mais demandado pelos clientes e o custo da energia é mais elevado, no contexto de tarifas horosazonais obrigatórias para consumidores industriais de médio e grande porte.

Isso pode ser conseguido mediante um arranjo adequado entre produção (vazão de bombeamento) e reservação, de modo que a paralisação ou redução da vazão bombeada em determinadas horas possa ser feita sem prejuízo do abastecimento.

5.4. Conservação de energia em trocadores de calor

Em indústrias de processamento de alimentos, várias operações unitárias, tais como refrigeração, congelamento, esterilização térmica, secagem e evaporação envolvem a transferência de calor entre os produtos alimentícios e os meios de aquecimento ou resfriamento. O aquecimento ou resfriamento dos alimentos é obtido através de trocadores de calor. Estes equipamentos também desempenham um papel fundamental na recuperação de calor.

5.4.1. Tipos de trocadores de calor e o seu uso em laticínios

Trocadores de calor são equipamentos que fazem a transferência de energia de uma corrente quente de fluido para uma corrente fria, permitindo ou não que os fluidos entrem em contato. Estes equipamentos podem ser classificados como trocadores de calor de contato indireto e de contato direto.

Em um trocador de contato indireto, os fluidos permanecem separados e o calor é transferido continuamente através de uma parede. Este tipo de trocador é subdividido em duas categorias: o trocador de transferência direta, ou recuperador; e o trocador de armazenamento.

Os recuperadores constituem uma vasta maioria de todos os trocadores de calor.

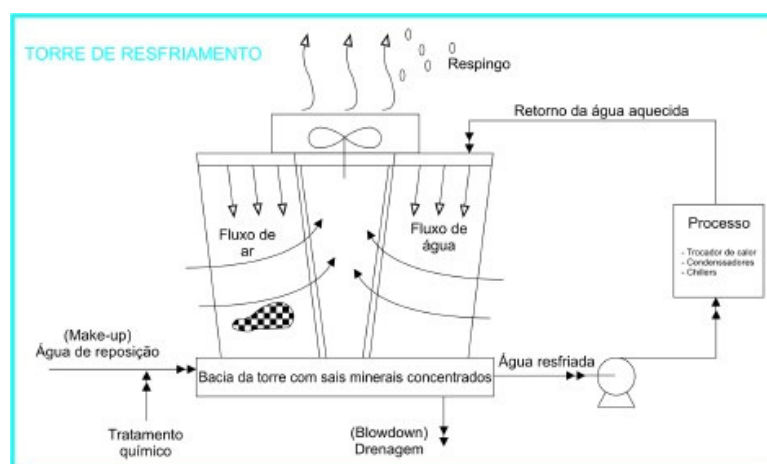
Nos trocadores de calor de contato indireto e transferência direta há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas.

Em um trocador de calor de contato indireto do tipo armazenamento, ambos os fluidos percorrem alternativamente as mesmas passagens de troca de calor. A superfície de transferência

de calor geralmente é uma estrutura chamada matriz. Em caso de aquecimento, o fluido quente atravessa a superfície de transferência de calor e a energia térmica é armazenada na matriz. Posteriormente, quando o fluido frio passa pelas mesmas passagens, a matriz “libera” a energia térmica. Quando se trata da refrigeração de um fluido, o processo é inverso. Este trocador também é chamado regenerador, sendo pouco utilizado nos processos das indústrias de laticínios.

Nos trocadores de calor de contato direto os fluidos se misturam. Aplicações comuns de um trocador de contato direto envolvem transferência de massa além de transferência de calor; Aplicações que envolvem somente transferência de calor, neste caso são raras. Se comparado aos recuperadores de contato indireto e regeneradores, são alcançadas taxas de transferência de calor muito altas. Outra característica importante do trocador de calor de contato direto é que sua construção é relativamente barata.

Torres de resfriamento são os trocadores de calor de contato direto mais utilizados na indústria, de uma forma geral, e nos laticínios, em particular. Neste trocador de calor, um fluxo de água passa através de uma corrente de ar que o resfria. A movimentação do ar nas torres de resfriamento pode ser por convecção natural, ou por tiragem forçada, ou induzida. Um esquema de funcionamento de uma torre de resfriamento com tiragem induzida está ilustrado na Figura 5.6.



Fonte: www.edradobrasil.wordpress.com, acessado em 16/02/2014

Figura 5.6: Torre de resfriamento com tiragem induzida

Os trocadores calor podem ser classificados, segundo o tipo de construção, em tubulares, de placas e regenerativos.

Os trocadores de calor tubulares são geralmente construídos com tubos circulares.

Um trocador de calor de tubos amplamente utilizado na indústria de laticínios é o tipo carcaça e tubos. Este trocador é construído com tubos e uma carcaça. Um dos fluídos passa por dentro dos tubos, e o outro pelo espaço entre a carcaça e o lado externo dos tubos.

Os trocadores de carcaça e tubo são os mais usados para quaisquer capacidades e condições operacionais, tais como pressões e temperaturas altas, atmosferas altamente corrosivas, fluidos muito viscosos, misturas de multicomponentes, etc. Estes trocadores são muito versáteis, fabricados de uma variedade de materiais e tamanhos, e são extensivamente usados nos mais variados processos industriais.

Um outro trocador de calor tubular é o de tubo duplo, ou tubo coaxial, que é formado por dois tubos concêntricos. Um dos fluidos escoam pelo tubo interno e o outro pela parte anular entre os tubos. Trata-se do mais simples de todos os tipos de trocadores de calor, tanto do ponto de vista construtivo como de facilidade de manutenção. É geralmente utilizado em aplicações que requerem pequenas capacidades (BAJAY, 2011).

Um outro tipo de trocador de calor tubular é o de serpentinas. Este tipo de trocador consiste em uma ou mais serpentinas inseridas em uma carcaça. Uma grande superfície de trocas de calor pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas. As expansões térmicas não são um problema, mas a limpeza pode ser problemática (BAJAY, 2011). Este tipo de trocador de calor é comumente utilizado na indústria de alimentos para aquecer fluídos tais como óleo, manteiga, soro ou soluções químicas utilizadas para CIP diretamente no interior de tanques.

O trocador de calor de placas é normalmente construído com placas lisas ou com alguma forma de ondulação. Geralmente, este trocador não pode suportar pressões muito altas, comparado ao trocador tubular equivalente. São equipamentos formados por placas superpostas e comprimidas entre dois cabeçotes por meio de tirantes (BAJAY, 2011). Os trocadores de calor de placas são amplamente utilizados em laticínios, em diversos processos como resfriamento, esterilização, termização e pasteurização.

O regenerador rotativo é um equipamento normalmente utilizado para recuperar calor através da troca térmica de um gás quente de saída com um gás frio de entrada. Por exemplo, o regenerador rotativo pode ser usado para pré-aquecer o ar de combustão em uma central termoelétrica. Esse pré-aquecimento proporciona um aumento na temperatura do ar de entrada,

possibilitando uma economia considerável no consumo de combustível. Regeneradores rotativos são pouco utilizados na indústria de laticínios.

5.4.2. Ganhos de eficiência energética em trocadores de calor

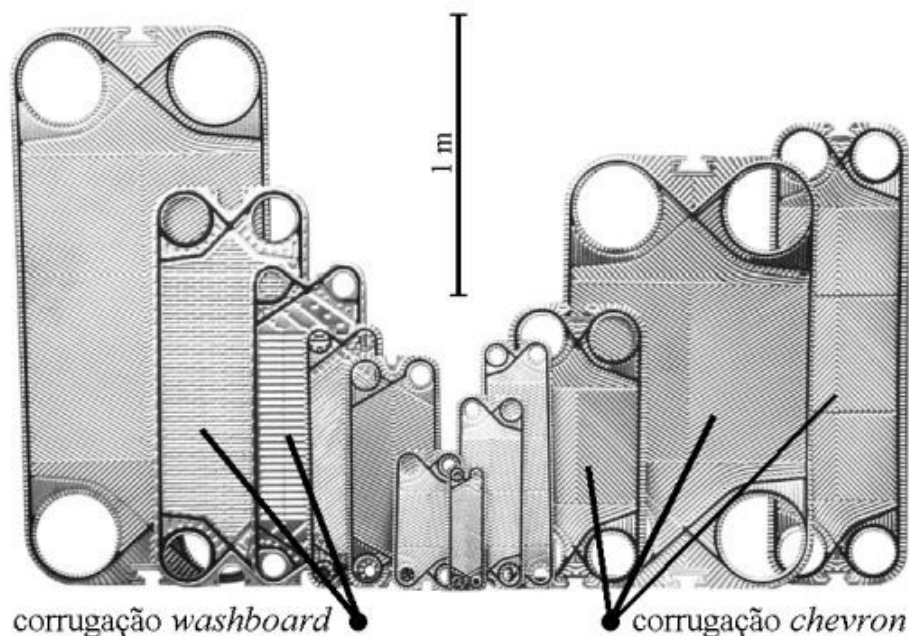
5.4.2.1. Especificação e dimensionamento

Nos processos de produção da indústria de laticínios o modelo mais comumente utilizado é o trocador de calor de placas. Existe uma grande variedade de tamanhos e desenhos de placas, como pode ser visto na Figura 5.7. A área de troca térmica por placa varia de 0,03 a 3,6 m² e a espessura da chapa é de cerca de 1 mm. Os tipos mais comuns de corrugações são a *chevron* (ou “espinha de peixe”) e as *washboard* (ou “tábua de lavar”), indicados na figura 5.7. O ângulo de inclinação das ranhuras *chevron* é um parâmetro muito importante para o dimensionamento do trocador de calor de placas, pois ele tem uma forte influência sobre os coeficientes de troca térmica e sobre a perda de carga dos fluídos. Existem alguns casos específicos nos processos de laticínios em que não é possível obter o melhor rendimento energético do trocador de calor devido à necessidade de se respeitar características do produto tais como viscosidade, limite de variação da temperatura e ponto de cisalhamento.

Quando se trata da espessura da chapa, a média é de 1 mm, mas este valor pode variar em função da pressão de trabalho, tipo do material utilizado e características físico-químicas dos fluídos a serem processados. Existe várias aplicações em processos que são permitidos utilizar placas com espessuras de 0,6 mm e, nesses, casos a troca térmica é mais eficiente.

Quando se trata de um trocador de calor do tipo carcaça e tubos, segundo tipo mais utilizado na indústria de laticínios, vários cuidados devem ser tomados no momento da especificação e dimensionamento. Esses trocadores de calor funcionam muito bem em aplicações que exigem altas pressões e altas temperaturas, como por exemplo, com a utilização de vapor sob pressão direta da caldeira para aquecimento de algum fluído. Nesses casos é recomendável que o

trocador de calor receba uma correta isolamento térmica, principalmente quando for instalado ao tempo, sob a ação de chuvas e correntes de ventos.



Fonte: www.hottopos.com, acessado em 23/02/2014

Figura 5.7: Variedades de tamanhos e tipos de placas

Para qualquer tipo de trocador de calor que esteja utilizando vapor para aquecimento de algum fluido é de extrema importância a correta aplicação de um purgador, devidamente dimensionado para cada aplicação.

Sempre que possível, o trocador de calor a ser escolhido deve apresentar uma forma construtiva que permita a sua desmontagem total ou parcial, de modo a facilitar a sua limpeza interna. No caso dos trocadores de calor de placas, são disponíveis as versões soldadas, brasadas e com gaxetas. Esta última versão é a mais recomendada, uma vez que as outras duas não permitem a abertura para inspeção e limpeza. Quando se trata de trocadores de calor tubulares, o ideal é que se utilize as versões com flanges, que permitem também a abertura para inspeção e limpeza.

Todos os grandes e tradicionais fabricantes de trocadores de calor para a indústria de alimentos e bebidas, como Alfa Laval, GEA, SPX (APV) e Tetra Pack possuem *softwares* para especificação e dimensionamento de seus produtos. Esses *softwares* são dotados, em suas memórias, das informações técnicas de seus respectivos produtos e atualmente são indispensáveis

para a especificação de novas instalações, ou avaliação e redimensionamento de equipamentos existentes e em operação.

5.4.2.2. Redimensionamento de sistemas com trocadores de calor

É comum em qualquer instalação industrial se encontrar equipamentos antigos em operação, como também identificar sistemas dotados de trocadores de calor que sofreram alterações com o passar do tempo e atualmente operam de forma ineficiente. Existem muitos casos em que se perderam a memória de cálculo e as informações originais do projeto, e o arranjo dos trocadores de calor (por exemplo, a quantidade de placas) foi alterado.

Para esses tipos de situações deve-se realizar um diagnóstico energético buscando o redimensionamento de todo o sistema, não somente o trocador de calor, mas todos os equipamentos adjacentes como bombas hidráulicas, válvulas e tubulações.

5.4.2.3. Planos de manutenção e limpeza periódica

Assim como em outros sistemas de troca térmica, planos de manutenção e limpeza periódica são de grande importância para se garantir uma boa eficiência nos trocadores de calor.

Várias são as situações que podem causar sujidades ou incrustações nas partes internas dos trocadores de calor, que conseqüentemente promovem o efeito de isolamento térmico. Nos casos de resfriamento de produtos com a utilização de água gelada é comum a formação de lodo de origem microbiológica, ou a formação de incrustações por sais minerais como cálcio e magnésio. Nos casos de aquecimento com a utilização de vapor, ou água aquecida, se acentua o efeito de incrustação de origem físico-química. Para estes casos, as incrustações ou formação de lodo podem ser minimizadas com um tratamento químico adequado, com a recomendação de ser executado por uma empresa especializada neste ramo de atividade.

No outro lado ou circuito do trocador de calor, também conhecido como lado do processo, é comum a ocorrência de sujidades ou incrustações por resíduos de PLF. Esses resíduos podem ser causados pela gordura e/ou proteína do leite, ou ainda por ingredientes adicionados para a fabricação dos produtos, tais como açúcar, amido, gelatina e fermentos.

Obrigatoriamente, o lado do processo deve ser periodicamente lavado com o auxílio de alguma técnica de CIP desenvolvida para cada tipo específico de equipamento.

Mesmo com os cuidados acima citados para se obter uma boa eficiência de troca térmica, todo trocador de calor deve possuir um plano de manutenção que considere, se possível, a sua desmontagem completa para inspeção e inspeção.

5.4.2.4. Regeneração em sistemas de pasteurização

A utilização do calor de um líquido quente, como leite pasteurizado, para pré-aquecer o leite frio que está entrando no pasteurizador é chamado de regeneração. O leite frio também serve para resfriar o leite que está saindo da etapa de pasteurização, economizando assim água e energia. As modernas instalações de pasteurização podem atingir eficiências de regeneração na faixa de 94% a 95%.

5.4.2.5. Integração de processos

A integração de processos tem por objetivo “aproveitar” para um processo aquilo que, ao mesmo tempo, é “indesejável” para outro. Por exemplo, um processo consome energia para ser resfriado e rejeita calor através de uma torre de resfriamento, enquanto que um outro consome energia do vapor gerado em uma caldeira para ser aquecido. A solução, neste caso, é aproveitar o calor rejeitado por um processo, para aquecer outro. No capítulo 6 é apresentado um exemplo de aplicação desta técnica na fábrica da Danone em Poços de Caldas.

O foco inicial da integração de processos foi a recuperação de calor, isto é, a integração energética. Durante os últimos anos da década de 1980 e ao longo dos anos 1990 o seu escopo foi expandido consideravelmente, passando a cobrir diversos aspectos da engenharia de processos. Por exemplo, esta técnica tem sido utilizada para analisar redes de equipamentos de transferência de massa, de uma forma geral, e o gerenciamento de água em processos, em particular.

Na indústria de laticínios esta técnica tem sido aplicada em menor escala, comparada com a indústria química, mas o seu uso tem crescido constantemente, proporcionando vários benefícios ligados à redução dos consumos de água e energia, e redução de custos operacionais.

5.5. Ganhos de eficiência energética em instalações de refrigeração industrial por compressão de vapor

5.5.1. Introdução

O frio é muito utilizado na indústria da alimentação para a conservação de alimentos, entre outros usos. A utilização de sistemas de refrigeração é indispensável em um laticínio e, como consequência, é alto o consumo de energia elétrica para acionamento dos motores e outros equipamentos associados a estes sistemas. Conforme ilustrado na Figura 4.7, na fábrica da Danone em Poços de Caldas, o consumo de energia elétrica destinado para refrigeração industrial representa 37,5% do consumo total deste energético na fábrica.

Um sistema de refrigeração industrial por compressão de vapor utiliza equipamentos que realizam um ciclo de refrigeração que compreende as etapas de compressão, condensação, expansão e evaporação.

5.5.2. Caracterização da instalação

A primeira etapa de um trabalho buscando ganhos de eficiência energética em um sistema de refrigeração industrial é a caracterização da instalação objeto de avaliação.

A caracterização pode começar a ser realizada com base no *layout* da fábrica, indicando a localização dos componentes do sistema e suas condições nominais, ou de projeto, tais como temperaturas, pressões e vazões. Com este *layout* é possível, também, identificar as dimensões dos ambientes a serem refrigerados, os traçados e distâncias das tubulações e as cargas térmicas utilizadas. É recomendável a criação de uma planilha, se ainda não existir, com informações técnicas de todos os componentes do sistema tais como modelos, formas construtivas, capacidades frigoríficas, potências elétricas, dimensões, etc.

É imprescindível a criação de um perfil, ao longo do tempo, dos seguintes parâmetros operacionais do sistema: vazão, temperatura, carga térmica e pressão. A criação desse perfil visa conhecer e entender o comportamento da instalação ao longo do dia, semana, mês e ano, verificando o nível de carregamento e se há sazonalidades ou não.

Deve-se levantar, em seguida, valores reais destes parâmetros operacionais do sistema, através de medições, que pode utilizar instrumentação existente e/ou medições instantâneas. Desta forma é possível se identificar o regime de funcionamento, os picos de carga, o consumo e as capacidades totais e por período. Simultaneamente, deve-se contabilizar a produção ou serviço que ocorreu no período de medição.

Com as informações obtidas, se estabelece a linha de base, ou condição de referência da atual situação da instalação. Devem ser criados índices de consumos específicos, tais como Tonelada de Refrigeração (TR) / Quantidade resfriada, ou kW/TR. Podem ser criados, também, índices monetários, tais como TR/Valor da Produção, R\$/TR. A partir daí é possível se calcular eficiências. Esses índices são usados para comprovar, ou não, sucesso nas medidas de melhorias implantadas.

Os índices mais utilizados em comparações (*benchmarking*) de desempenho energético de sistemas de refrigeração industrial são o Coeficiente de Performance (COP), a relação kW/TR e o consumo específico de energia elétrica por produção (kWh/t). O COP representa a relação entre a capacidade frigorífica do sistema e a potência consumida. A out. A razão kW/TR, como a

própria simbologia mostra, representa a relação entre a potência do sistema de refrigeração, em kW, e a sua capacidade frigorífica, em TR (VENTURINI e PIRANI, 2005).

5.5.3. Oportunidades de ganhos de eficiência energética na geração de frio

É recomendável que, antes de se realizar qualquer alteração no sistema de geração de frio, área onde se consome a maior parte da energia, deve-se, primeiro, buscar oportunidades de melhorias de desempenho energético na utilização final do frio e nos sistemas de distribuição, porque os ganhos obtidos nessas áreas são diretamente refletidos para todo o sistema. Um outro motivo para se organizar o trabalho nessa sequência é que o sistema pode se tornar superdimensionado.

5.5.3.1. Fatores que afetam a eficiência energética na geração de frio

A eficiência energética de um sistema, de maneira geral, indica o quanto um equipamento real aproxima-se de um comportamento ideal, no qual não existem perdas. No caso de um sistema de refrigeração por compressão de vapor, a eficiência pode ser calculada pelo quociente entre a energia útil (frio produzido) e o consumo de energia elétrica.

O COP é um parâmetro importante na análise das instalações frigoríficas. Embora o COP do ciclo real seja sempre menor do que o do ciclo teórico, para as mesmas condições de operação, pode-se, com o ciclo teórico, verificar que parâmetros influenciam no desempenho do sistema. Assim, o COP é definido como:

$$\text{COP} = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{Q_0}{W_c} \quad (5.3)$$

Vários parâmetros influenciam o desempenho do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, destacando-se as temperaturas de evaporação e de condensação, que são discutidos nas seções a seguir.

5.5.3.2. Aumento da temperatura de evaporação

Quanto maior for a temperatura de evaporação em que o sistema frigorífico opera, menor é o consumo de energia. Tipicamente, a cada 1 °C de aumento na temperatura de evaporação diminui o consumo de energia em, aproximadamente, 1 a 4%.

A redução no volume específico do fluido refrigerante associada ao aumento da temperatura de evaporação também afeta significativamente a capacidade frigorífica do compressor e a perda de pressão na linha de sucção. Pode-se estimar que a cada 1 °C de aumento na temperatura de evaporação corresponde um aumento de 4 a 6% na capacidade frigorífica do compressor, implicando menor tempo de operação deste equipamento.

Seguem abaixo alguns procedimentos para se elevar a temperatura de evaporação:

- Assegurar-se de que os ciclos de degelo ocorram de forma adequada, mantendo a superfície de troca de calor dos evaporadores livre de gelo;
- Assegurar-se de que os produtos armazenados na câmara não obstruam o fluxo de ar dos evaporadores;
- Manter as superfícies de transferência de calor sempre limpas, não permitindo o acúmulo de poeira, óleo, formação de incrustações, etc. Nesse caso, pode ser instalado um equipamento regenerador do fluido refrigerante, utilizado para eliminar água e óleo presentes na instalação. Na seção 6.7 desta dissertação é apresentado um caso prático de instalação de regenerador de amônia, na fábrica da Danone em Poços de Caldas;
- Assegurar-se de que não ocorra o acúmulo de óleo lubrificante no interior dos evaporadores, mediante o dimensionamento correto das linhas de sucção, da utilização de separadores de óleo eficientes e da drenagem periódica do óleo;

- Limpar, ou substituir periodicamente os filtros de refrigerante, de forma que a perda de pressão através dos mesmos seja mínima; e
- Ajustar a temperatura de evaporação para o maior valor permissível, em função das necessidades do processo.

5.5.3.3. Diminuição da temperatura de condensação

A utilização de temperaturas menores de condensação resulta em um consumo menor de energia nos sistemas frigoríficos. Tipicamente, cada 1 °C de redução na temperatura de condensação reduz o consumo de energia em aproximadamente 2 a 3%, obtendo-se, ainda, um pequeno aumento de capacidade no compressor.

Seguem algumas formas de se reduzir a temperatura de condensação:

- Assegurar que o sistema trabalhe com a menor pressão de condensação possível, adotando-se, por exemplo, válvulas de expansão eletrônicas. Nesse caso, também pode ser adotado um sistema de controle da pressão de condensação através da variação da velocidade dos ventiladores de condensadores evaporativos, conforme ilustrado em um caso prático apresentado na seção 6.11 desta dissertação;
- Manter as superfícies de transferência de calor sempre limpas, não permitindo o acúmulo de poeira, óleo, formação de incrustações, etc.;
- Evitar a instalação dos condensadores em locais sujeitos à radiação solar direta, ou próximos de fontes de calor;
- Assegurar que o ar quente que deixa os condensadores não seja novamente aspirado pelos ventiladores, isto é, evitar a formação de “curto-circuito” do ar de resfriamento. Se for necessário, podem ser instalados dutos de ar ou defletores para se evitar tal situação;
- Assegurar que o fluxo de ar de resfriamento dos condensadores não esteja restringido. Obedecer à recomendação do fabricante quanto ao distanciamento de parede e condensadores vizinhos;
- Assegurar que os ventiladores operem de forma correta e eficiente, e

- Estabelecer um programa de manutenção periódica para as correias e motores dos ventiladores;
- Caso sejam utilizados condensadores a água, adotar um sistema de tratamento periódico da mesma, evitando-se a formação de incrustações no interior das tubulações;
- Promover a remoção periódica de ar e gases não condensáveis do interior do sistema. Nesse caso, pode ser instalado um sistema automático de purga de gases não condensáveis. Isto fará com que o sistema opere com pressões menores de condensação. Na seção 6.8 da dissertação é apresentada uma aplicação prática de equipamento de extração de ar em um sistema de refrigeração industrial; e
- Promover o dessuperaquecimento, ou pré-condensação do fluido refrigerante através de um trocador de calor com água, que pode ser utilizada em processos que necessitem de água quente. Esta medida foi adotada na fábrica da Danone em Poços de Caldas, em um projeto de integração de processos, e se encontra descrita na seção 6.13 da dissertação.

5.5.4. Oportunidades de ganhos de eficiência energética na distribuição de frio

A maneira como o fluido de baixa temperatura (“frio”) é distribuído em um ambiente industrial é de importância fundamental para assegurar um consumo baixo de energia em toda a instalação frigorífica, pois podem ocorrer ganhos de calor consideráveis no sistema de distribuição se o mesmo não for cuidadosamente projetado e mantido.

5.5.4.1. Isolamento das tubulações

A aplicação de um isolamento eficiente em tubulações e tanques é de fundamental importância para a conservação de energia em sistemas de refrigeração. Nesse caso, pode ser

aplicado o mesmo conceito de espessura econômica utilizado na seção 5.1.7 deste capítulo para tubulações de vapor.

Assim, as tubulações que transportam um fluido frio (refrigerante, água, salmoura, glicol, etc.) devem ser isoladas para se evitar a condensação superficial e, em alguns casos, a formação de gelo sobre as mesmas. A condensação superficial irá ocorrer sempre que o ar entrar em contato com uma tubulação cuja temperatura seja inferior à sua temperatura de orvalho. Além disso, o ganho de calor em tubulações não isoladas reduz a eficiência do sistema e obriga o sistema a operar durante um período maior, consumindo mais energia.

5.5.4.2. Eliminação de vazamentos de fluido refrigerante

A maioria das instalações de refrigeração perde fluido refrigerante devido à ocorrência de vazamentos, o que é extremamente prejudicial, do ponto de tanto de consumo de energia quanto dos aspectos ambientais.

À medida em que o vazamento de refrigerante progride, o desempenho do sistema frigorífico é afetado, uma vez que faltará fluido para o sistema operar corretamente. Testes demonstram que 15% de perda da carga de refrigerante podem resultar em até 45% de redução da capacidade frigorífica do sistema e 200% de aumento no seu consumo de energia (VENTURINI e PIRANI, 2005).

5.5.5. Oportunidades de ganhos de eficiência energética no uso final do frio

O primeiro passo para a redução do consumo de energia associado ao uso final do frio e do sistema frigorífico como um todo é a redução, até os limites máximos permitidos pelo processo, de toda e qualquer fonte de calor (carga térmica) presente no ambiente refrigerado e/ou advinda do próprio processo de produção.

A análise da carga térmica inicia-se com a busca de informações precisas sobre a quantidade de produto, temperatura de entrada do produto na câmara (ou equipamento) e temperatura final do produto. Informações imprecisas geralmente levam ao sub ou ao superdimensionamento do sistema frigorífico, o que acaba comprometendo a qualidade dos produtos e aumentando o consumo de energia.

A carga térmica real de um sistema geralmente é maior do que aquela associada apenas ao produto. No caso de câmaras de conservação de alimentos, a carga associada ao produto geralmente é mínima. Neste caso, a carga térmica, em geral, é composta das seguintes parcelas: ganhos de calor através das estruturas, infiltração, potência dissipada nos motores dos ventiladores dos evaporadores, iluminação e sistema de degelo.

A carga térmica decorrente da transmissão de calor é uma função do diferencial de temperatura entre o ambiente externo e o interior da câmara, da condutividade térmica dos elementos construtivos da câmara (paredes, teto, piso, portas, etc.) e da área das superfícies expostas ao diferencial de temperaturas.

A carga térmica associada à infiltração de ar está relacionada com a entrada de ar quente (ar externo) e a saída de ar frio da câmara frigorífica, através de portas ou quaisquer outras aberturas. Cada vez que uma porta da câmara é aberta, uma determinada quantidade de ar externo penetra na mesma, a qual deverá ser resfriada pelo sistema frigorífico da câmara, aumentando a carga térmica e, conseqüentemente, o consumo de energia associado ao sistema frigorífico.

Todos os equipamentos elétricos instalados no interior da câmara frigorífica (lâmpadas, motores, resistências para degelo, etc.) dissipam calor. Portanto, contribuem para o aumento da carga térmica e do consumo de energia do sistema frigorífico.

As condições de armazenagem (temperatura e umidade) dos produtos no interior de câmaras frigoríficas determinam a temperatura de evaporação do sistema frigorífico e, como visto anteriormente, a eficiência do sistema está diretamente relacionada com a temperatura de evaporação. Para se obter os melhores resultados, cada produto deveria ser armazenado de acordo com os seus requisitos específicos de temperatura e umidade relativa, especificados em manuais. Porém, nem sempre se torna prático construir uma câmara individual para cada produto manipulado por uma instalação industrial, ou comercial. Assim, os produtos a serem armazenados são divididos em grupos que requerem condições de armazenamento semelhantes.

5.6. Ganhos de eficiência energética em sistemas elétricos

5.6.1. Introdução

Eletricidade é a mais importante fonte de energia para a indústria de alimentos e bebidas no Brasil, após o bagaço de cana, que é consumido majoritariamente na produção de açúcar. De acordo com o balanço energético nacional de 2013 (EPE/MME, 2013), a energia elétrica representou 39% do consumo de energia na indústria de alimentos e bebidas no ano de 2012, desconsiderando o consumo de bagaço de cana; o consumo de lenha ocupou o segundo lugar. Essas informações estão alinhadas com o perfil de consumo energético da fábrica da Danone em Poços de Caldas.

A maior parte do consumo da energia elétrica em uma fábrica de alimentos, ou de bebidas é destinada à força motriz, ou seja, motores elétricos que acionam os mais diversos equipamentos, tais como compressores, sistemas de refrigeração, ventiladores, bombas hidráulicas, esteiras e elevadores transportadores de cargas, centrífugas, homogeneizadores, etc.

A Tabela 5.1 apresenta a participação da força motriz no consumo de eletricidade em vários setores da indústria. Este trabalho faz parte do Plano Nacional de Energia 2030 realizado pelo MME com a colaboração da EPE.

O Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007) estima que a força motriz representa 81% do consumo da energia elétrica na indústria de alimentos e bebidas no Brasil. Pode-se afirmar que esse valor é maior que 90% na indústria de laticínios. O restante da energia elétrica é consumido em iluminação, sistemas de aquecimento com resistências elétricas e equipamentos eletroeletrônicos.

A energia elétrica é um insumo indispensável e insubstituível em qualquer segmento industrial. O seu preço tem crescido substancialmente nos últimos anos no Brasil. Felizmente, existem muitas oportunidades para redução de consumo e custo com energia elétrica, apresentadas sinteticamente nesta seção.

5.6.2. Escolha da melhor opção tarifária e controle do fator de potência

Existem ações que podem ser adotadas visando a redução de custos na conta de energia elétrica que não necessariamente envolvem ganhos de eficiência energética, mas que são fundamentais para uma boa gestão da energia.

Uma destas ações, muito importante, é a otimização tarifária, ou seja, a escolha da tarifa mais conveniente para a unidade consumidora, considerando o seu regime de funcionamento, as características de seus processos produtivos, bem como a oportunidade/possibilidade de se fazer modulação de carga. Simulações realizadas com os dados das contas de energia elétrica podem confirmar, ou não, a tarifa utilizada como a mais conveniente, assim como a alternativa tarifária que pode proporcionar o menor custo médio para a fábrica.

Uma outra ação importante relacionada com a conta de energia elétrica diz respeito ao fator de potência da instalação. Este é um índice que reflete como a energia está sendo utilizada, mostrando a relação entre a energia útil, ativa, e a energia total, ou aparente, fornecida pelo sistema elétrico.

Quando o fator de potência está abaixo do limite estabelecido pela regulamentação vigente no setor elétrico (0,92), a concessionária cobra multa do consumidor. Normalmente, em uma indústria de laticínios, o fator de potência tende a ser indutivo, devido à grande quantidade de motores elétricos instalados e, nesse caso, a correção do fator de potência deve ser feita com a instalação de capacitores. Atualmente é comum a utilização de equipamentos para controle automático do fator de potência, que controlam o chaveamento dos capacitores.

5.6.3. Motores elétricos

Assim como em muitos outros países, o Brasil tem procurado organizar e criar regras para a fabricação dos motores elétricos, visando que estes se tornem mais eficientes em termos de consumo energético. Criada para controlar os padrões de fabricação e comercialização de

produtos consumidores de energia elétrica, a Lei nº 10.295, de 2001 (conhecida como Lei da Eficiência Energética) traz várias normas para um melhor aproveitamento dos recursos energéticos brasileiros. Dentre elas, está a Portaria nº 553, responsável pela obrigatoriedade da substituição do fornecimento de motores *standard* (padrão) pelos de alto rendimento.

De acordo com a portaria, baixada em 12/12/2006, os fabricantes de motores tiveram o prazo de quatro anos para passar a fabricar apenas motores de alto rendimento. Já os pontos comerciais tiveram quatro anos e meio de tolerância para a venda de motores antigos. A partir de 12/05/2010, portanto, só pode ser fabricada e vendida a nova linha de motores.

Existem algumas características técnicas que diferenciam os motores de alto rendimento dos motores *standard*:

- Maior quantidade de cobre, o que reduz as perdas por efeito Joule (perdas no estator);
- Chapas magnéticas com baixas perdas, o que reduz a corrente magnetizante e, conseqüentemente, as perdas no ferro;
- Enrolamento de dupla camada, o que proporciona uma melhor dissipação de calor;
- Rotores tratados termicamente, reduzindo as perdas suplementares; e
- Menor região de entreferro, o que também reduz as perdas suplementares.

A Portaria nº 533 determina que todos os novos motores elétricos sejam comercializados na versão alto rendimento, porém, existem muitos motores antigos operando em condição de baixa eficiência energética na indústria brasileira. Esta é uma grande área a ser explorada através de planos de substituição de motores tipo padrão pelos de alto rendimento. Os grandes fabricantes de motores elétricos oferecem suporte técnico para a realização dos planos de substituição de motores, que visam também ajustar, ou redimensionar a capacidade de cada motor instalado em função da necessidade exigida pela carga acionada. É comum se encontrar motores operando em condição de superdimensionamento, situação que não só é desfavorável para o consumo de energia como, também, para o fator de potência da instalação.

Uma outra prática amplamente utilizada para melhorar a eficiência energética de equipamentos acionados por motores é a aplicação de inversores de frequência, ou variadores de velocidade eletrônicos em motores elétricos. A eletrônica de potência vem, com o passar do tempo, tornando mais fácil e mais barato tal tipo de controle de motores elétricos. Com isto, sistemas que antes usavam motores de corrente contínua, pela facilidade de controle, hoje podem usar motores de corrente alternada de indução graças aos inversores de frequência, também

chamados de conversores de frequência. Em paralelo com o avanço da eletrônica de potência, a microeletrônica, por meio de microprocessadores e microcontroladores, tem auxiliado muito o acionamento de máquinas de corrente alternada, em particular os inversores de frequência, com funções cada vez mais complexas. Os inversores de frequência podem substituir, com vantagens, os sistemas de controle de fluxo com válvulas em aplicações com bombas e compressores, ou dampers em aplicações com ventiladores, por exemplo.

5.6.4. Iluminação

A iluminação é responsável por 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Em relação aos serviços públicos, aproximadamente dois terços são utilizados para iluminação de ruas. Pode-se, então, dizer que a iluminação pública é responsável por cerca de 3,3% de toda a eletricidade consumida no Brasil (MARQUES; MARTINS; NOGUEIRA, 2006).

Apesar de iluminação representar uma parcela muito pequena no consumo energético industrial, é válido considerar a aplicação de boas práticas voltadas para melhorar a eficiência, principalmente no que diz respeito a novos projetos e instalações.

O ponto de partida para a escolha de um sistema de iluminação é a definição do nível de iluminância necessário no ambiente industrial, que leve em consideração as atividades que são realizadas no local. A norma brasileira NBR 5413 - Iluminação de Interiores define a quantidade de lux (fluxo luminoso incidente em uma unidade de área - m^2) necessária para diversos locais, atividades e tipos de indústrias.

Do ponto de vista energético, a luz natural é a melhor solução, pois seu custo é nulo e deve, sempre que possível, ser utilizada nos ambientes industriais. O emprego de telhas translúcidas na cobertura, o emprego de grandes janelas nas laterais, ou, ainda, iluminação zenital com aberturas na cobertura contribuem para reduzir sensivelmente a necessidade da iluminação artificial durante o dia.

A Tabela 5.1 apresenta os rendimentos luminosos (lumens/Watt) de diversos tipos de lâmpadas.

Tabela 5.1: rendimentos luminosos (lumens/Watt) de diversas fontes de iluminação

Tipo de Lâmpada	Rendimento Luminoso
Incandescente	10 a 15 lm/W
Halógena	15 a 25 lm/W
Mista	20 a 35 lm/W
Vapor de Mercúrio	45 a 55 lm/W
LED	35 a 70 lm/w
Fluorescente comum	55 a 70 lm/W
Fluorescente compacta	50 a 80 lm/W
Multivapores Metálicos	65 a 90 lm/W
Fluorescentes Econômicas	75 a 90 lm/W
Vapor de Sódio	80 a 140 lm/W

Fonte: adaptado de revista *Lumière Electric* - Iluminação Industrial, nº 157, 05/2011

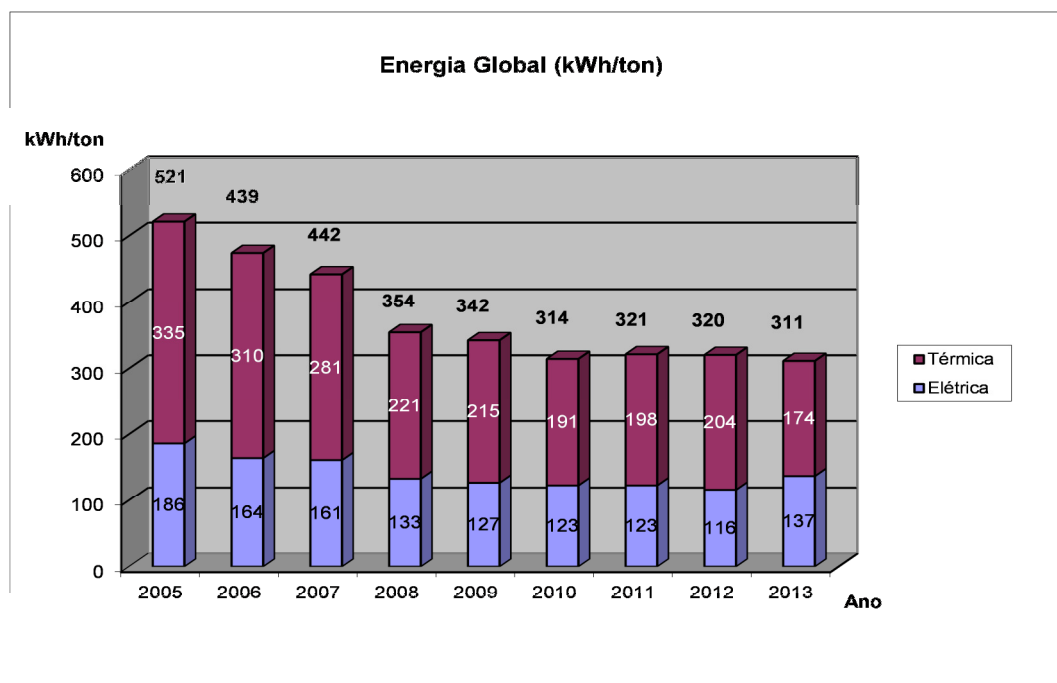
Depois das lâmpadas halógenas, dos modelos de vapor metálico, de mercúrio, de sódio ou mistas, que se apresentaram como soluções mais viáveis ao longo dos anos (e que ainda estão em uso no País), novas tecnologias surgem como alternativas mais eficazes para oferecer melhor luminosidade. Uma solução que já chega neste segmento é o diodo emissor de luz (LED – *Light Emitting Diode*), que está se tornando viável economicamente, principalmente quando aplicado em novos projetos. O LED propicia uma redução de até 80% no consumo energético, comparativamente aos demais tipos de lâmpadas, além de maior durabilidade e segurança, uma vez que não emite substâncias nocivas às pessoas ou ao meio ambiente (por isso, não exige descarte especial).

Além de se buscar oportunidades em novas tecnologias aplicadas aos diferentes tipos de lâmpadas, ou, ainda, na utilização da luz natural sempre que for possível, uma outra medida de racionalização atraente é a adoção de sensores de presença e sensores de iluminação para desligar a iluminação artificial quando esta não for efetivamente necessária.

6. GANHOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA OBTIDOS RECENTEMENTE NA FÁBRICA

6.1. Apresentação geral dos projetos já executados visando ganhos de eficiência energética

Com a implantação do sistema de gestão da energia em 2006 na fábrica da Danone em Poços de Caldas se passou a vislumbrar regularmente oportunidades e se implantar vários projetos com foco na redução do consumo de energia. A Figura 6.1 apresenta a evolução do indicador de energia global da fábrica de Poços de Caldas desde o ano de 2005.



Fonte: fábrica de Poços de Caldas da Danone

Figura 6.1: Evolução do indicador de energia

Desde 2006 foram implantados mais de 100 projetos e iniciativas buscando a redução do consumo de energia e água. A Tabela 6.1 apresenta, de uma forma resumida, a relação dos principais projetos e ações executadas, que contribuíram para a redução do consumo de energia da fábrica.

Tabela 6.1: Principais projetos visando ganhos de eficiência energética implantados na fábrica da Danone em Poços de Caldas

N.Projeto	Nome Projeto	Descrição	Local	Data Final Implant.
1	CCK 1	Instalação de sistema para gerenciamento de energia elétrica da fábrica (medição geral)	Cabine de Medição Principal	jun-06
2	Fator de potência	Mapeamento da Fábrica e Instalação de capacitores p/ correção do f.p. p/ eliminar multa por energia reativa.	Painéis Elétricos	set-06
3	Queima de Sebo	Utilização de sebo como combustível alternativo para as caldeiras	Caldeiras	mar-06
4	Condensado	Recuperação de vapor condensado p/ as caldeiras.	Fábrica	jan-07
5	Isolamento Linhas	Isolamento de 1.800 m de linhas de vapor e água gelada.	Fábrica	nov-06
6	Vazamentos ar	Mapeamento e correção dos vazamentos p/ redução do consumo de ar comprimido em 1.300 m³/h.	Fábrica	nov-06
7	Vazamentos água	Eliminação de vazamentos de água	Fábrica	nov-06
8	Controle de Combustão	Treinamento da equipe operacional sobre Controle de Combustão de Caldeiras e implantação do monitoramento e controle de combustão semanal para as caldeiras MP-813 e MP-812	Caldeiras	jan-07
9	Motor GA 7	Substituição do motor de 250 cv, superdimensionado para a aplicação por motor de 200 cv no compressor de ar GA 160 N 7	Compressores Ar	jun-07
10	Compressor VSD	Instalação de 1 compressor de ar modelo GA 160 VSD com controle de capacidade por inversor de frequência	Compressores Ar	nov-07
11	Motores Condensadores	Substituição de 21 motores standard por Alto Rendimento nos condensadores Evaporativos.	Condensadores Evaporativos	fev-07
12	Motor Ventilador	Substituição do motor standard por Alto Rendimento no ventilador da caldeira MP-813.	Caldeira MP-813	mar-07
13	Desidratador	Instalação do Desidratador na ETE	ETE	jul-07
14	Fotocélulas	Instalação de fotocélulas e sensores de presença para controle da iluminação da fábrica	Fábrica	dez-07
15	Energy Recover	Aquecer 4,5 m³/h de água nos compressores de ar e enviar para tanque de condensado das caldeiras.	Compressores Ar	dez-07
16	Purgadores	Avaliação e correção purgadores Fábrica	Fábrica	dez-07
17	Descarga superfície	Instalação de válvulas descarga de superfície nas caldeiras	Caldeiras	dez-07
18	ETA 2	Instalação de Módulo de 50m³/h para ampliação da capacidade da ETA e eliminação da compra de água do DMAE	ETA	dez-07
19	Bombas Água Industrial	Substituição das 2 bombas de água industrial e instalação de inversores de frequência, controlados por transdutores de pressão, para modulação da rotação (vazão) das bombas de acordo com a necessidade da Fábrica	ETA	dez-07
20	Embalagens	Redução de embalagens reciclagem	Reciclagem	dez-07
21	Água Selo	Água de resfriamento dos selos das bombas do processo.	Fábrica	dez-07
22	Retrolavagem	Tempo de lavagem dos filtros da ETA.	ETA	dez-07
23	Motor Bomba Vácuo	Substituição do motor antigo de 100 cv por motor Alto Rendimento de 75 cv na bomba de vácuo N 2	Bombas de Vácuo	mar-08
24	Caldeira	instalação da nova caldeira	Caldeiras	jan-09
25	Capacidade ETA 1	Aumento capacidade da ETA 1 de 80 m³/h para 95 m³/h	ETA	jul-08
26	Task Force	Task Force Célula Resfriamento	Célula	set-08
27	Task Force	Task Force Água	Fábrica	out-08
28	Torres	Substituição água gelada p/ água de torre p/ os pasteurizadores Líquidos	Fábrica	nov-08

29	Torres	Substituição da torre de resfriamento de água nº 8 por 2 torres novas de menor capacidade e melhor eficiência.	Fábrica	nov-08
30	Regenerador Amônia	Instalação equipamento para eliminar óleo e água do sistema de amônia - regenerador de amônia	Fábrica	abr-09
31	Extrator de Ar	Instalação equipamento p/ purgar ar do sistema de amônia.	Fábrica	nov-08
32	Automação Células	Automação operação células de resfriamento	Fábrica	nov-08
33	Energy Saver	Instalação equipamento gerenciador de operação dos compressores de ar	Fábrica	nov-08
34	Auto Stage	Instalação equipamento gerenciador de operação dos Chillers do sistema de água gelada	Fábrica	nov-08
35	Renovar Otimizar	Substituição de um compressor de ar por outro de melhor eficiência energética	Fábrica	nov-08
36	Químicos ETA	Substituir produtos químicos p/ melhorar a floculação na ETA e reduzir retrolavagens	Fábrica	nov-08
37	CCK 2	Ampliação do sistema CCK para monitoramento dos transformadores T-20, T-21, T-22, T-23 e T-24, e monitoramento da qualidade da energia elétrica na entrada da Fábrica	Fábrica	nov-08
38	Estação Vapor DPT	Readequação de 7 estações de vapor no mesanino sobre o DPT	Mesanino DPT	dez-08
39	Óleo Raro	Desenvolvimento de fornecedor e utilização de óleo Raro para redução de consumo, redução de custo e adequação da Fábrica às exigências ambientais	Caldeiras	abr-09
40	Automação dos Condensadores	Automação dos condensadores evaporativos e utilização de inversor de frequência para modulação da velocidade dos ventiladores.	Condensadores Evaporativos	mai-09
41	Automação Tanque Caldeiras	Eliminação de bóia mecânica e automação do sistema de nível do Tanque de alimentação de água das Caldeiras.	Caldeiras	jun-09
42	Recuperação Água Degelo	Injeção de água para aceleração do degelo das células de resfriamento e recuperação ou reutilização para as torres de resfriamento e condensadores evaporativos.	Células Resfriamento	jan-10
43	Interligação Sistemas Água Gelada	Interligação dos sistemas água gelada da Recepção de Leite e Processo Líquidos.	Casa Máquinas Compressores Frigoríficos	mar-10
44	Flexibilização Compressores	Interligação dos compressores frigoríficos de diferentes regimes (-10 °C e 0 °C) e sistemas de operação (água gelada e células de resfriamento).	Casa Máquinas Compressores Frigoríficos	nov-10
45	Waiting Time	Intervenção nos programas dos CLPs e instalação de válvulas para bloqueio do fluxo de água gelada dos pasteurizadores durante as etapas "Tempo de Espera".	Processos	jul-11
46	SE ETE Reciclagem	Construção de uma nova Subestação de Energia para alimentar os setores ETE e Reciclagem	Reciclagem	jul-11
47	Modulação Compressores	Instalação de inversores de frequência em dois compressores frigoríficos para controle e modulação de carga.	Sala Máquinas Compressores Frigoríficos	jul-11
48	Biomassa	Substituição do óleo BPF (combustível fóssil) por biomassa (combustível renovável) para geração de vapor. Instalação de infraestrutura, sistema para alimentação e estocagem de biomassa e caldeira a biomassa	Utilizadas	set-11
TOTAL				

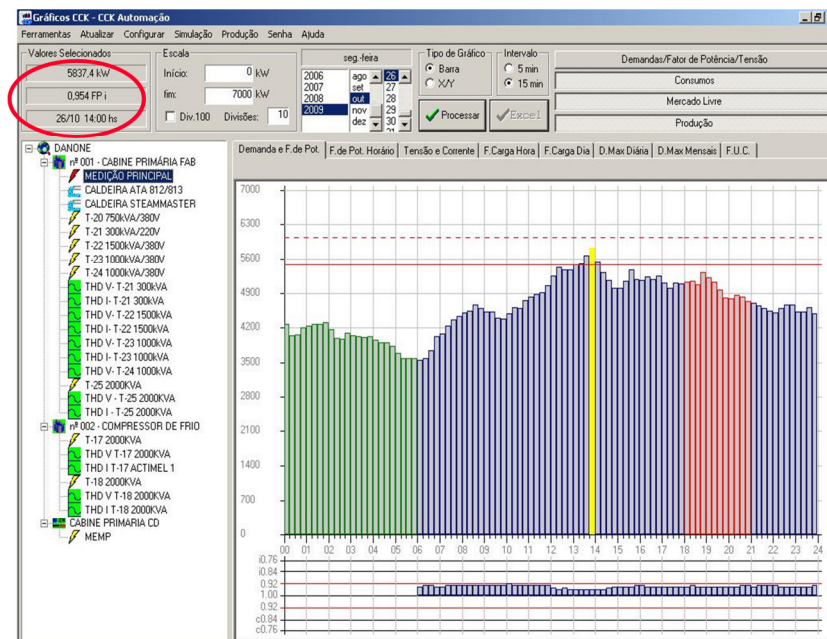
Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Dentre os projetos e ações citadas na Tabela 6.1 podem ser destacados aqueles com maior impacto na redução do consumo de energia. A seguir seguem maiores informações sobre tais projetos.

6.2. Gerenciador de energia elétrica

O projeto denominado “Gerenciador de energia elétrica” foi realizado em meados de 2006, em função de necessidade identificada no início daquele ano. Antes da execução deste projeto a fábrica de Poços de Caldas não possuía recursos para monitorar e controlar a demanda de energia elétrica contratada para os horários de ponta e fora ponta. O pagamento de multas devido à energia reativa, ou baixo fator de potência era frequente, ultrapassando R\$ 25.000,00 por mês, o que foi considerado extremamente alto para o período e inaceitável do ponto de vista técnico e econômico. Um outro fator que influenciou muito a decisão pela implantação do projeto foi a impossibilidade de previsão do valor das contas de energia elétrica antes do seu fechamento pela empresa concessionária, ou seja, não era possível prever o valor das contas com o nível de exatidão requerido pelo Departamento de Controle de Gestão da fábrica. Era necessário aguardar a entrega das contas para se conhecer os valores medidos para consumo de energia, demanda máxima atingida e energia reativa, bem como conhecer o valor faturado e a incidência, ou não, de alguma multa.

A Figura 6.2 ilustra a tela utilizada para controle de demanda do gerenciador de energia.



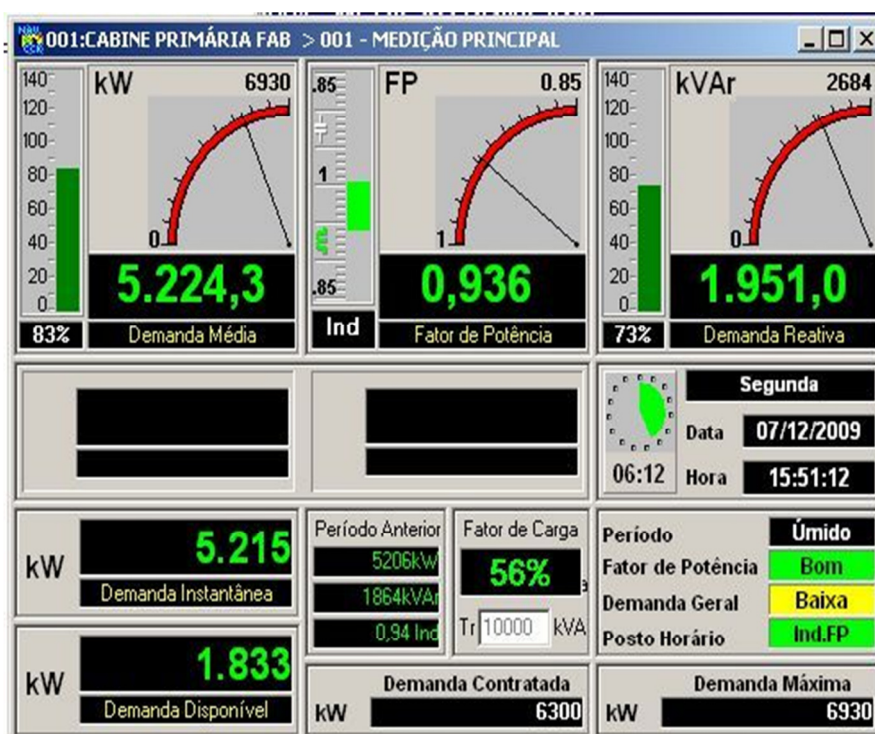
Fonte: fábrica de Poços de Caldas da Danone, fornecido por www.cck.com.br

Figura 6.2: Tela de controle de demanda do gerenciador de energia elétrica

O gerenciador de energia elétrica é um equipamento eletrônico dotado de vários componentes, tais como microprocessador, relés, display e teclado para configuração. Este equipamento possui um programa interno que realiza diversas funções integradas. Ele dispõe de duas portas de comunicação serial com o medidor da concessionária de energia elétrica, com saída serial no padrão da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os dados coletados a partir do medidor de energia da concessionária são transmitidos via fibra ótica para o gerenciador, que foi instalado estrategicamente na área de utilidades e energia da fábrica. O gerenciador, por sua vez, processa esses dados e os disponibiliza, através de um sistema supervisorio, para os responsáveis pela gestão de energia da fábrica.

A Figura 6.3 ilustra a tela do sistema supervisorio do gerenciador de energia disponibilizada para monitoramento da medição principal a partir da cabine primária da fábrica. Esta tela fornece informações importantes, tais como demanda média, demanda instantânea, demanda disponível, fator de carga e fator de potência médio.



Fonte: fábrica de Poços de Caldas da Danone, fornecido por www.cck.com.br

Figura 6.3: Gerenciador de Energia Elétrica - Tela de Medição Principal

Este projeto foi de fundamental importância para a evolução da gestão da energia na fábrica. Ele, por si só, não proporcionou reduções do consumo energético, mas foi a partir de sua execução que os responsáveis pela gestão da energia passaram a ter visibilidade, em tempo real, da situação e puderam, então, adotar medidas de gerenciamento e ações de redução no consumo e no custo da energia elétrica consumida na fábrica.

6.3. Retorno de condensado

O vapor é uma forma barata e segura de se produzir e transportar energia nas instalações industriais. Após ser utilizado para trocar calor, ou ceder energia para os processos, o vapor sofre alteração de estado físico se transformando em condensado, que pode ser recuperado para o tanque de alimentação da água da caldeira. Os processos, ou sistemas que utilizam injeção direta de vapor constituem uma exceção; nesses casos a massa de vapor é incorporada ao produto que está sendo aquecido e, por isso, não é possível recuperar o condensado.

A recuperação de condensado é uma boa prática, frequentemente utilizada na indústria. O condensado é uma água de excelente qualidade para alimentação da caldeira, por apresentar baixíssimos níveis de sais minerais como cálcio e magnésio, ou sílica, além de se encontrar em temperatura elevada, em comparação com a água na temperatura ambiente.

Apesar das várias vantagens em se recuperar condensado, até janeiro de 2007 a fábrica da Danone em Poços de Caldas não utilizava esta prática. Havia relatos de funcionários antigos da empresa que diziam terem ocorrido problemas de contaminações em tentativas de recuperação de condensado no passado. Essas contaminações possivelmente foram provenientes de problemas ocorridos em trocadores de calor de placas, utilizados em processos como pasteurizadores e aquecedores de leite ou creme, ou de alguma estação de CIP.

A água presente no interior da caldeira normalmente se encontra com um pH alto, em torno de 11 a 12. Quando ocorre uma contaminação do condensado por vazamento de leite ou creme, por exemplo, a água de alimentação da caldeira é misturada com gordura. Esta reage com a água, causando muita espuma no interior da caldeira e, conseqüentemente, oscilações bruscas do sistema de controle de nível. Essa é uma condição de altíssimo risco para a segurança física e

operacional da caldeira e de todo o sistema de vapor. Por outro lado, quando ocorre uma contaminação via CIP o condensado pode receber uma carga excessiva de produtos químicos tais como ácidos, ou soda cáustica. No caso de contaminação com ácido, o pH da caldeira poderá ser reduzido bruscamente, comprometendo a operação e causando corrosão nas partes internas da caldeira e demais equipamentos do sistema de vapor. No caso da contaminação com soda cáustica as consequências podem ser semelhantes aos casos de contato com leite, ou creme.

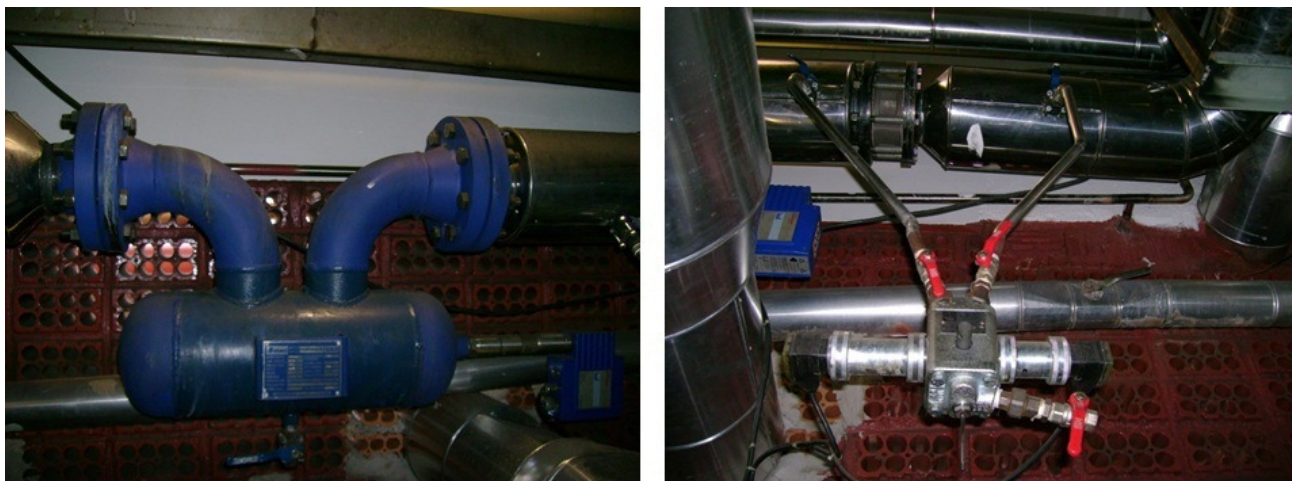
Existem também relatos de ocorrências de contaminações de condensado, e conseqüentemente de caldeiras, em outros segmentos da indústria de alimentos, como, por exemplo, em frigoríficos, onde as caldeiras foram contaminadas com sebo bovino e, em um caso mais crítico, ocorreu a perda física do equipamento.

Para viabilizar a recuperação do condensado da fábrica da Danone em Poços de Caldas foram buscadas tecnologias disponíveis no mercado e as soluções encontradas e adotadas foram a instalação de instrumentos de monitoramento da qualidade do condensado. Foram instalados um turbidímetro e um condutivímetro, ambos conectados na tubulação próxima à entrada do tanque de condensado. Além do monitoramento constante e em tempo real, estes dois equipamentos estabelecem o controle de duas válvulas instaladas, uma na entrada do tanque (normalmente aberta) e outra na linha de descarte de condensado (normalmente fechada). Estes equipamentos são periodicamente inspecionados e calibrados. Quando eles detectam alguma contaminação potencial, atuam sobre as válvulas, mudando-as de condição, ou seja, a válvula da entrada do tanque é fechada e a válvula de descarte é aberta. Durante essas ocorrências o condensado contaminado é impedido de entrar no tanque e é descartado; simultaneamente, um alarme audiovisual é acionado para que os operadores tomem conhecimento da situação anormal e procurem identificar e eliminar a causa do problema.

A Figura 6.4 apresenta, no lado esquerdo, o condutivímetro e, no lado direito, o turbidímetro, instalados na linha de retorno de condensado.

Foram instalados três sistemas para bombeamento do condensado, um em cada grande setor da fábrica: recepção do leite, processo VAF e líquidos, e processo de queijos e sobremesas. A instalação dessas bombas foi necessária devido à baixa pressão de operação de vapor utilizada por alguns equipamentos de processos, tais como pasteurizadores e aquecedores, onde a pressão média é de 3,5 kgf/cm². Nesses casos, o condensado não tem pressão suficiente para vencer as perdas de carga existentes e retornar para o tanque de alimentação de água das caldeiras. Um

sistema de bombeamento de condensado pode utilizar bombas hidráulicas acionadas por motores elétricos, mas, no caso da fábrica da Danone em Poços de Caldas, optou-se pela utilização da pressão do próprio vapor para bombear o condensado.



Fonte: fábrica da Danone em Poços de Caldas

Figura 6.4: Condutivímetro e turbidímetro

A Figura 6.5 apresenta uma das bombas de condensado instaladas na fábrica.



Fonte: fábrica de Poços de Caldas da Danone

Figura 6.5: Sistema de bombeamento de condensado

No ano de 2013 a produção média diária de vapor foi de 360 ton/dia e a taxa de retorno de condensado estava em torno de 55%. Nestas condições, a redução de consumo de água naquele ano foi de 71.280 m³.

Quando a fábrica passou a recuperar o condensado a água de alimentação das caldeiras teve um acréscimo de temperatura de 25 °C para 55 °C, em média. Essa condição proporcionou uma redução de 5% no consumo do combustível utilizado para produzir vapor nas caldeiras.

O retorno do investimento realizado para a implantação deste projeto foi de oito meses. No Capítulo 8 são apresentadas recomendações para se aumentar o potencial de ganhos, incluindo um maior retorno de condensado.

6.4. Monitoramento e eliminação de vazamentos de ar comprimido

Conforme apresentado na Figura 4.7 desta dissertação, a produção de ar comprimido é responsável por cerca de 16% do consumo de energia elétrica na fábrica da Danone em Poços de Caldas, uma participação típica em uma fábrica de laticínios.

No final de 2006 foi realizado o primeiro trabalho de monitoramento de vazamentos de ar comprimido.

Para realizar este trabalho de “caça vazamentos” foi contratada uma empresa especializada nesse ramo de atividade e foi criado um mapa abrangendo praticamente toda a instalação de ar comprimido da fábrica, considerando geração, distribuição e consumidores finais.

A empresa contratada utilizou um equipamento de ultrassonografia, que detecta ruídos de alta frequência produzidos por vazamentos, particularmente de ar comprimido, gases e vapor. O sensor é um microfone apropriado. O ruído é convertido para uma frequência audível, ou é detectado em um indicador gráfico. A Figura 6.6 ilustra o analisador de ruídos ultrassônico utilizado para identificação dos vazamentos.



Fonte: www.atlascopco.com

Figura 6.6: Analisador de ruídos ultrassônico

O resultado do primeiro monitoramento dos vazamentos revelou que mais de 17% do ar produzido estava sendo perdido em vazamentos espalhados por todas as áreas da fábrica. Vazamentos em instalações industriais de ar comprimido bem mantidos não devem superar 6% do volume total produzido.

Após o mapeamento, foi produzido um relatório informando os locais e a intensidade dos vazamentos e, a partir daí, ações corretivas passaram a ser realizadas com maior prioridade para os pontos mais críticos. A conclusão das ações de correção demorou cerca de dois meses e, após este período, um novo trabalho de identificação de vazamentos foi realizado, revelando que o nível de vazamentos havia sido reduzido para 5% do total do ar comprimido produzido na fábrica. Essa redução dos vazamentos possibilitou o desligamento de um compressor de ar acionado por um motor de 160 kW.

Após o sucesso do primeiro trabalho de monitoramento e eliminação de vazamentos de ar comprimido, a fábrica de Poços de Caldas inseriu esta atividade em seu plano de manutenção preventiva e, desde 2007, este trabalho é realizado a cada quatro meses, ou seja, três vezes ao ano.

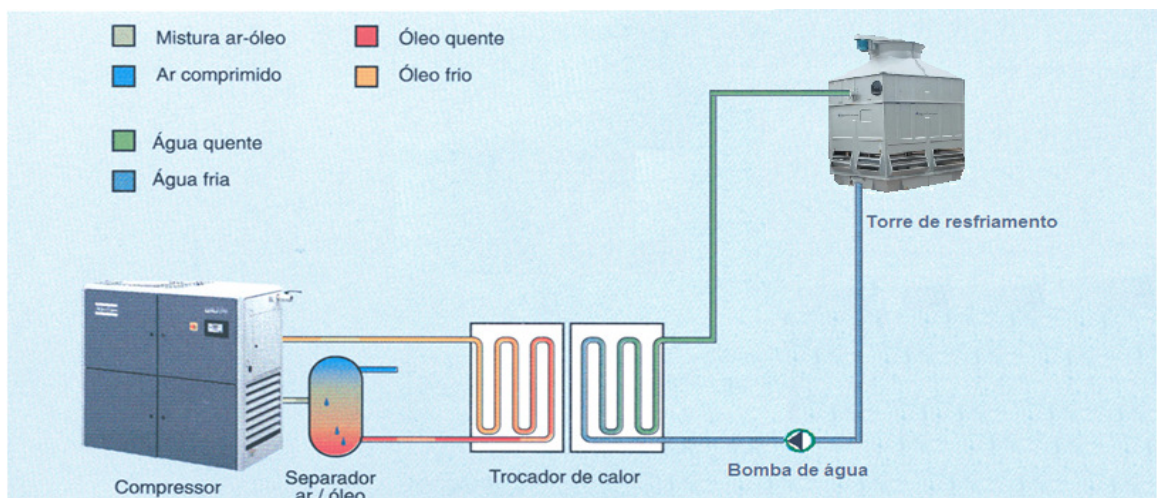
Com a evolução e amadurecimento desta prática, foi possível perceber a existência de várias recorrências e a necessidade de se buscar ações de melhorias para se evitar o aumento dos vazamentos para os níveis identificados no passado. Algumas ações adotadas foram a substituição dos materiais utilizados nas instalações, tais como mangueiras e conexões, e uma maior utilização de tubulações em aço inoxidável, reduzindo a utilização de materiais fabricados em plástico, que sofrem deterioração precoce em função das condições industriais.

6.5. Recuperação de energia dos compressores de ar

O projeto intitulado “Recuperação de energia dos compressores de ar” foi realizado em 2007 e contemplou a recuperação de calor de compressores de ar, através da água de resfriamento destes equipamentos. A tecnologia empregada foi fornecida pela Atlas Copco, fabricante dos equipamentos de ar comprimido utilizados na fábrica da Danone em Poços de Caldas, que são resfriados a água.

No passado esses compressores utilizavam torres de resfriamento para resfriar a água que, por sua vez, resfriava o óleo dos compressores, conforme ilustrado na Figura 6.7.

Neste projeto foi aplicada a técnica de integração de processos, utilizando o método *Pinch Point*. A técnica consiste em recuperar a energia rejeitada em um sistema ou processo e utilizá-la em outro. No caso dos compressores de ar foram eliminadas as torres de resfriamento de água, condição que proporcionou uma redução no consumo de energia elétrica, e foram instalados trocadores de calor.

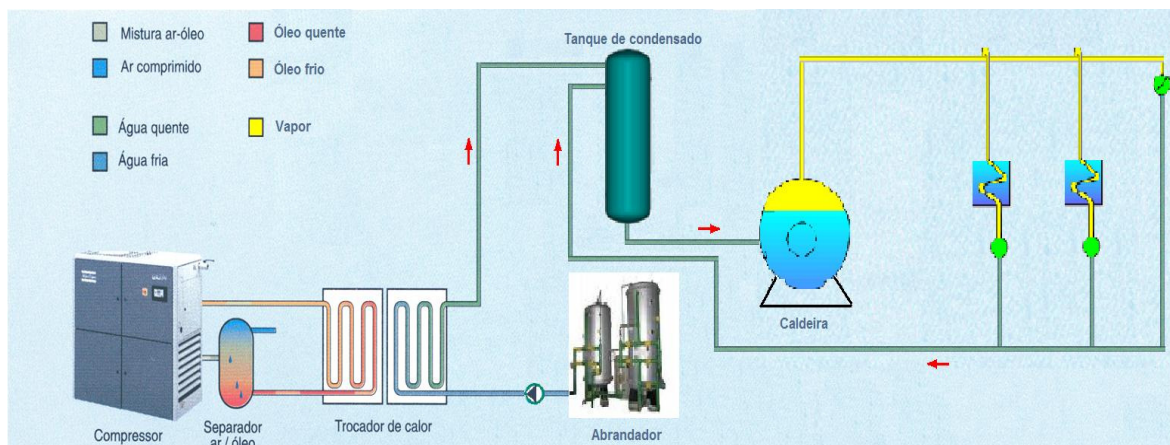


Fonte: www.atlascopco.com

Figura 6.7: Utilização de torre para resfriamento da água de compressor de ar

No antigo circuito de água das torres de resfriamento foi inserida água abrandada e sob temperatura ambiente, que, nesse caso, passou a ser pré-aquecida, através do calor rejeitado pelo

óleo dos compressores, e enviada para o tanque de condensado para alimentação das caldeiras. A Figura 6-8 ilustra o circuito de recuperação de calor dos compressores de ar.

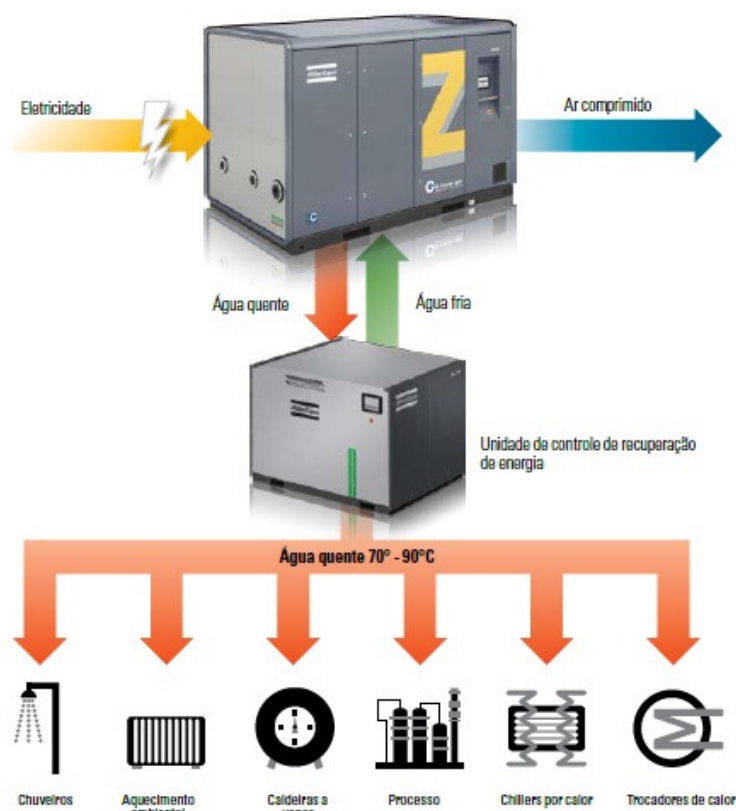


Fonte: www.atlascopco.com

Figura 6.8: Recuperação de calor dos compressores de ar

Este projeto possibilitou a utilização de 100% da água de resfriamento dos compressores de ar. No passado, parte dessa água era perdida por conta da taxa de evaporação das torres de resfriamento. O pré-aquecimento da água com o calor dos compressores proporcionou uma elevação na temperatura da água de alimentação das caldeiras de 55°C para 90°C. Este caso comprovou a regra empírica de que, a cada 6 °C de aumento na temperatura da água de alimentação das caldeiras, ocorre 1% de redução no consumo de combustível. Foi comprovada uma redução de aproximadamente 6% no consumo de combustível nas caldeiras.

No ano de 2013 a Danone investiu em uma nova central para geração de ar comprimido, com a utilização de equipamentos mais modernos e eficientes para atender o crescente aumento de produção da fábrica de Poços de Caldas. Como o projeto de recuperação de energia dos compressores de ar já instalados na fábrica foi um sucesso e proporcionou vários ganhos energéticos e financeiros, ele foi novamente aplicado na nova central de ar comprimido. O fabricante Atlas Copco desenvolveu diversas melhorias nessa nova versão, tornando o equipamento mais seguro e com um sistema de controle mais eficiente. A Figura 6-9 ilustra o novo sistema de recuperação de energia da nova central de ar comprimido e as possíveis aplicações da energia recuperada.



Fonte: www.atlascopco.com

Figura 6.9: Aplicações da energia recuperada na nova central de ar comprimido

6.6. Automação das bombas de água industrial

A água tratada, também denominada água industrial, é armazenada em reservatórios subterrâneos na fábrica de Poços de Caldas, sendo bombeada para os diversos pontos de consumo. O bombeamento da água industrial é realizado com o auxílio de duas bombas centrífugas, sendo uma reserva da outra. A capacidade de cada uma dessas bombas é de 300 m³/h, propiciam uma pressão média de 2,0 kgf/cm² e a potência dos seus respectivos motores é de 75 CV. A Figura 6.10 ilustra tais bombas.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.10: Bombas de água industrial

Desde que foram instaladas, as bombas de água industrial operavam com os seus motores em rotações fixas, por conta da frequência nominal da rede elétrica que é constante, de 60 Hz. Por outro lado, a vazão ou consumo de água da fábrica é muito variável, em alguns momentos chegando a atingir os limites extremos de 30 m³/h a 300 m³/h. Como consequência, ocorriam vários problemas de naturezas opostas como, nos momentos de vazão muito baixa a pressão do sistema aumentava muito, atingindo níveis de até 5,0 kgf/cm², o que causava aumento de perdas por vazamentos e danos físicos a equipamentos como bombas, torneiras e válvulas, além do consumo desnecessário de energia elétrica. Quando ocorria um aumento excessivo da vazão, a pressão do sistema atingia níveis muito baixos, chegando a 0,5 kgf/cm², situação em que era comum ocorrer falta de água em diversos pontos menos favorecidos da fábrica.

Em dezembro de 2007 as duas bombas centrífugas antigas foram substituídas por novas, de mesma capacidade de vazão e pressão, mas de modelos e rendimentos melhorados para este tipo da aplicação. Na mesma ocasião foi instalado um sistema de controle de pressão automatizado e também inversores de frequência para acionamento dessas bombas.

Dois transdutores de pressão, sendo um para cada bomba, foram conectados diretamente na linha principal de distribuição de água, logo após as bombas, e tem a função de monitorar em tempo real as variações de pressão. Quando a vazão de água tende a aumentar, a pressão tende a diminuir e o inversor de frequência, através de informação enviada pelo transdutor de pressão, aumenta a rotação da bomba, buscando estabilizar o nível de pressão pré-estabelecido na malha de controle.

Com a automação do sistema de controle as bombas passaram a operar de forma mais eficiente.

Os ganhos obtidos com este projeto foram um menor consumo energético, aumento da confiabilidade do sistema de bombeamento de água, redução das quebras de equipamentos e do custo de manutenção e redução das perdas de água por vazamentos.

A Figura 6.11 apresenta os instrumentos de medição instalados para monitoramento da pressão da linha de distribuição de água industrial.



Fonte: Fábrica da Danone em Poços de Caldas

Figura 6.11: Instrumentos de medição do sistema de bombeamento de água

6.7.Regenerador de amônia

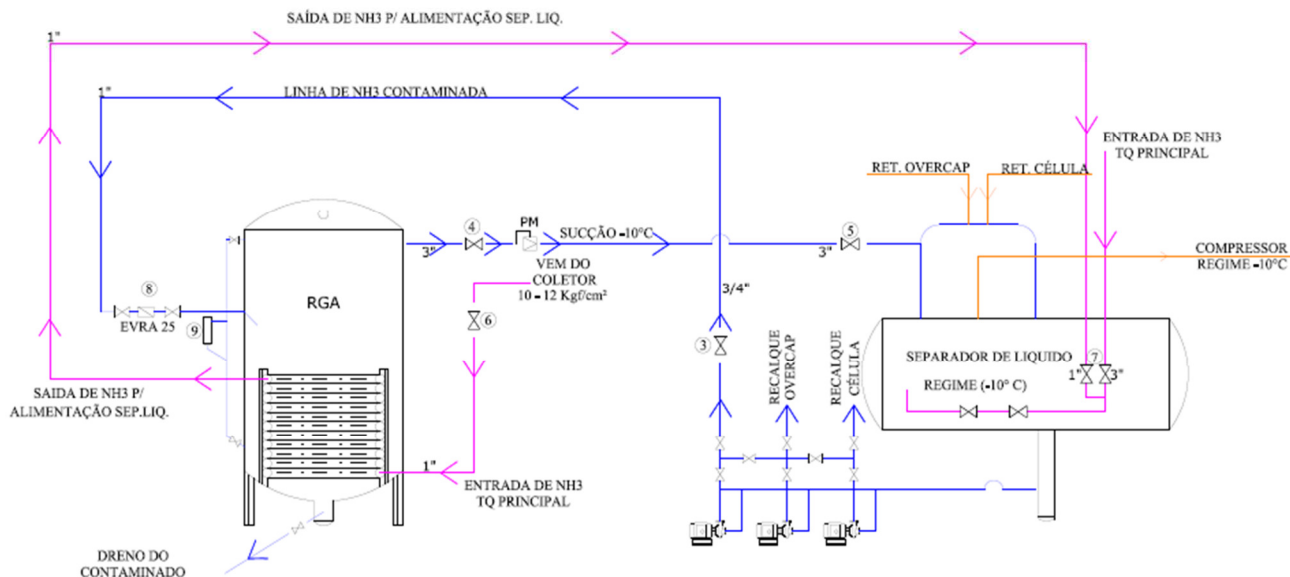
O regenerador ou purificador de amônia, nome dado ao equipamento utilizado para eliminar água e óleo de instalação frigorífica industrial, foi instalado em abril de 2009.

Algumas empresas especializadas em refrigeração fizeram várias análises em plantas industriais que operam com refrigerante R717 (amônia) e os resultados dessas análises mostram que o conteúdo típico de água nas instalações é de, aproximadamente, 3% a 8% e, nos piores

casos, de até 20%. Na fábrica da Danone em Poços de Caldas foi feita uma análise no início de 2009 e o resultado foi que a instalação estava com 16% de contaminação com água e resíduos de óleo.

A água que entra no sistema de refrigeração provoca corrosão, aumento da pressão de condensação, baixos coeficientes de transferência de calor e decomposição do óleo lubrificante. Umidade, impurezas e resíduos oleosos são inevitáveis em grandes plantas de refrigeração que utilizam amônia. Isso causa diversos problemas no sistema em geral e, principalmente, nos compressores.

A Figura 6-12 apresenta o circuito esquemático de funcionamento de um regenerador de amônia.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.12: Circuito esquemático de um regenerador de amônia

Amônia em alta pressão (10 a 12 kgf/cm²) e alta temperatura (60 °C a 80 °C) é utilizada para aquecer a serpentina instalada no interior do vaso regenerador (RGA) e em seguida retorna para o separador de líquido. Uma bomba, especial para aplicação com este tipo de fluido, recalca amônia do separador de líquido para o regenerador. A bomba é conectada à parte inferior do separador de líquido, onde normalmente a amônia apresenta o maior nível de contaminação.

Quando a amônia contaminada entra em contato com a serpentina aquecida ela evapora, enquanto a água e o óleo presentes permanecem no interior do tanque. Conectado ao ponto mais

baixo do vaso regenerador está o tubo de drenagem, que é mantido fechado através de uma válvula de bloqueio; é por esta via que a água e óleo são periodicamente drenados para um recipiente externo, apropriado para este tipo de aplicação.

A amônia que evaporou no interior do vaso é aspirada pelo compressor a uma temperatura de -10°C e retorna purificada para o sistema frigorífico.

Os ganhos obtidos com a implantação deste projeto foram:

- Fluxo de amônia mais limpo nas instalações frigoríficas;
- Redução de desgastes nos compressores e válvulas;
- Aumento da vida útil dos compressores e do óleo lubrificante;
- Redução no custo de manutenção;
- Otimização da capacidade de refrigeração;
- Todo o óleo retirado da linha é encaminhado para reciclagem, onde passa por um tratamento adequado, que satisfaz a legislação ambiental; e
- Redução de 16% no consumo de energia elétrica do sistema de refrigeração, que corresponde a 120.000 kWh/mês.

O tempo de retorno do investimento requerido por este projeto foi de dez meses.

6.8. Extrator de ar do sistema de refrigeração

A purga de gases não condensáveis é uma boa maneira de se reduzir a temperatura de condensação e, conseqüentemente, o consumo de energia nos sistemas de refrigeração. Todas as vezes que óleo é trocado ou adicionado ao sistema de refrigeração existe a possibilidade de entrada de ar. Como o ar é um gás não condensável, a pressão e a temperatura de condensação vão aumentar, reduzindo a capacidade do compressor e aumentando o consumo de energia (Venturini e Pirani, 2005).

Por conta deste fato, decidiu-se, em novembro de 2008, realizar a instalação de um equipamento para extração de ar do sistema de refrigeração da fábrica da Danone em Poços de

- Aumento da eficiência dos condensadores evaporativos e redução da pressão de descarga dos compressores e do custo de manutenção dos mesmos; e
- Redução do consumo de energia elétrica, antes desperdiçada na instalação frigorífica que operava com alta pressão de descarga por conter muito ar no sistema.

Na fase de desenvolvimento do projeto o fabricante do equipamento informou que o rendimento de uma instalação cai 9% para cada 1 kgf/cm² de aumento de pressão na descarga dos compressores. Essa informação foi comprovada após a implementação do projeto, que proporcionou retorno do investimento realizado em aproximadamente doze meses.

6.9. Reengenharia das células de resfriamento

Um produto lácteo fresco requer muitos cuidados especiais, entre eles a refrigeração, conforme descrito na seção 3.6.5.8. Na fábrica da Danone em Poços de Caldas os produtos são envasados, ou embalados sob três diferentes faixas de temperatura, 12 °C, 21 °C ou 70 °C, dependendo do tipo de produto. Os produtos devem ser rapidamente resfriados para uma faixa de temperatura entre 2 °C e 6 °C, após serem embalados e antes de serem enviados para a câmara de estocagem de produtos acabados. Esta condição de temperatura é atingida através de células de resfriamento rápido.

As células de resfriamento rápido estão instaladas dentro de uma grande câmara frigorífica dividida em três partes. Estas partes são denominadas células de resfriamento nº 1, nº 2 e nº 3. Cada célula é composta por um conjunto de aproximadamente trinta recipientes (*boxes*), que tem a finalidade de promover o resfriamento de um palete de produto por vez.

Com uma concepção tecnológica criada na década de 1980, as células de resfriamento se tornaram superadas e obsoletas, passando a não atender mais o crescimento acelerado do volume de produção da fábrica, ocorrido a partir de 2005.

No ano de 2009 a falta de capacidade destes equipamentos chegou ao limite. A empresa decidiu, então, realizar uma reengenharia para aumentar a capacidade do sistema e torna-lo mais eficiente do ponto de vista operacional e energético.

A situação inicial que motivou a necessidade de realização das melhorias era a seguinte:

- A capacidade das células de resfriamento não atendia ao aumento de produção da fábrica;
- Havia um alto consumo de energia elétrica, devido à baixa eficiência do sistema, ocasionada por isolamento térmico danificado e até inexistente em algumas partes, e distribuição de amônia insuficiente para atender a demanda necessária;
- Necessidade de paradas diárias para degelo, por um tempo médio de 2 horas por célula;
- Durante as paradas para degelo a temperatura interna das células chegava a 20°C, prejudicando a cadeia de frio e a qualidade dos produtos;
- O degelo era realizado de forma natural, interrompendo-se o fluxo de amônia nos evaporadores e mantendo os ventiladores ligados;
- O sistema supervisorio para gerenciamento operacional era muito limitado e estava instalado em local distante das células, compartilhado com o processo de produção de sobremesas; e
- O plano de gestão operacional era deficiente e não atendia às necessidades da fábrica.

Foi criado um grupo de profissionais, de diferentes áreas da empresa, para identificar as ações necessárias para resolver os problemas citados acima. As primeiras ações de melhoria identificadas e realizadas foram referentes às seguintes adequações nas instalações frigoríficas:

- Instalação de válvulas reguladoras do fluxo de amônia;
- Reestruturação dos ramais de alimentação de amônia para os evaporadores;
- Substituição de válvulas de bloqueio e instalação de filtros nas linhas de amônia;
- Redução de perdas de carga nas tubulações, através de um novo *layout* das linhas; e
- Novos ramais para melhor distribuição do fluxo de amônia nos evaporadores.

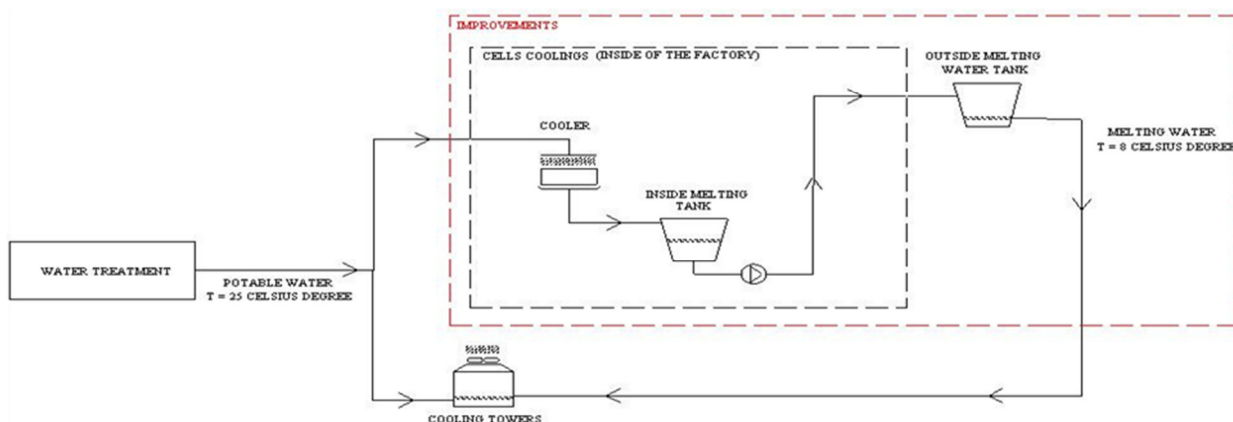
Além das melhorias realizadas nas instalações frigoríficas, foram também executadas as seguintes ações estruturais nas células de resfriamento:

- Substituição de 180 m² de isolamento térmico danificado nas paredes internas das células de resfriamento; e
- Instalação de isolamento térmico nas paredes e teto da antecâmara. O teto foi rebaixado para 2,50 m de altura para reduzir a perda de frio.

Uma outra grande melhoria realizada foi a alteração do sistema de degelo, que passou a ser realizado com injeção de água. Essa alteração possibilitou a realização dos degelos individualizados por evaporador, não havendo mais a necessidade de se parar por completo uma célula de resfriamento. Cada evaporador recebeu uma válvula de bloqueio para amônia e um

sistema de injeção de água, também controlado por uma válvula. Quando é necessário efetuar o degelo em um determinado evaporador a sua válvula de amônia é fechada, os seus ventiladores são desligados e a válvula de injeção de água é aberta. Nesse momento os demais evaporadores continuam operando normalmente, sem causar prejuízos para a temperatura no interior das células de resfriamento.

A água utilizada para efetuar e acelerar o degelo dos evaporadores é recuperada em um tanque, instalado na antecâmara das células de resfriamento. Em seguida essa água é bombeada para um segundo tanque, instalado na parte superior da fábrica, e é enviada para consumo nas torres de resfriamento e condensadores evaporativos. A Figura 6.14 apresenta o fluxograma de recuperação de água de degelo das células de resfriamento.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.14: Fluxograma de recuperação de água de degelo das células de resfriamento

Por fim, foi desenvolvido um sistema supervisório para controle exclusivo das células de resfriamento. Este supervisório foi instalado em um microcomputador estrategicamente posicionado ao lado das células de resfriamento, para facilitar a sua operação e gerenciamento. Toda a operação das células passou a ser controlada automaticamente pelo sistema supervisório, compreendendo o controle do degelo, o tempo de permanência dos paletes nos *boxes*, o controle da temperatura, o controle da utilização das células, em função da capacidade e eficiência, a indicação de falhas de motores e a geração de relatórios. A Figura 6.15 apresenta as telas do sistema supervisório das células de resfriamento.

Os trabalhos de reengenharia das células de resfriamento trouxeram vários ganhos, podendo ser destacados os seguintes:

- Aumento da capacidade de resfriamento para suportar o crescimento da fábrica em até 40%;
- Melhora no fluxo de produção evitando o acúmulo de paletes no final das linhas de envase, devido ao gargalo que antes ocorria com frequência nas células de resfriamento;
- Melhora na qualidade dos produtos, em função da adequação da cadeia de frio, conforme recomendações do Grupo Danone; e
- Redução no consumo de energia elétrica da fábrica em torno de 3%.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.15: Telas do sistema supervisório das células de resfriamento

6.10. Energy Saver

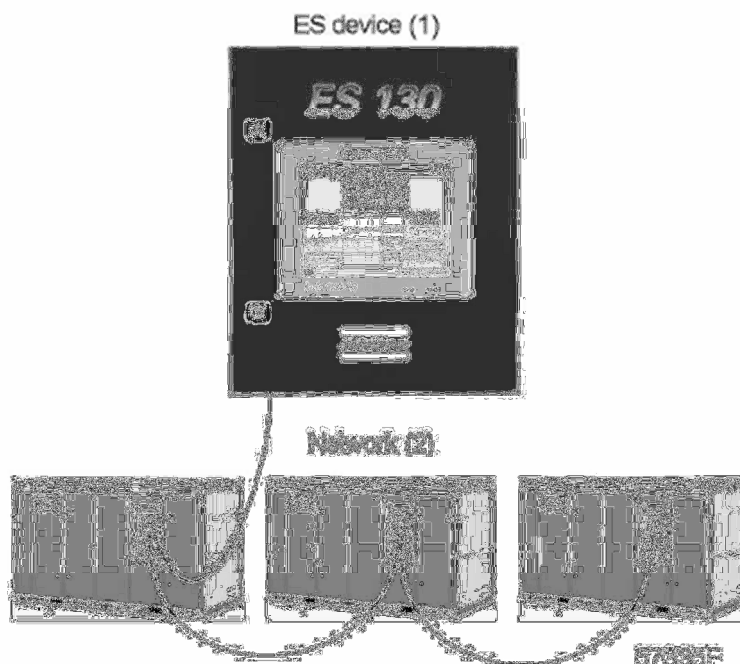
O *Energy Saver* é um equipamento desenvolvido pela Atlas Copco para gerenciar uma rede composta por vários compressores de ar.

A fábrica da Danone em Poços de Caldas possuía em 2008, ano que foi realizado este projeto, seis compressores de diferentes modelos e capacidades de produção de ar, porém todos fabricados pela Atlas Copco. Havia um consumo excessivo de energia, devido à utilização desnecessária dos compressores de ar em alguns momentos. Como as máquinas eram de

diferentes capacidades de produção de ar, muitas vezes as que estavam operando não eram necessariamente as mais adequadas para o consumo que estava sendo requerido.

Outro problema que ocorria com frequência era a falta de ar comprimido, devido ao elevado tempo de resposta apresentado pelos compressores. Essa situação causava perdas de produtividade e reduzia a eficiência operacional da fábrica.

A Figura 6-16 ilustra o *Energy Saver* e a conexão em rede dos compressores de ar.



Fonte: www.atlascopco.com

Figura 6.16: O Energy Saver

Este equipamento funciona como um Controlador Lógico Programável (CLP) dedicado. Os controladores individuais de cada compressor de ar são interligados entre si e conectados à placa eletrônica do *Energy Saver* (ES) através de uma rede formada por uma fibra ótica. Após receber as conexões, o ES foi alimentado com as informações de capacidade dos compressores da rede. Cada equipamento foi definido e identificado pelo ES que, quando está em modo automático, passa a controlar todos os compressores como um sistema. O equipamento monitora a pressão da linha de alimentação geral de ar comprimido, e insere ou retira de operação cada compressor em função de sua capacidade, de modo a suprir a necessidade de consumo instantâneo de ar da fábrica.

A instalação do *Energy Saver* proporcionou os seguintes ganhos para a fábrica:

- Redução do consumo de energia elétrica na geração de ar comprimido, devido à otimização da utilização dos compressores;
- Redução do custo da energia elétrica na geração do ar comprimido;
- Redução do custo de manutenção e do consumo de óleo dos compressores, devido ao aumento da vida útil por redução da utilização; e
- Aumento da eficiência operacional da fábrica, por se poder atender com maior rapidez as oscilações de consumo de ar comprimido.

6.11. Automação dos condensadores evaporativos

Conforme mencionado anteriormente neste capítulo, o fluido refrigerante utilizado no sistema de refrigeração da fábrica da Danone em Poços de Caldas é a amônia (NH_3). O sistema opera segundo o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, ou seja, as fases do ciclo são compressão, condensação, expansão e evaporação. Para promover a condensação da amônia comprimida sob alta pressão e alta temperatura são utilizados condensadores evaporativos.

Até o ano de 2009, quando foi implantado um projeto envolvendo a automação dos condensadores evaporativos, esses equipamentos funcionavam no modo “liga/desliga”, controlados via pressostato, que ligava ou desligava os motores dos ventiladores de ar dos condensadores em função da pressão de descarga dos compressores frigoríficos. Devido à carga térmica requerida pela fábrica ser variável, ao buscar o *set point* de pressão de descarga o sistema de controle acionava e parava os condensadores evaporativos com grande frequência, desperdiçando energia. Ocorria, também, um desgaste prematuro dos motores e um alto consumo de energia elétrica nos compressores, em função da grande oscilação da pressão de descarga, que, durante boa parte do tempo, permanecia alta.

Este projeto contemplou a instalação de um CLP para controle da pressão de descarga dos compressores e instalação de um inversor de frequência para controle da velocidade dos ventiladores do condensador evaporativo N° 1. Este último, equipado com o inversor de

frequência, foi definido com prioritário, enquanto que os demais são mantidos como secundários. Quando é iniciada a operação do sistema de refrigeração, os ventiladores do condensador N° 1 partem em rotação mínima e são acelerados conforme aumenta a pressão de descarga dos compressores frigoríficos. Quando os ventiladores do condensador N° 1 atingem rotação máxima e a pressão de descarga continua aumentando, o CLP determina a partida dos ventiladores do condensador N° 2, ao mesmo tempo em que leva novamente os ventiladores do condensador N° 1 para a rotação mínima. Caso a pressão de descarga continue aumentando, os ventiladores do condensador N° 1 são modulados até atingir a velocidade máxima, e, então, é determinada a partida do condensador N° 3 e assim sucessivamente até o condensador N° 5, se houver necessidade. A malha de controle do CLP executa essa rotina, modulando a rotação dos ventiladores do condensador N° 1 e ligando/desligando em cascata os ventiladores dos condensadores N° 2 a N° 5 de modo a manter a pressão de descarga estável, conforme o valor definido no *set point*.

A Figura 6.17 ilustra o inversor de frequência instalado no painel elétrico do condensador evaporativo N° 1.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.17: Painel elétrico com inversor de frequência

Este projeto proporcionou vários benefícios para a fábrica, tais como melhora na eficiência de troca de calor dos condensadores evaporativos, redução das quebras dos motores elétricos e redução do custo de manutenção. O maior objetivo do projeto foi atingido através de uma redução de 25.000 kWh/mês no consumo de energia elétrica da fábrica.

6.12. Caldeira a biomassa

Com o objetivo de acelerar o processo de redução das emissões de CO₂ em suas unidades de negócio e garantir o cumprimento da meta assumida em 2007, o Grupo Danone lançou, no ano de 2010, o *Green CAPEX*. Trata-se de uma modalidade de investimento que permite a implantação de projetos ligados à sustentabilidade e que proporcionem um alto nível de redução de emissões de Carbono, com retorno do investimento em até 60 meses. Até então, projetos envolvendo ganhos de produtividade precisavam garantir retornos do investimento em 18, 24, ou até 36 meses, dependendo do tipo de projeto, para serem aprovados pela diretoria da empresa.

A criação do *Green CAPEX* possibilitou o desenvolvimento e implantação do “Projeto Biomassa” pela fábrica da Danone em Poços de Caldas. Esse projeto não seria aprovado pelas regras anteriormente utilizadas pelo Grupo Danone para períodos de retorno dos investimentos. A Figura 6-18 mostra a caldeira de biomassa em questão.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.18: Caldeira de biomassa da fábrica da Danone em Poços de Caldas

Este projeto foi realizado no ano de 2011. O seu orçamento, de 2,6 milhões de Euros, foi o maior contemplado no programa *Green CAPEX* naquele ano. Por outro lado, este projeto proporcionou a maior redução de emissões da companhia, com 18.000 ton CO₂/ano, o que representou uma redução de 65% das emissões da fábrica de Poços de Caldas, que passou então a ser a fábrica com menor índice de emissões entre as 48 fábricas de PLF da Danone em nível global.

O projeto contemplou, basicamente, a substituição de um combustível fóssil, o óleo BPF, por biomassa na forma de cavaco de madeira de reflorestamento e resíduos industriais, para geração de vapor para os processos de fabricação dos produtos lácteos.

6.13. Recuperação de calor de processos e da amônia

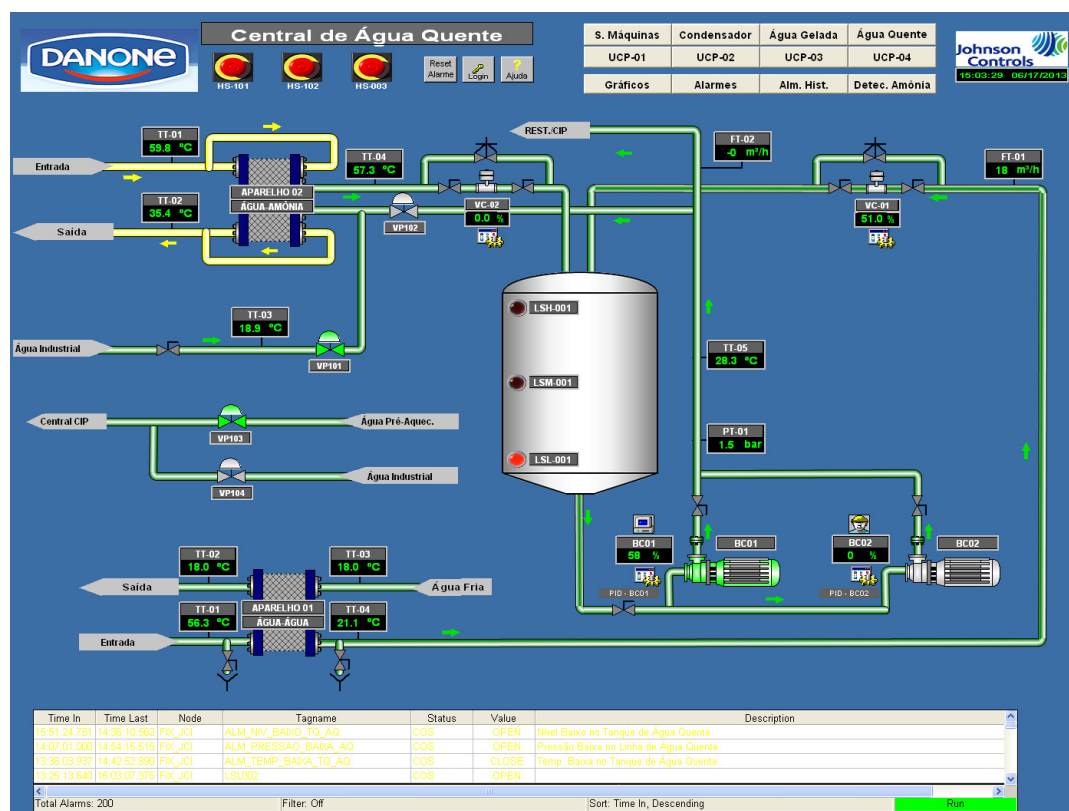
O projeto denominado “Recuperação de calor de processos e da amônia” foi realizado em 2013. Ele envolveu a aplicação da técnica de integração de processos via método *Pinch Point*. O projeto pode ser dividido em três fases: recuperação do calor rejeitado pelos processos de iogurtes, recuperação do calor contido na linha de descarga de amônia dos compressores frigoríficos e instalação da central da água quente para alimentação da fábrica.

Os processos de pasteurização de iogurte recebem água gelada a uma temperatura de 4 °C. Após ser utilizada para resfriamento dos produtos, a água retornava para a central de refrigeração sob uma temperatura média de 55 °C, chegando, em alguns momentos, a atingir até 70 °C. A linha de retorno de água desse setor foi separada dos demais processos e foi instalado um trocador de calor, antes do tanque de água gelada. No outro lado do circuito, o trocador de calor é alimentado por água industrial a uma temperatura ambiente média em torno de 25 °C. Dessa forma, a água de processo é resfriada até uma temperatura próxima da ambiente antes de retornar para o tanque de água gelada, reduzindo a carga térmica no sistema de refrigeração. Por outro lado, a água industrial é aquecida até cerca de 50 °C e é enviada para a central de água quente.

A segunda fase do projeto consistiu na instalação de um trocador de calor, denominado dessuperaquecedor de amônia, em série com a linha de descarga de amônia dos compressores frigoríficos, que está sob alta pressão, 12,00 kgf/cm², e alta temperatura, 75 °C. No outro lado do

circuito do trocador de calor foi inserida água na temperatura ambiente. O dessuperaquecedor provoca o resfriamento da amônia para uma temperatura em torno de 42 °C, propiciando uma redução do consumo de energia elétrica nos motores dos condensadores evaporativos. No outro circuito do trocador de calor a água é aquecida a uma temperatura média de 60 °C e enviada para o tanque da central de água quente.

A instalação da central de água quente da fábrica constituiu a terceira fase do projeto. Este sistema é dotado de um tanque de 15.000 litros com isolamento térmico, instrumentos para monitoramento e controle de nível, pressão, temperatura e vazão de água, e bombas hidráulicas controladas por inversores de frequência. Os trocadores instalados para recuperação de calor dos processos e da amônia enviam a água aquecida para o tanque da central de água quente, que abastece várias áreas da fábrica através de uma rede hidráulica construída exclusivamente para esta finalidade. A Figura 6.19 ilustra a tela do painel supervisor do sistema de recuperação de calor de processos e da amônia instalado na fábrica da Danone em Poços de Caldas.



Fonte: Fábrica Poços de Caldas da Danone

Figura 6.19: Sistema supervisor da recuperação de calor de processos e da amônia

Atualmente a central de água quente abastece o restaurante, parte do CIP, os vestiários e alguns equipamentos de processo do setor de recepção de leite. A central foi projetada para abastecer outras áreas no futuro, tais como barreiras sanitárias, linhas de envase de produtos e outros processos.

Este projeto foi realizado graças aos conhecimentos adquiridos durante o curso de mestrado em planejamento de sistemas energéticos na Unicamp e está promovendo uma redução de 2.100 MWh/ano no consumo de energia elétrica e uma economia de 6.600 ton vapor/ano na caldeira de biomassa da fábrica.

Outras oportunidades de recuperação de calor integradas a este projeto são apresentadas no Capítulo 8.

7. O ATUAL SISTEMA DE GESTÃO DA ENERGIA DA FÁBRICA

7.1. A origem do sistema de gestão da energia na fábrica da Danone em Poços de Caldas

O Grupo Danone, em nível global, vem, a cada ano, aumentando a implantação de medidas e ações focadas na redução da utilização de recursos naturais, de impactos ambientais e de emissões de gases de efeito estufa. Em 2001, o Grupo passou a adotar ferramentas de avaliação comuns para todas as unidades da Danone no mundo, capacitando times em todos os países para incluírem o desenvolvimento sustentável em suas estratégias empresariais.

Nesse contexto, em 2004 a companhia definiu metas de consumo de água, demanda química de oxigênio nas estações de tratamento de efluentes, emissões de CO₂ e consumo de energia para todas as suas fábricas e unidades de negócio, com revisões anuais.

Em 2007 o Grupo Danone estabeleceu a ambiciosa meta de reduzir em 30% suas emissões de carbono no período de apenas quatro anos (2008-2012).

A Danone também tem investido muitos recursos no aumento da produtividade e na redução dos custos operacionais. Esses esforços estão diretamente ligados a uma política de crescimento sustentável e visam garantir a lucratividade da empresa e minimizar a necessidade de aumentar o preço de seus produtos por conta da inflação.

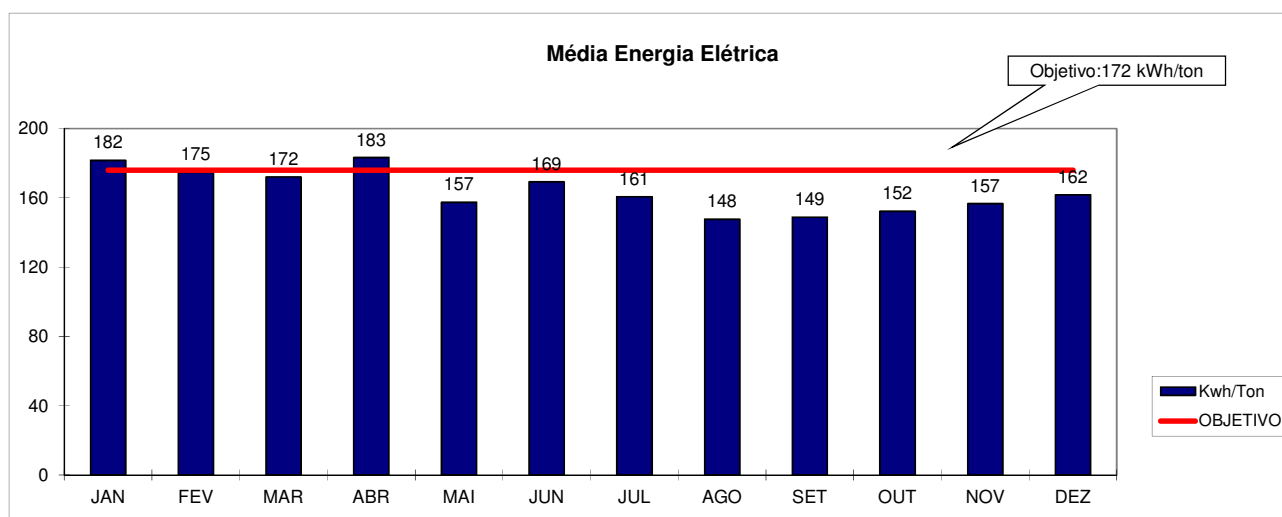
Buscando se adequar à política global da Companhia, a fábrica de Poços de Caldas da Danone iniciou o monitoramento do consumo de água e energia no ano de 2005. Oficialmente, a gestão da energia na fábrica começou em 2006 e tem evoluído desde então.

As seguintes atividades de monitoramento passaram a ser realizadas pela equipe de gestão da energia da fábrica:

- **Monitoramento do volume de produção da fábrica:** informações sobre os volumes de produtos acabados, em toneladas, entregues ao centro de distribuição da fábrica eram inicialmente obtidos junto à equipe de planejamento e controle de produção. O responsável por alimentar o sistema de gestão da energia recebia diariamente a informação através de um

correio eletrônico, ou via ligação telefônica, e a inseria manualmente na planilha eletrônica. Essas informações são essenciais para se calcular os consumos energéticos específicos da instalação.

- **Monitoramento do consumo de energia elétrica:** as informações sobre o consumo de energia elétrica eram coletadas manualmente e inseridas em uma planilha eletrônica do *software* Excel. Todos os dias, por volta das 00:00 horas, um funcionário efetuava a leitura do medidor de energia referente às últimas 24 horas e anotava os valores de consumo (kWh) e fator de potência (f.p.) em uma planilha impressa e, no dia seguinte, essas informações eram transferidas para a planilha eletrônica pelo responsável do sistema de gestão. No final do mês esses dados eram conferidos e ajustados com a conta oficial, enviada pela concessionária de energia elétrica. A Figura 7.1 apresenta o consumo específico médio mensal de energia elétrica da fábrica da Danone em Poços de Caldas ao longo dos meses de 2006.

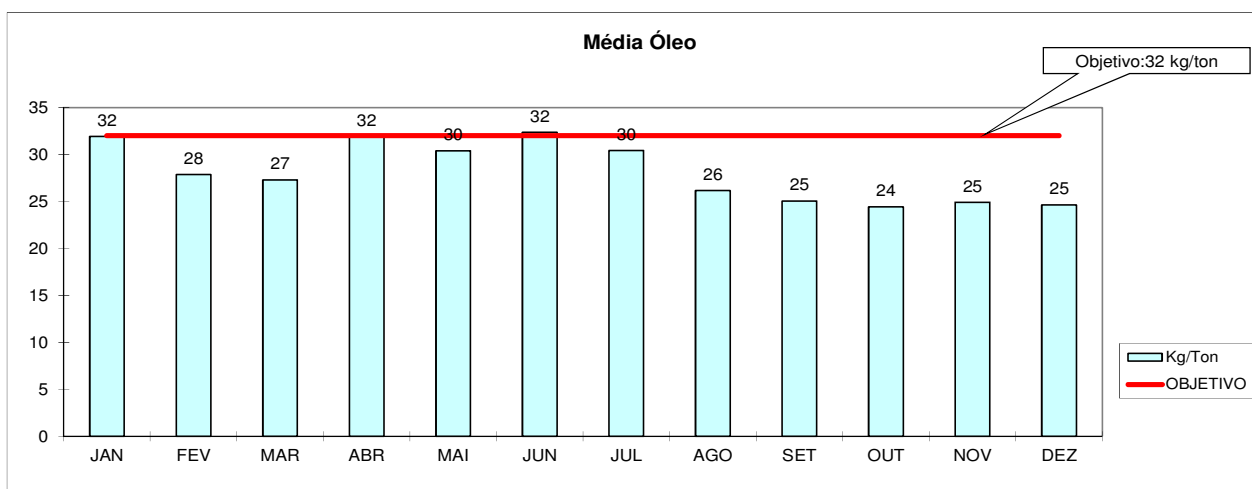


Fonte: Fábrica da Danone em Poços de Caldas

Figura 7.1: Consumo específico de energia elétrica, em kWh/t, durante os meses de 2006

- **Monitoramento do consumo de energia térmica:** as informações referentes ao consumo de energia térmica eram obtidas através da medição do consumo do óleo BPF (baixo ponto de fulgor), combustível até então utilizado para geração de vapor nas caldeiras. A quantidade de óleo, em kg, informada nas notas fiscais recebidas diariamente pela fábrica era digitada em uma planilha eletrônica. Portanto, o responsável pelo sistema de gestão da energia monitorava

o consumo do óleo e não o consumo da energia nele contida. No final de cada mês a equipe de controle de gestão transformava a quantidade de óleo consumido em uma unidade de energia, o kWh, utilizando o poder calorífico informado na ficha técnica do óleo BPF. Após a conversão, o valor da energia térmica correspondente era oficialmente reportado ao Grupo. A Figura 7.2 apresenta o consumo médio mensal de óleo BPF, em kg, por tonelada de produção, utilizado no primeiro sistema de gestão da energia da fábrica no ano de 2006.



Fonte: Fábrica da Danone em Poços de Caldas

Figura 7.2: Consumo mensal de óleo BPF, em kg, por tonelada de produção da fábrica da Danone em Poços de Caldas, em 2006

- **Monitoramento do consumo de água:** apesar da água não ser considerada, ou utilizada como uma fonte de energia para a fábrica, decidiu-se monitorar o seu consumo por se tratar de um recurso natural, e pela relação direta de sua utilização com o volume de produção e o consumo da energia elétrica e energia térmica. No início da implantação do sistema de gestão, o volume de água consumido, em m³, era obtido através da leitura dos hidrômetros instalados na saída da estação de tratamento de água e na rede de fornecimento de água do município de Poços de Caldas. Essas informações eram coletadas manualmente em campo e transferidas para uma planilha eletrônica.

Com a implantação do sistema de gestão da energia (SGE), aumento do foco no tema e nomeação de um gestor da energia na fábrica, identificou-se a necessidade da criação de um plano de ação que considerasse todas as ações e oportunidades identificadas para redução do

consumo de energia elétrica, consumo de combustível das caldeiras, consumo de água e, de uma forma geral, a redução do custo operacional da fábrica. Para cada ação definida era designado um responsável pela sua execução e acompanhamento, e o plano era atualizado semanalmente. A Tabela 7.1 apresenta uma das versões do plano de ação do sistema de gestão da energia da fábrica da Danone em Poços no ano de 2006.

Tabela 7.1: Plano de ação de 2006 do sistema de gestão da energia da fábrica da Danone em Poços de Caldas

PRINCIPAIS AÇÕES DE MELHORIA PARA EFICIÊNCIA DE ENERGIA E UTILIDADES			
AÇÃO	RESP.	DATA	STATUS
Implantação da queima de sebo bovino como combustível alternativo na substituição do óleo BPF	Paulo	31/01/06	OK
Implantação do procedimento de limpeza periódica das caldeiras	Paulo	31/03/06	OK
Implantação do controle de combustão com auxílio de analisador, executando medições semanais	Paulo	01/05/06	OK
Manutenção preventiva e periódica dos purgadores da Fábrica	Paulo	30/05/06	OK
Instalação de filtro na linha de descarga de caminhões de óleo/sebo	Cristiano	30/06/06	OK
Substituição dos equipamentos periféricos das caldeiras (válvula comando de fogo, bomba de óleo, filtros, manômetros, resistências)	J. Bosco	30/08/06	OK
Treinamento controle da Eficiência de Combustão	Paulo	21/10/06	OK
Isolamento das linhas de vapor (Coprod Energias)	Paulo	30/11/07	OK
Instalação de traço elétrico nas tubulações periféricas das caldeiras	Fábio	30/11/07	OK
Projeto recuperação de condensado (Coprod Energias)	Paulo	12/01/07	OK
Eliminação das causas das frequentes interrupções de energia elétrica na Fábrica. Aumentava consumo de energia e perda de produção	Paulo	28/02/06	OK
Implantação de procedimento para desligamento de equipamentos nos finais de semana e feriados, devido à baixa produção da Fábrica	Paulo	31/05/06	OK
Análise técnica e instalação de capacitores para correção do fator de potência	Paulo	30/07/06	OK
Aquisição do sistema para monitoramento e gerenciamento de energia elétrica	Paulo	30/06/06	OK
Implantação de procedimento para degelo diário nas células de resfriamento e Câmaras de estocagem	Paulo	30/06/06	OK
Task Force para eliminação de vazamentos de ar comprimido (Coprod Energias)	Paulo	15/02/07	On Going
Task Force eficiência energética e recuperação dos condensadores evaporativos	Paulo	28/02/07	On Going

Fonte: Fábrica da Danone em Poços de Caldas

A implantação do sistema de gestão da energia da fábrica da Danone em Poços de Caldas foi relativamente simples e não envolveu, no início, automação de procedimentos. Apesar de sua simplicidade inicial, o sistema possibilitou se ter uma visão clara da situação e se começar a detectar oportunidades de redução do consumo específico de energia e dos custos operacionais. Nesse período a empresa passou a realizar investimentos para a implantação de vários projetos. A maioria desses projetos obteve grande sucesso e trouxe um rápido retorno dos investimentos realizados, o que facilitou a implantação de outros projetos, subsequentes. Os projetos mais importantes são mencionados, em alguns casos com detalhes, no capítulo 6 desta dissertação.

7.2. A evolução do sistema de gestão da energia na fábrica

A partir de sua implantação, em 2006, o SGE se modernizou e se adequou às mudanças da empresa. A cada ano foram efetuadas alterações e melhorias com o intuito de tornar o sistema mais completo e eficiente.

Entre as melhorias adotadas pelo sistema, a mais importante foi a instalação de um gerenciador de energia elétrica. Maiores informações sobre este projeto estão disponíveis na seção 6.2 desta dissertação.

O gerenciador de energia elétrica trouxe vários benefícios para o SGE, mas, certamente, o maior deles foi a praticidade e o aumento da confiabilidade na coleta das informações referentes ao consumo de energia elétrica na fábrica. Estas informações passaram a ser disponibilizadas através de um sistema supervisório, em um micro computador instalado na sala de operação do setor de utilidades e energia.

Uma outra vantagem que o gerenciador proporcionou foi a informação da situação da demanda geral de energia elétrica, que além do valor instantâneo, passou a ser fornecida também em diferentes formatos gráficos, como, por exemplo, o da Figura 6.2. Essa informação gráfica é atualizada a cada quinze minutos, de acordo com a demanda medida⁵. Com essa informação disponível foi possível conhecer o comportamento da carga elétrica e realizar análises das curvas de carga nos diferentes períodos dos dias e meses e, a partir daí, tomar decisões estratégicas e realizar ajustes que possibilitaram a redução do consumo e do valor da conta de energia da fábrica.

Um ano após a implantação do gerenciador de energia foi possível se instalar um monitor de tensão. Este equipamento foi adquirido para propiciar uma visibilidade detalhada da qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária e ajudar na identificação das causas das interrupções no fornecimento. O equipamento é homologado pela ANEEL e fornece informações compatíveis com as seguintes normas de qualidade da energia:

- Resolução ANEEL 024/2000 (continuidade no fornecimento de energia);
- Resolução ANEEL 505/2003 (conformidade no nível de tensão); e

⁵ Demanda medida: maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento, expressa em kW

- Norma IEEE 1159.

O monitor de tensão foi conectado através de uma entrada analógica à placa eletrônica do gerenciador de energia elétrica e utiliza o mesmo *software* deste. Com a instalação deste equipamento, o SGE da fábrica passou a receber as seguintes informações:

- Monitoramento e registros de afundamento de tensão (*sag*) e sobretensões (*swell*) a partir de meio ciclo de duração;
- Variações rápidas de tensão (transitórios) a partir de 139 microssegundos de duração;
- Variações de frequência;
- Espectro das harmônicas até a 49ª ordem; e
- Ocorrências de variação de tensão entre neutro e terra.

Com a disponibilização destas informações foi possível elucidar que a maioria das causas das interrupções no fornecimento de energia elétrica, que, naquela época, prejudicavam consideravelmente o desempenho da fábrica, era de origem externa, ou seja, de responsabilidade da empresa concessionária. A partir de então, a concessionária adotou medidas de correção que reduziram de forma expressiva as falhas e proporcionaram maior robustez e confiabilidade ao sistema de alimentação de energia elétrica para a fábrica.

Por fim, uma outra alteração importante realizada no SGE foi a aplicação da metodologia de gerenciamento Hoshin Kanri, também conhecida como “Gerenciamento por Diretrizes” (GDP), ou ainda “Desdobramento das Diretrizes”, que tem sua origem no “*Total Quality Management*” (TQM). Trata-se, portanto, de uma abordagem voltada ao controle da qualidade e a uma busca de melhoria contínua.

Trata-se de um sistema administrativo que determina os objetivos da organização por meio de um planejamento estratégico e permite o seu desdobramento em todos os níveis hierárquicos, sem se desviar dos rumos definidos no plano (CAMPOS, 2004).

A aplicação da metodologia de gerenciamento Hoshin Kanri alterou o formato do relatório utilizado pelo SGE. A Figura 7.4 apresenta tal formato em dezembro de 2012.

Este formato de relatório visa ilustrar, para todos os funcionários da empresa, em uma única página de tamanho A3, as informações mensais mais relevantes sobre a situação energética da fábrica e o plano de ação do SGE.

O SGE, no entanto, continua utilizando uma planilha eletrônica do *software* Excel cujos dados de entrada são digitados diariamente com informações disponibilizadas a partir de outros sistemas. Os indicadores de desempenho mais importantes são apresentados em forma de gráficos, na seguinte sequência:

- Consumo energético específico, em kWh/t (engloba tanto energia térmica como elétrica);
- Consumo específico de energia elétrica, em kWh/t (obtido através do gerenciador de energia elétrica e digitado na planilha do SGE);
- Consumo específico de energia térmica, em kWh/t (obtido através da multiplicação do poder calorífico dos combustíveis utilizados para produção de vapor nas caldeiras – cavaco de eucalipto e óleo BPF, em kcal/kg, pelo consumo destes combustíveis, em kg, e pelo fator de conversão de kcal em kWh, dividido pelo volume de produção da fábrica);
- Consumo específico de vapor, em kg vapor/t (o consumo de vapor é obtido através da leitura de dois medidores de vazão instalados nas saídas das caldeiras. Essas informações são disponibilizadas eletronicamente no sistema supervisório da caldeira de biomassa e na interface homem-máquina da caldeira a óleo, e são digitadas na planilha do SGE);
- Consumo específico de água, em m³/t (em 2013 foi instalada uma nova estação de tratamento de água (ETA), dotada de um alto nível de automação e um sistema supervisório para controle e operação. Com a instalação da nova ETA o consumo de água passou a ser monitorado através de um medidor de vazão conectado ao sistema supervisório, de onde as informações são coletadas e transferidas para a planilha do SGE);
- Consumo específico de óleo combustível, em kg óleo/t (foi instalado um medidor de vazão na entrada do tanque de abastecimento da caldeira que consome óleo combustível. Este medidor disponibiliza os valores através de um *display* no painel elétrico da caldeira, de onde as informações são coletadas e inseridas na planilha do SGE); e
- Consumo específico de cavaco, em m³ cavaco/t (o consumo de cavaco de eucalipto tem sido monitorado através da pesagem, em uma balança rodoviária, de cada carreta carregada de cavaco que entra na fábrica. O valor total consumido é ajustado no último dia do mês em função do volume contido no interior do silo de estocagem, que normalmente é mantido em sua capacidade máxima. No final de 2013 foi instalado um equipamento de raios-X para medição do consumo de cavaco através da esteira de alimentação, na entrada da caldeira. O equipamento ainda está em fase de testes, mas os resultados estão satisfatórios e, ainda em

2014, este sistema deve ser adotado como medidor oficial para melhorar o controle da eficiência da caldeira e para trazer maior confiabilidade para o SGE).

A formatação básica do plano de ação não sofreu alterações com a implementação da metodologia de gerenciamento Hoshin Kanri. Continuam sendo mantidas as informações essenciais do plano: breve descrição da ação ou atividade a ser realizada; responsável pela realização da atividade; data máxima prevista para que a ação esteja concluída; e *status* (situação em que a atividade se encontra, ou seja, realizada, em andamento ou não realizada, em relação à data prevista para a sua conclusão). A única mudança ocorrida é que atualmente o plano de ação é apresentado na mesma página que contém as informações gráficas referentes às evoluções dos indicadores de desempenho energético.

A evolução do SGE da fábrica da Danone em Poços de Caldas desde 2006, o aumento da experiência das pessoas envolvidas com o tema eficiência energética na fábrica e novos conhecimentos adquiridos no curso de mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos da Unicamp permitem vislumbrar algumas possíveis melhorias futuras, que são apresentadas no capítulo 9 desta dissertação.



HOSHIN EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Dezembro 2012

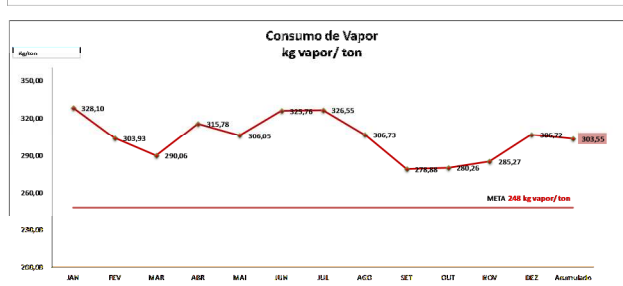
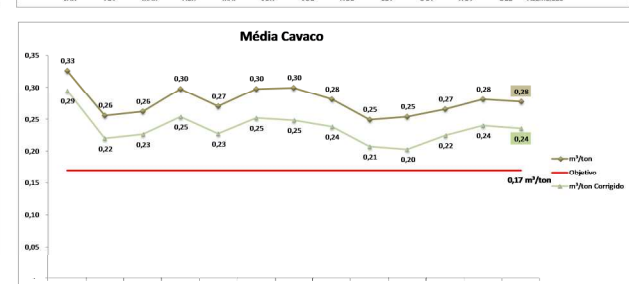
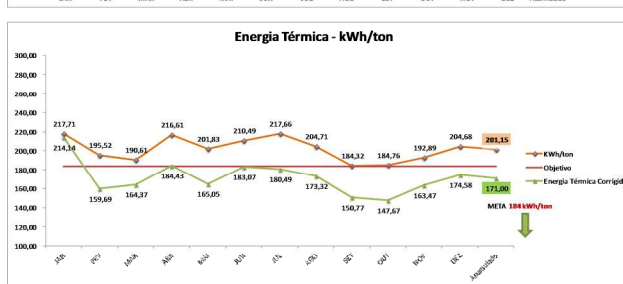
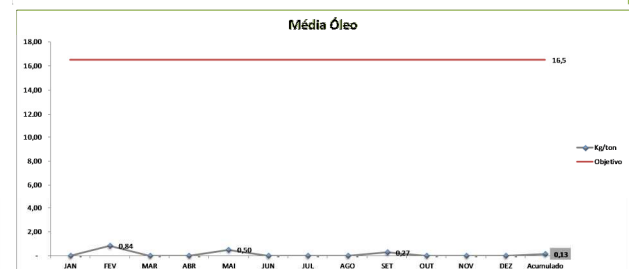
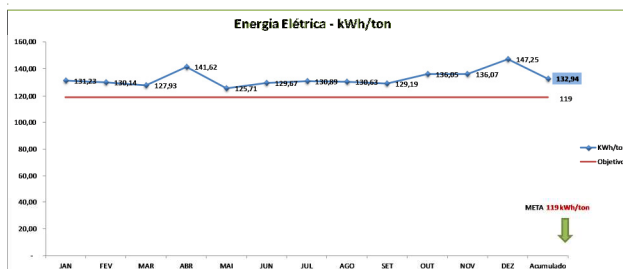
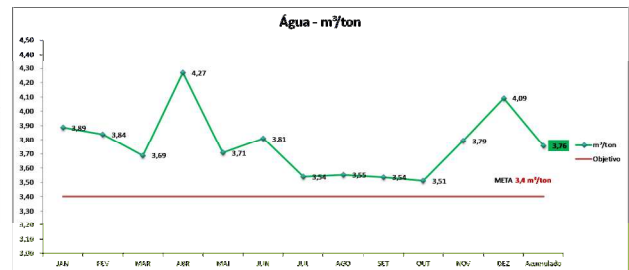
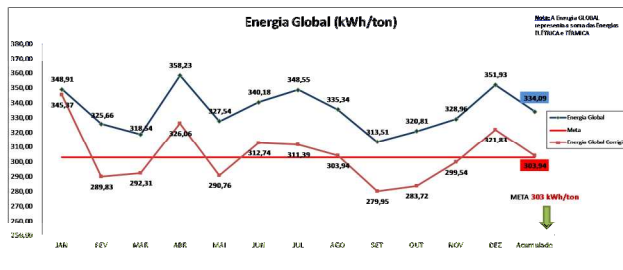


Tabela de ações a serem realizadas em 2013				RESP	DATA	STATUS
Substituir os purgadores existentes, por purgadores Eletrolíticos (BOPE ENERGAS)				Raphael	31/jan/13	Em andamento
Realizar projeto de Jogo de rede (BOPE ENERGAS)				Paulo Silva	17/ago/12	Em andamento
Check-list de Energia das Unidades				Graciela	01/ago/12	Em andamento
Projeto Recuperação do calor Ambiente (BOPE ENERGAS)				Paulo Silva	15/ago/13	Em andamento
Corrigir nos instrumentos térmicos das tubulações de Vapor				Graciela	31/jan/13	Em andamento
Montagem do laboratório Biomassa				Graciela	15/ago/12	Em andamento
Realizar análise de combustão da Aria da Caldeira Biomassa, para acompanhar sua eficiência				Graciela	26/nov/12	Em andamento
Treinar operadores da ETA em tratamento de água				Graciela	22/jan/13	Em andamento
Treinar operadores da Caldeira em MB-13				Werk	31/ago/12	Concluído
Realizar procedimento operacional				Graciela	23/nov/12	Em andamento
CAPTAR Retorno de água quente				Graciela	31/jan/13	Em andamento
Projeto Upgrade CCM (BOPE ENERGAS)				Paulo Silva	15/jan/13	Em andamento
Realizar investigação de vazamentos de Gaseoso				Graciela	20/ago/13	Em andamento
Reparar Volume do vapor de gases com os fornecedores				Werk	13/jan/13	Em andamento
Realizar limpeza da Caldeira Biomassa, utilizando a mesma anomalia				Graciela	06/jan/13	Em andamento
Fazer treinamento dos técnicos de manutenção, para melhorar eficiência da Caldeira Biomassa				Werk	10/ago/13	Em andamento
Fazer teste de 1 semana com o cavaco reciclado, após a instalação do sistema				Graciela	07/ago/13	Em andamento

Fonte: Fábrica da Danone em Poços de Caldas

Figura 7.3: Formato do relatório utilizado em dezembro de 2012 pelo SGE da fábrica da Danone em Poços de Caldas

8. POTENCIAL DE GANHOS ADICIONAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA FÁBRICA

Muito trabalho tem sido realizado para se melhorar a eficiência energética da fábrica da Danone em Poços de Caldas e os resultados podem ser claramente observados através das reduções de consumo energético específico obtidas, ilustradas na Figura 6.1.

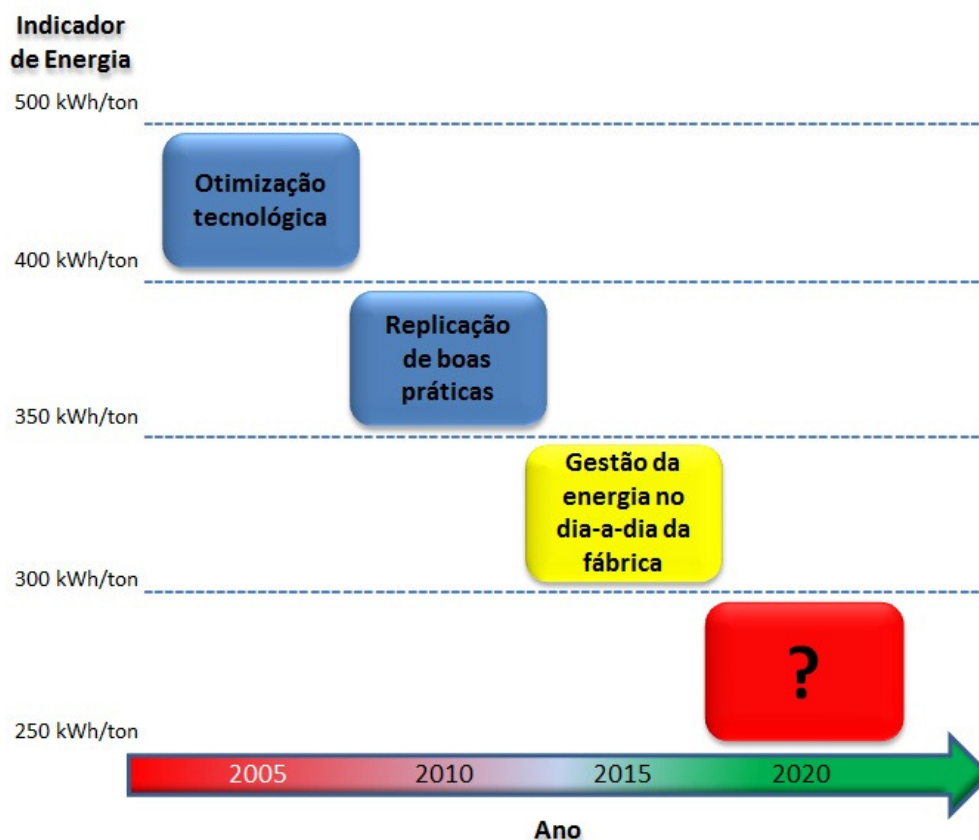
Limites para potenciais ganhos de eficiência energética são impostos pelas eficiências dos melhores equipamentos e processos disponíveis no mercado (*best available technologies* – BATs). Além disso, projetos dedicados à melhorias de eficiência energética competem, na tomada de decisão das empresas sobre futuros investimentos, com outros tipos de projetos, como, por exemplo, aumento da capacidade de produção, ou ações de *marketing*. Uma outra barreira comum para este tipo de investimento é que o período de retorno do capital investido é frequentemente superior a limites estreitos impostos pela diretoria das empresas, durante a seleção de novos projetos.

Apesar das barreiras e dificuldades encontradas para a realização de ações destinadas a promover melhorias em eficiência energética, na prática ainda existem muitas oportunidades a serem exploradas e ganhos a serem obtidos nesta área.

A Figura 8.1 ilustra, de uma forma gráfica, a evolução que as ações realizadas nas fábricas do Grupo Danone, de uma forma geral, e na fábrica de Poços de Caldas, em particular, exerceram sobre o consumo energético específico destas fábricas, expresso em kWh/t, desde 2005.

Pode-se observar que o início das atividades de gestão da energia contemplou, em sua maior parte, ações que podem ser denominadas como de “otimização tecnológica”, ou seja, melhor utilização dos equipamentos disponíveis. Como exemplos, na fábrica de Poços de Caldas, podem ser citados o plano de controle operacional das caldeiras, a correção do fator de potência da instalação elétrica, a adequação de isolamentos térmicos em equipamentos e tubulações, a reengenharia das células de resfriamento e vários outros trabalhos deste tipo descritos no capítulo 6 desta dissertação. Estas ações contribuíram para grandes reduções do consumo energético específico nos primeiros anos de funcionamento do SGE.

A segunda fase do SGE se caracterizou pela “replicação de boas práticas” utilizadas dentro e fora da companhia. Nesse período, a empresa criou o *Energy Team*, com o objetivo de promover a troca de experiências e replicar as oportunidades identificadas.



Fonte: elaboração própria a partir de uma apresentação realizada pelo DEW

Figura 8.1: Evolução dos ganhos de eficiência energética das fábricas da Danone desde 2005

Vários projetos envolvendo replicação de boas práticas foram descritos no capítulo 6, com destaque para a recuperação de condensado, recuperação de calor da amônia (dessuperaquecedor), aplicação da tecnologia VSD em diversas bombas e compressores e recuperação de energia dos compressores de ar. Este último projeto foi implantando inicialmente na fábrica de Poços de Caldas e, em seguida, foi replicado em outras fábricas do Grupo Danone na Argentina, México, EUA e Alemanha.

Todos os trabalhos realizados nas fases 1 e 2 ocorreram graças ao controle e monitoramento proporcionados pelo atual SGE. Porém, conforme comentado na seção 7.2, verificou-se a necessidade de melhorar este sistema e, assim, a proposta da fase 3, que está ocorrendo nesse momento, é “gestão da energia no dia-a-dia da fábrica”. O objetivo dessa fase é evoluir com o sistema de gestão, ampliando as suas áreas de monitoramento, de forma a considerar também a medição e criação de *KPIs* para o consumo da energia em suas diferentes formas nos processos de produção da fábrica. As propostas de alterações e melhorias que permitirão ao SGE proporcionar a gestão da energia no dia-a-dia da fábrica fazem parte do capítulo 9 desta dissertação.

A Figura 8.1 apresenta a fase 4 como um ponto de interrogação (?). Esta forma simbólica foi adotada para refletir a real situação não somente da fábrica de Poços de Caldas, mas também das demais fábricas de PLF do Grupo Danone: deseja-se atingir o consumo energético específico médio de 250 kWh/ton até o ano de 2020, mas não se sabe exatamente o que fazer para alcançar este objetivo. Existem, porém, várias oportunidades que estão sendo mapeadas e desenvolvidas com o objetivo de responder a este questionamento e promover a continuação da redução do consumo energético específico até a meta almejada.

Além de “ações gerenciais”, certamente uma outra resposta para a questão do que fazer para se atingir a meta proposta será “inovação tecnológica”, ou seja, a busca por novas tecnologias, mais eficientes. Alguns projetos envolvendo inovação tecnológica, juntamente com ações gerenciais, são descritos a seguir.

8.1.Comissão interna de conservação de energia

Desde 2005, quando se iniciaram os trabalhos de gestão da energia na fábrica da Danone em Poços de Caldas, o tema da eficiência energética tem sido tratado com alta prioridade no Departamento de Utilidades e Energia, cujo gerente é o responsável pelo SGE. Por outro lado, as participações das demais áreas da fábrica, principalmente as diretamente ligadas à produção, tem sido pontuais, variando o grau de intensidade em diferentes momentos.

É claro que as áreas de produção possuem outras prioridades, tais como a qualidade dos produtos, eficiências operacionais, custos operacionais e de manutenção, redução de perdas, e, principalmente, cumprir os planos de programação da produção. No entanto, a busca de ganhos de eficiência energética está quase sempre em sintonia com estas prioridades e, assim, é essencial que seja tratado também como uma prioridade pelas áreas de manufatura.

Uma proposta apresentada para a diretoria da empresa e que, ainda no ano de 2014 deve ser atendida, é a criação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) na fábrica.

A constituição de uma CICE é um componente importante na implementação de programas de eficiência energética. A Comissão tem como objetivo propor, implementar e acompanhar medidas efetivas de utilização racional de energia, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes (ROCHA, 2005).

A proposta apresentada para a direção da fábrica da Danone em Poços de Caldas sugere a formação da CICE com a participação de aproximadamente vinte e cinco membros, com pelo menos um representante de cada setor da fábrica (processos, envase, CIP, manutenção, utilidades, finanças, recursos humanos, suprimentos e comunicação interna).

O maior objetivo a ser alcançado com a formação da CICE certamente é a redução do consumo específico de energia, por conta de um maior envolvimento da área de produção da fábrica. Mas, de uma forma geral, são esperados os seguintes resultados com a formação da CICE:

- Cada membro deverá ser responsável por compartilhar e desenvolver o assunto “conservação de energia” em sua área de atuação;
- A CICE deverá ser considerada como uma forma de disseminação de conhecimento e da cultura de gestão da energia e uso racional da água;
- A fábrica, através de seus diversos setores, passará a dar mais importância e se tornará mais consciente e responsável pelo uso da energia e da água (situação atualmente restrita à área de utilidades e energia);
- A CICE não deverá ser vista como o grupo responsável pela gestão da energia na empresa, e sim como um instrumento de apoio para o plano de gestão energética. A responsabilidade pela gestão da energia continuará sendo do Gerente de Utilidades e Energia;
- A CICE será responsável pela realização de campanhas de redução dos consumos específicos de energia e água, como, por exemplo, a “Semana de Conservação de Energia”;

- A CICE deverá criar um “bolsão” de ideias para redução do consumo específico de energia e de água. Em seguida, as ideias serão analisadas quanto à viabilidade técnica e econômica. Para analisar a viabilidade destas ideias, será proposta a utilização de uma técnica denominada “Matriz de prioridades”, apresentada na próxima seção;
- Para o sucesso dessa comissão será fundamental o apoio e engajamento da alta direção da empresa; e
- Caso a empresa decida pela implantação da CICE, ela deverá ser tratada como algo perene, ou seja, um trabalho que não deverá ser interrompido.

O guia técnico de gestão energética, elaborado pelo Procel / Eletrobrás e disponibilizado gratuitamente no portal do Procel na Internet, provê informações sobre como pode ser a estrutura, atribuições, atribuições dos membros, funcionamento e plano de comunicação de uma CICE.

A implantação de uma CICE propiciou uma redução de 3,5% no consumo energético específico requerido para produzir transformadores elétricos na empresa Toshiba e uma redução de 4,2% no consumo energético específico da empresa de produtos automotivos, Continental (MARQUES, HADDAD e GUARDIA, 2007).

8.2. Matriz de priorização

Com a implantação da CICE muitas ideias e oportunidades serão identificadas, mas, certamente, não será possível realizar todas as ações levantadas e, assim, a empresa deverá criar uma forma de priorizar a execução dessas ações.

Existem várias técnicas utilizadas na área da administração para facilitar uma tomada de decisão, de modo a torná-la mais assertiva. A forma recomendada nesta dissertação de mestrado é a matriz de priorização, que é uma ferramenta de gestão muito utilizada para comparar alternativas entre si (<http://ferramentas-de-negocios.wikispaces.com>, acessado em 03/05/2014).

A matriz deve considerar os benefícios para a organização, a abrangência das pessoas beneficiadas pela solução, o grau de satisfação dos colaboradores, os investimentos requeridos;

os clientes envolvidos e o efeito que a solução terá neles, e a operacionalidade da solução (www.administradores.com.br, acessado em 03/05/2014).

Para utilização na CICE, é recomendado que o quesito “abrangência das pessoas ...” seja substituído por “abrangência de áreas”, e o quesito “clientes envolvidos ...” seja substituído por “prazo de execução”.

É necessário que cada solução a ser analisada receba uma nota de 1 a 5 em cada um dos quesitos. Os critérios adotados para se dar a pontuação máxima podem ser:

- **Benefícios:** para a solução que proporcione o maior benefício é dada a pontuação máxima;
- **Abrangência:** a pontuação máxima vai para a solução que tenha a maior área de abrangência;
- **Satisfação:** a solução que proporcione maior satisfação, ou esteja em maior concordância entre os membros da CICE recebe a pontuação máxima;
- **Investimentos:** a pontuação máxima é dada para a solução que necessite de menor investimento;
- **Prazo:** a solução que necessite de menor prazo para ser executada recebe a pontuação máxima; e
- **Operacionalidade:** a pontuação máxima é concedida para a solução que requeira menor complexidade operacional, ou de execução.

A Tabela 8.1 apresenta um exemplo de matriz de priorização que segue os critérios sugeridos.

Os pontos adotados para cada quesito são somados entre si, nas respectivas linhas das soluções propostas. Os resultados destas somas são alocados nas células da coluna denominada “Prioridade”, onde são comparados entre si.

Tabela 8.1: Exemplo de matriz de priorização

	Benefícios	Abrangência	Satisfação	Investimento	Prazo	Operacionalidade	Prioridade
Solução 1	5	3	3	2	1	4	18
Solução 2	4	5	1	2	2	3	17
Solução 3	5	5	5	5	5	5	30
Solução 4	2	5	2	5	5	1	20

Fonte: elaboração própria

Analisando a Tabela 8.1, pode-se observar que a Solução 3 recebeu 5 pontos em todos os quesito avaliados, situação que mostra o limite máximo de 30 pontos; consequentemente, neste exemplo, esta é a solução a ser priorizada, comparada com as outras três.

Por se tratar de uma soma de pontos dos diversos quesitos, pode ocorrer uma situação em que diferentes sequências de valores adotadas para duas ou mais soluções propostas resultem na mesma soma. Nesses casos, cabe à equipe tomar a decisão do desempate.

Para concluir, é importante destacar que a matriz de priorização é uma ferramenta que pode ajudar muito nas tomadas de decisões, principalmente em casos de menor complexidade, porém, análises mais completas, envolvendo aspectos de segurança e questões financeiras, continuam sendo indispensáveis para a validação e aprovação dos projetos pela companhia.

8.3.Medição e verificação

É importante reconhecer que alguns dos inúmeros projetos realizados na fábrica da Danone em Poços de Caldas com o objetivo de reduzir o consumo específico de energia formalmente não tiveram sucesso. Foram casos em que, pela percepção das pessoas técnicas atuantes na área de utilidades e energia, os projetos apresentaram resultados positivos, porém, não foi possível obter a comprovação pela redução do consumo específico de energia e pela redução dos custos nas contas de energia elétrica, ou de combustíveis das caldeiras.

Na maioria desses casos os resultados foram prejudicados por problemas externos, ou seja, por ineficiências coincidentemente ocorridas no mesmo período em outras áreas, prejudicando, assim, a redução do consumo energético específico da fábrica.

Essas situações são prejudiciais para a continuidade da realização de projetos de eficiência energética, uma vez que colocam em dúvida os resultados dos projetos e a capacidade de execução dos profissionais envolvidos com o assunto.

Para evitar este tipo de situação e eliminar qualquer dúvida relacionada aos resultados obtidos com a implantação dos projetos de conservação de energia, a recomendação é que, de agora em diante, sejam adotadas técnicas de medição e verificação. O Programa Nacional de

Conservação de Energia Elétrica (Procel), gerenciado pela Eletrobrás, disponibiliza, gratuitamente, em seu portal na Internet, um Guia de Medição e Verificação.

A medição e verificação (M&V) é uma metodologia elaborada para comprovar os resultados da economia, em energia e custos, resultantes de ações de eficiência energética, normalmente associadas a trocas ou *retrofits* de equipamentos.

Consultando o Guia de Medição e Verificação do Procel observa-se que ele foi criado originalmente para atender às necessidades dos contratos de desempenho entre ESCOs e seus clientes, mas que ele também pode ser utilizado em trabalhos internos, realizados pelas equipes próprias das empresas. Por exemplo, o Departamento de Utilidades e Energia da fábrica da Danone em Poços de Caldas, normalmente responsável pela realização dos projetos de eficiência energética, deve periodicamente prestar contas e reportar os resultados obtidos para o Departamento de Finanças, internamente representado como “financiador” destes projetos.

Um Protocolo de Medição e Verificação foi desenvolvido, em nível internacional, para orientar na elaboração de um Plano de Medição e Verificação consistente e aceitável por todas as partes envolvidas em um projeto.

Segundo o Guia de Medição e Verificação do Procel, para uma mesma situação diferentes planos podem ser desenvolvidos, todos eles válidos. A forma do desenvolvimento de um Plano de Medição e Verificação depende de diversos fatores, tais como: simplicidade, custos e disponibilidades, entre outros. A experiência individual do planejador fará com que este opte por uma ou outra das modelagens propostas no Protocolo de Medição e Verificação.

8.4.Diagnósticos energéticos nos processos de fabricação

Conforme descrito na seção 2.1 desta dissertação, a fábrica de Poços de Caldas está participando do Projeto Eficind e, mesmo durante a fase de estruturação deste projeto, já foi possível observar uma contribuição mútua entre ambas as partes. Por um lado, o grupo de gestão da energia da fábrica colaborou no preenchimento do questionário de pré-diagnóstico do projeto, disponibilizando informações reais de sua instalação industrial e, também, relatando as

dificuldades encontradas no preenchimento, com o objetivo de contribuir em melhorias na estrutura e aplicabilidade do questionário. Por outro lado, a equipe do Projeto Eficind disponibilizou um relatório com resultados e recomendações feitas a partir de uma análise efetuada com as respostas do questionário de pré-diagnóstico, conforme apresentado no Anexo A. Os resultados apresentados nesse relatório confirmaram boas práticas em algumas áreas da fábrica e as recomendações feitas indicaram a existência de várias oportunidades de ganhos de eficiência energética a serem exploradas.

Estas oportunidades poderão ser exploradas através da realização de um trabalho mais amplo de diagnósticos energéticos e estudos de otimização, envolvendo algumas áreas específicas.

Vale a pena realizar diagnósticos energéticos para se conhecer o consumo energético específico de cada produto, ou *SKU*.

Conforme descrito no capítulo 4, a fábrica de Poços de Caldas é considerada complexa e produz mais de 120 *SKUs*. Será de grande valor conhecer o consumo energético específico por família de produtos. O Grupo Danone possui essas informações de forma genérica, que podem ser utilizadas como referências, mas é importante que o grupo de gestão da energia na fábrica conheça estes valores nas condições reais de seus processos de fabricação.

Para conhecer o consumo energético específico de cada *SKU* produzido na fábrica será necessário analisar individualmente cada etapa dos diversos processos de fabricação, desde a recepção de leite até a expedição dos produtos acabados.

Com a evolução do trabalho de gestão da energia, a fábrica de Poços de Caldas foi adquirindo, ao longo dos anos, vários equipamentos de medição, tais como analisador de energia elétrica, termômetro a laser, analisador de temperatura com termovisão, e medidor de vazão não intrusivo. Estes equipamentos, bem como os diversos instrumentos de medição disponíveis nos sistemas supervisórios dos processos, serão essenciais para o levantamento das informações necessárias para a elaboração dos diagnósticos energéticos por processos produtivos.

Com os resultados destes diagnósticos energéticos a equipe de gestão da energia passará a conhecer o perfil de consumo de cada tipo de produto, podendo utilizar essas informações de forma estratégica para se tornar mais eficiente através das seguintes ações:

- Comparação das eficiências energéticas dos diversos processos, priorizando, sempre que possível, a utilização dos processos mais eficientes;

- Conhecimento das diferenças entre os processos e aplicação dos conceitos de otimização energética, de modo a elevar o nível dos processos de menor eficiência para os níveis dos processos que apresentarem maior eficiência energética;
- Identificação do impacto do perfil de produção de cada produto, que reflete o seu perfil de consumo (sazonal, por exemplo), sobre o consumo energético específico da fábrica. Esta informação poderá contribuir para um melhor controle energético e do custo operacional da fábrica;
- Levantamento do custo da energia por kg de cada tipo de produto acabado. Essa informação poderá ser compartilhada com áreas da fábrica tais como pesquisa e desenvolvimento, área comercial, marketing e controle da gestão, para ajudar na composição do preço final de cada produto. Com esta informação, a fábrica poderá também repassar o custo da energia consumida com testes de novos produtos, atualmente absorvido no custo operacional geral da fábrica, para os centros de custos associados a estes projetos; e
- Contabilização do efeito que as perdas de produção exercem sobre o consumo energético específico e custo da energia. Existem situações em que o leite cru entra na fábrica, é processado e consome energia em várias etapas dos processos, mas, por alguma falha, não se transforma em produto acabado. A disponibilização dessas informações ajudará a direção da fábrica a ter visibilidade sobre esta situação e a promover maiores esforços na redução das perdas.

É interessante, também, a realização de um diagnóstico energético abrangendo os mais de cinquenta trocadores de calor da fábrica utilizados nos processos de produção para diversas finalidades, tais como pasteurização, esterilização, termização, aquecimento e resfriamento. A sequência da execução e o resultado esperado com a realização deste trabalho estão descritos a seguir:

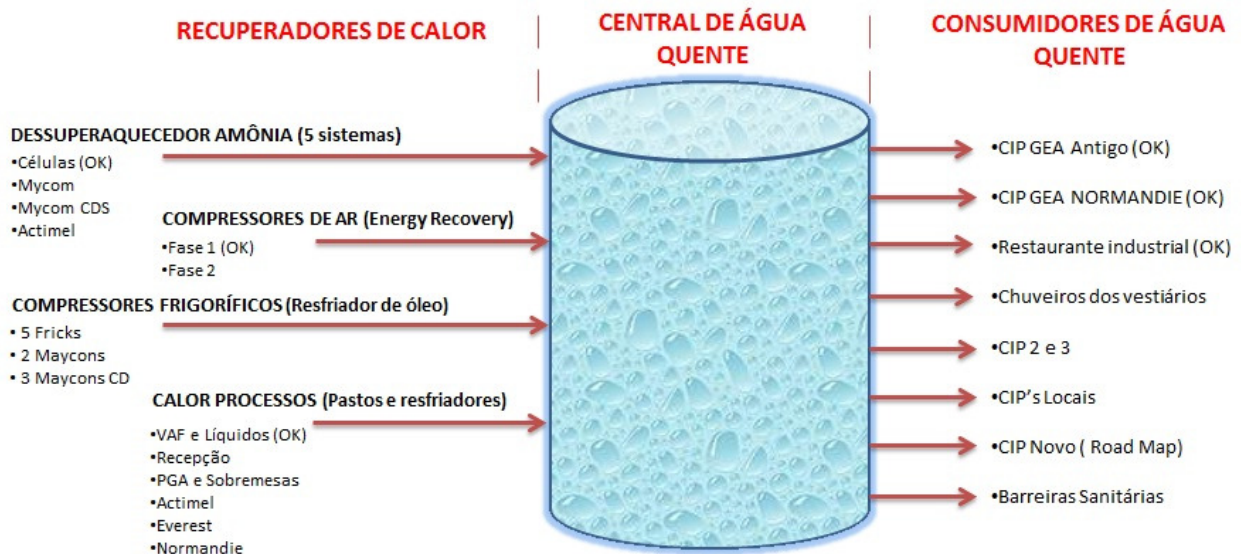
- Identificação de todos os trocadores de calor (pasteurizador, resfriador, esterilizador, termizador);
- Verificação e atualização dos dados de projeto;
- Alocação de todos os trocadores de calor no desenho de planta baixa da fábrica;
- Análise da situação de cada equipamento com o apoio técnico de seus respectivos fabricantes e aplicação de ações de redução de consumo energético para os casos que apresentarem oportunidades interessantes; e

- Disponibilização de informações atualizadas para todas as áreas da fábrica interessadas, tais como engenharia, manutenção e operação.

8.5. Recuperação de calor

É desejável se ampliar a recuperação de calor já realizada na fábrica para outras áreas, equipamentos e processos que apresentem potencial de ganhos e viabilidade técnico-econômica.

A Figura 8.2 ilustra, de uma forma esquemática, uma proposta para se completar o sistema de recuperação de calor da fábrica; os itens assinalados com (ok) já foram realizados.



Fonte: elaboração própria

Figura 8.2: Sistema de recuperação de calor da fábrica da Danone em Poços de Caldas

O sistema de recuperação de calor da fábrica pode ser dividido em três partes:

- **Recuperadores de calor:** contemplam todas as possíveis áreas e equipamentos que atualmente utilizam água de alguma forma para rejeitar calor, ou para o seu resfriamento, como, por exemplo, condensadores evaporativos de amônia, compressores de ar, compressores frigoríficos e trocadores de calor dos processos. São considerados apenas os

equipamentos que possibilitem a alteração da situação atual por sistemas de recuperação do calor utilizando água para seu resfriamento;

- **Central de água quente:** a central de água quente pode ser composta por um ou mais tanques utilizados para estocagem e conservação da água, previamente aquecida pelos recuperadores de calor, e também para atender a demanda dos consumidores de água quente através de uma linha de distribuição, instalada em diversos pontos da fábrica. A água permanece aquecida em uma faixa de temperatura de 50 °C a 60 °C. A central de água quente possui um alto nível de instrumentação e automação, utilizado para efetuar o controle e gerenciamento de todo o sistema de recuperação de calor; e
- **Consumidores de água quente:** são todas as possíveis áreas e equipamentos que necessitam de água quente para funcionar. No caso da fábrica de Poços de Caldas, toda água utilizada nesses processos é aquecida por vapor produzido pelas caldeiras. Pode-se observar, na Figura 8.2, que os consumidores de água quente são as diversas estações de CIP, o restaurante (cozinha industrial), as barreiras sanitárias e os chuveiros dos vestiários.

O próximo passo do trabalho de recuperação de calor na fábrica consistirá na realização de um diagnóstico energético detalhado de cada um dos equipamentos, ou processos que compõem as três partes do sistema.

O sucesso deste projeto dependerá muito do balanço entre a energia recuperada e a energia consumida pelo sistema. O ideal é que existam consumidores suficientes para utilizar toda a energia (água quente) oriunda dos recuperadores de calor. Nesse caso, deverá se tomar cuidado para não se instalar uma capacidade de recuperação de calor maior do que a capacidade de consumo de água quente, pois essa situação poderia causar um efeito contrário e piorar a eficiência energética das instalações.

Os equipamentos e processos recuperadores de calor e os consumidores de água quente apresentam um comportamento bastante variável, requerendo, por conseguinte, um alto nível de controle e automação da central de água quente.

A utilização da água fornecida pela central de água quente não eliminará totalmente o consumo de vapor para a maioria dos processos, mas promoverá uma redução considerável. A temperatura da água na central de água quente é mantida na faixa de 50 °C a 60 °C, e os maiores consumidores, nesse caso as centrais de CIPs, necessitam de água entre 80 °C e 90 °C. A economia no consumo de vapor é significativa, porque atualmente os equipamentos que ainda

não estão conectados ao sistema de recuperação de calor são alimentados com água na temperatura ambiente, que na média, em Poços de Caldas, é de 25 °C.

Certamente esta é uma das melhores soluções identificadas no momento para aumentar o potencial de ganhos de eficiência energética, com uma estimativa de redução de 10% no consumo energético específico da fábrica.

8.6.Aumento do retorno de condensado

Desde que foi implantado em 2007, o sistema de recuperação de vapor condensado não sofreu alterações consideráveis. Por outro lado, o volume de produção da fábrica mais do que dobrou nesse período, suportado por vários investimentos para aquisição de novos processos de fabricação.

A atual taxa de retorno de condensado é de 55% do vapor produzido. Esta relação está muito próxima da condição inicial, em 2007. Quando o projeto de retorno de condensado foi realizado, a produção diária de vapor das caldeiras era de 200 ton/dia e atualmente está em 360 ton/dia. Logo, em termos absolutos, o volume de retorno de condensado aumentou na mesma proporção que a produção de vapor.

Propõe-se, aqui, que seja realizada uma análise detalhada de toda a instalação de vapor e condensado. A expectativa é que a taxa de retorno de condensado aumente, com a eliminação de alguns problemas existentes, como o atual subdimensionamento das bombas, e a identificação de outras oportunidades, por ora ocultas neste complexo sistema.

Conforme informações compartilhadas entre os membros do *Energy Team* da Danone, a melhor prática das fábricas de PLF da empresa é uma taxa de 85% de retorno de condensado. Esta é uma meta que deve ser perseguida na fábrica de Poços de Caldas.

8.7.Sistema de ar comprimido em baixa pressão

Conforme relatado na seção 4.6.2, a demanda de ar comprimido da fábrica é de 15.000 Nm³/h. O sistema de suprimento deste ar conta com quatro compressores do tipo parafuso acionados por motores de 500 kW cada, sendo que um desses compressores é mantido como reserva. Assim, a demanda de energia elétrica para produção de ar comprimido é de aproximadamente 1.500 kW. A produção de ar comprimido é responsável por 16,59% do consumo de energia elétrica da fábrica (Figura 4.7).

A pressão do ar na saída dos compressores é de 6,5 bar e os equipamentos mais sensíveis necessitam de, no mínimo, 5,5 bar para funcionarem corretamente. A pressão na saída dos compressores é suficiente para suprir uma perda de carga de até 0,8 bar, considerando o ponto mais distante da central de geração de ar comprimido. Este é o limite máximo aceitável, de acordo com as boas práticas utilizadas em projetos de instalações de ar comprimido.

A pressão de trabalho é um fator crítico, pois afeta significativamente o consumo de energia, que aumenta com o aumento da pressão de trabalho. Equipamentos que operam com diferentes pressões em uma mesma instalação podem ser atendidos mediante a redução da pressão nos pontos de consumo, por meio de válvulas redutoras. Algumas vezes, torna-se econômico o uso de compressores de diferentes vazões e pressões para atender a diferentes situações de operação, em um mesmo sistema (ROCHA e MONTEIRO, 2005).

Este último caso ocorre na fábrica da Danone em Poços de Caldas. Em um estudo realizado há dois anos identificou-se que mais de 30% do ar comprimido consumido na fábrica é utilizado em equipamentos de baixa pressão. O ar na saída dos compressores está a 6,5 bar e nestes equipamentos a pressão é reduzida, através de válvulas redutoras, para 0,8 bar. Recomenda-se, portanto, para se obter ganhos adicionais de eficiência energética, a instalação de um sistema de ar comprimido em baixa pressão. Este sistema será utilizado para alimentar vários equipamentos que utilizam ar comprimido a uma pressão de 0,8 bar, tais como tanques de fermentação e estocagem de produtos, e os dosadores das máquinas de envase.

A implantação deste projeto deverá propiciar uma redução de 18% no consumo de energia elétrica destinado para ar comprimido, o que representará uma redução de 3% no consumo

energético específico da fábrica. Se estes valores se confirmarem, o ganho financeiro será em torno de R\$ 336.000,00 por ano.

8.8.Utilização de ozônio para desinfecção no tratamento de efluentes e nas estações de CIP

A utilização do ozônio como sanitizante⁶ pode ser uma mudança tecnológica muito interessante, e que poderá contribuir com ganhos expressivos de eficiência energética.

O ozônio é um dos oxidantes naturais mais poderosos e como tal é ideal para uso em processos industriais e no tratamento de águas e do ar. Ele reage com poluentes, elimina cor e odor e ainda possui a capacidade de reduzir, ou eliminar a carga microbiana. Como ele decompõe-se em oxigênio, é uma alternativa ambientalmente apropriada para oxidantes (www.o3r.com.br, acessado em 06/05/2014).

Um estudo está sendo realizado na fábrica com o objetivo viabilizar a utilização do ozônio no tratamento de efluentes e nas estações de CIP.

Para o tratamento do efluente industrial o ozônio deverá ser aplicado na rede de saída da fábrica, agindo como um pré-tratamento, reduzindo a carga orgânica e, conseqüentemente, minimizando o impacto na ETE. Os ganhos nesta área estarão relacionados à redução do consumo de produtos químicos e redução do consumo de energia elétrica nos equipamentos da ETE.

Nos processos de fabricação o ozônio poderá reduzir a utilização do CIP convencional, que necessita de produtos químicos e vapor para funcionar. Além da redução do consumo de produtos químicos, o maior ganho esperado está na redução do consumo de vapor, uma vez que ozônio deve ser utilizado na temperatura ambiente, não havendo a necessidade de aquecimento.

A utilização de ozônio para estas finalidades ainda está em desenvolvimento e algumas barreiras precisam ser vencidas. Certamente a maior dificuldade está no controle de uma

⁶ Sanitizante: tipo particular de desinfetante que reduz o número de contaminantes bacterianos para níveis relativamente seguros.

produção e utilização segura deste poderoso oxidante. No caso das estações de CIP, em que o ozônio pode entrar em contato com os produtos da fábrica, será necessário realizar uma análise abrangente, envolvendo diversas áreas da companhia, até mesmo a nível global, como Qualidade, Segurança Alimentar, Meio Ambiente, Pesquisa e Desenvolvimento, e o *DEW*.

8.9. Produção de biogás na ETE

Uma ideia antiga da fábrica de Poços de Caldas é a produção de biogás a partir da estação de tratamento de efluentes. A transformação desta ideia em projeto dependerá da conclusão da reforma e ampliação da ETE, que está prevista para o ano de 2015.

O biogás é uma mistura gasosa de dióxido de carbono com gás metano. A produção do biogás pode ocorrer naturalmente, por meio da ação de bactérias em materiais orgânicos tais como lixo doméstico orgânico, resíduos industriais de origem vegetal ou animal, esterco de animal, etc. O biogás também pode ser produzido de forma estimulada, em grandes escalas. Para tanto, utiliza-se um equipamento chamado biodigestor anaeróbico.

Caso este projeto se mostre viável na fábrica de Poços de Caldas, o biogás poderá ser utilizado para cogeração de energia elétrica, ou para a queima, em conjunto com a biomassa, para produção de vapor, na caldeira. Esta segunda opção é a mais provável, uma vez que a caldeira de biomassa foi fabricada com a opção de receber um queimador de gás; a complexidade operacional, neste caso, é muito mais simples e o valor do investimento é menor.

O principal ganho com a produção de biogás na fábrica será a redução do consumo e custo do combustível das caldeiras.

9. PROPOSTA DE “UPGRADING” DO SISTEMA DE GESTÃO DA ENERGIA NA FÁBRICA DA DANONE EM POÇOS DE CALDAS, VISANDO À CERTIFICAÇÃO PELA NORMA ISO 50001

9.1.A ISO

ISO é a sigla da Organização Internacional para a Normalização. Ela tem como membros mais de 160 organismos de normalização nacionais de grandes e pequenos países, industrializados, em desenvolvimento e em transição, em todas as regiões do mundo. O acervo da ISO, com mais de 18.600 normas, proporciona à comunidade empresarial, aos governos e à sociedade ferramentas práticas para as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, ambiental e social.

As normas da ISO facilitam os negócios, difundem o conhecimento, disseminam os avanços tecnológicos inovadores e compartilham boas práticas de gestão e avaliação da conformidade.

Estas normas oferecem soluções e beneficiam quase todos os setores de atividades, incluindo agricultura, construção, engenharia mecânica, manufatura, distribuição, transporte, equipamentos médicos, tecnologias de comunicação e informação, meio ambiente, energia, gestão da qualidade, avaliação da conformidade e serviços.

A ISO desenvolve somente normas para as quais há uma demanda clara de mercado. O trabalho é realizado por especialistas no assunto, envolvendo diretamente os setores comerciais e industriais que identificaram a necessidade da norma e que, posteriormente, irão usá-la. Esses especialistas podem se unir a outros com conhecimento relevante, tais como representantes de órgãos governamentais, laboratórios de ensaios, associações de consumidores, integrantes do meio acadêmico, e organismos governamentais e não governamentais internacionais. Uma norma internacional da ISO representa um consenso global sobre o estado da arte no assunto daquela norma (www.abnt.org.br, acessado em 06/05/2014).

9.2.A norma ISO 50001

A ISO 50001:2011, *Energy Management Systems – Requirements with guidance for use* é uma norma internacional voluntária desenvolvida pela ISO. Ela oferece às organizações os requisitos necessários para a instalação e operação de sistemas de gestão da energia.

A norma propõe uma estrutura para que instalações industriais, comerciais, institucionais e governamentais façam gestão da energia. Ela está baseada em um modelo de sistema de gestão que já é compreendido e implementado por organizações ao redor do mundo.

A ISO 50001 fornece às organizações do setor público e privado estratégias de gestão para aumentar a eficiência energética, reduzir custos e melhorar o desempenho energético.

As empresas multinacionais tem acesso a uma norma única e harmonizada para a aplicação de uma metodologia lógica e consistente de identificação e implementação de melhorias.

A norma destina-se a (www.abnt.org.br, acessado em 06/05/2014):

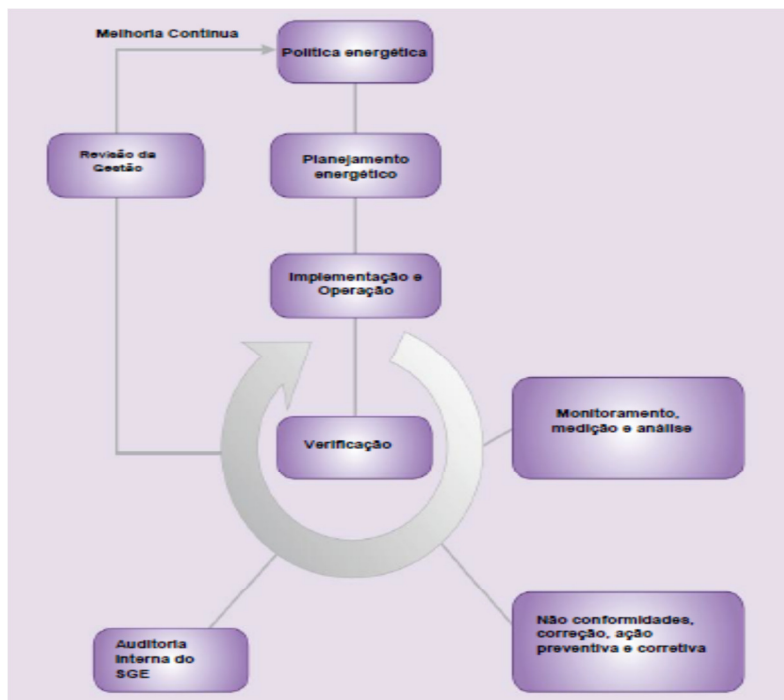
- Auxiliar as organizações a fazer um melhor uso de seus bens de consumo de energia;
- Criar transparência e facilitar a comunicação na gestão de recursos energéticos;
- Promover as melhores práticas de gestão de energia e reforçar os bons comportamentos de gestão de energia;
- Auxiliar as organizações na avaliação e priorização da implementação de tecnologias eficazes de energia;
- Fornecer uma estrutura para promover a eficiência energética em toda a cadeia de fornecimento;
- Facilitar a melhoria da gestão da energia para projetos de emissão de gases do efeito estufa;
- Permitir a integração com outros sistemas de gestão organizacional, tais como ambiental, de saúde e segurança.

A ISO 50001 está baseada no modelo do sistema de gestão da ISO familiar a mais de um milhão de organizações ao redor do mundo, que implementam normas tais como a ISO 9001 (Gestão da Qualidade), ISO 14001 (Gestão Ambiental), ISO 22000 (Segurança Alimentar) e ISO/IEC 27001 (Segurança da Informação).

Em particular, a ISO 50001 segue o processo Planejar – Fazer – Verificar – Agir, para melhoria contínua do sistema de gestão da energia (SGE). Esta abordagem pode ser brevemente descrita da seguinte forma:

- **Planejar:** conduzir uma revisão energética e estabelecer uma linha de base, indicadores de desempenho energético, objetivos, metas e planos de ações necessários para produzir resultados de acordo com as oportunidades de melhoria do desempenho energético e da política energética da organização;
- **Fazer:** implementar os planos de ação de gestão da energia;
- **Verificar:** monitorar e mensurar os processos e as características chave de suas operações que determinem o desempenho energético vis-à-vis a política energética e objetivos, e relatar os resultados;
- **Agir:** adotar ações para a melhoria contínua do desempenho energético e do SGE.

A base desta abordagem está ilustrada na Figura 9.1.



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas - www.abnt.org.br, acessado em 06/05/2014

Figura 9.1: Modelo de sistema de gestão da energia

Essas características permitem que as organizações integrem a gestão da energia aos seus esforços gerais, objetivando melhorar a qualidade, a gestão ambiental e outros desafios que surgem em seus sistemas de gestão.

A ISO 50001 fornece uma estrutura de requisitos, permitindo que as organizações:

- Desenvolvam uma política mais eficaz com relação ao uso de energia;
- Estabeleçam metas e objetivos para atender a essa política;
- Utilizem dados para compreender melhor e tomar decisões com relação ao uso e consumo de energia;
- Façam a medição dos resultados;
- Revisem a eficácia da sua política; e
- Obtenham melhoria contínua na gestão da energia.

A norma não determina metas para a melhoria de desempenho energético, que fica a cargo da organização. Isto significa que qualquer organização, independentemente de seu atual domínio de gestão da energia, pode implementar a ISO 50001 para estabelecer uma linha de base e melhorá-la em um ritmo adequado ao seu contexto e capacidade.

Como todas as normas de sistema de gestão da ISO, a ISO 50001 pode ser implementada unicamente pelos benefícios internos e externos que ela fornece às organizações e a seus clientes e acionistas. A certificação, por um auditor independente, da conformidade com o sistema de gestão da energia da ISO 50001 não é uma exigência da norma. Certificar ou não certificar é uma decisão a ser tomada pelo usuário da ISO 50001, a menos que isso seja imposto por regulamentação (www.abnt.org.br, acessado em 06/05/2014).

9.3.Implantação de um sistema de gestão da energia padronizado pelo Grupo Danone

Como todo sistema de gestão, o SGE também necessita ser melhorado continuamente. Com essa visão, o Grupo Danone, em nível global, está desenvolvendo uma padronização a ser aplicada em todas as suas fábricas. O objetivo é manter padrões comuns de medição, de tratamento das informações, de relatórios e gráficos dos indicadores de consumo de energia.

Uma outra necessidade importante de melhoria no SGE da fábrica de Poços de Caldas é a implantação de medições setoriais dos processos consumidores de eletricidade, vapor, ar comprimido e refrigeração. Atualmente, o consumo e o custo da energia utilizada na fábrica são facilmente monitorados, porém, quando ocorre um desvio acentuado, há uma grande dificuldade em se identificar as causas. No momento, o sucesso de uma análise depende muito do conhecimento, experiência e disponibilidade de algumas pessoas da fábrica. É importante desenvolver o SGE para torná-lo mais automatizado, prático e confiável, a fim de que a fábrica obtenha uma resposta mais rápida para atuar nos desvios ocorridos.

É desejável, também, se levantar a curva de carga e o consumo de energia por processo, para se obter maior confiabilidade no cálculo do custo de produção de cada produto, conforme comentado na seção 8.4.

No ano de 2013 o Grupo Danone promoveu várias discussões entre seus especialistas em energia visando a adoção futura de um sistema único de monitoramento e análise na gestão da energia. Estão sendo implantados dois projetos pilotos, a serem replicados para as demais fábricas nos próximos anos. O nome adotado pela companhia para o sistema é *UPMS – Utilities Performance and Monitoring System*. Foi escolhido um fornecedor e realizado um acordo corporativo para a implantação do sistema nas fábricas da Danone.

Nesse momento, cabe à administração de cada fábrica decidir pela implantação do *UPMS*; no futuro, porém, todas as fábricas do Grupo Danone deverão adotá-lo. Por isso, a recomendação é que a fábrica de Poços de Caldas promova a realização deste projeto piloto em 2014. A Figura 9.2 ilustra a estrutura do *UPMS*.

Com base nas experiências internas da fábrica da Danone em Poços de Caldas e do *DEW*, bem como na experiência do fornecedor do sistema, adquirido através da implantação de sistemas similares em outras companhias, a implantação da *UPMS* com este fornecedor será considerada viável economicamente se ela proporcionar uma redução de 7% no consumo específico de energia da fábrica.



Fonte: DEW – Danone Engineering Worldwide

Figura 9.2: Estrutura do novo sistema de gestão da energia padronizado pelo Grupo Danone

9.4.Adequação do sistema de gestão da energia da Danone com a ISO 50001

Em função da crescente importância do tema “energia” em todo o mundo, existe uma forte tendência de que a ISO 50001 se torne cada vez mais uma necessidade e uma realidade em empresas públicas e privadas, assim como em outras áreas organizacionais.

Como diversas empresas multinacionais, o Grupo Danone já vem analisando as necessidades e solicitando que as suas fábricas iniciem um processo de adequação e preparação para implantar esta norma internacional. Em 2014 a implantação da ISO 50001 ainda está sendo tratada como opcional para cada fábrica, mas nos próximos anos o Grupo deve tratar este tema como obrigatório para as suas unidades de fabricação.

Antes de planejar a implantação da ISO 50001, a empresa está recomendando a evolução e padronização dos SGEs de suas fábricas, e, alinhada com esta realidade, a fábrica de Poços de Caldas deve implantar brevemente o *UPMS*.

É muito provável que, no início, a fábrica de Poços de Caldas opte por implantar a ISO 50001 sem sua certificação através de um órgão certificador oficial. Algumas pessoas-chaves devem ser designadas para cuidar deste processo como auditores internos. Certamente no futuro a

fábrica buscará a certificação, beneficiando-se com a experiência adquirida pelos envolvidos durante o período inicial dos trabalhos.

10.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1.Conclusões

Este trabalho relata os ganhos obtidos com a implantação de um Sistema de Gestão da Energia (SGE) em uma fábrica de laticínios. Esta estória de sucesso mostra que é necessário se adotar uma metodologia de gerenciamento e que um SGE pode ser implantado inicialmente de forma simples, mas que é preciso promover um processo de melhoria contínua para adequação do sistema às mudanças ocorridas na empresa.

Uma contribuição original da dissertação é a apresentação e discussão dos resultados atingidos através da implantação de um SGE em uma empresa multinacional. Observa-se, neste estudo de caso, que, nos primeiros anos após a implantação do sistema, houveram reduções acentuadas do consumo de energia, mas que, com o passar do tempo, estas reduções foram se tornando mais discretas e, em um ano, houve até um aumento no consumo. Este tipo de situação, muito comum também em outras instalações industriais, é explicado pelo fato de que, nos primeiros anos de funcionamento do SGE foram identificados projetos de baixo custo de execução e alto retorno do investimento, e, no ano de 2011, a fábrica partiu um processo industrial com alto consumo de vapor, o que influenciou negativamente o consumo energético específico da instalação.

No trabalho também há a conceituação e discussões sobre diagnósticos energéticos, *benchmarking* e potenciais de ganhos em eficiência energética, e se destaca a necessidade de busca de melhorias e ampliações na atual estrutura do SGE, utilizando-se o padrão UPMS, recentemente adotado pelo Grupo Danone. Isto será fundamental para se poder identificar melhor e mais rapidamente os desvios entre as metas e o realizado, e se adotar ações de controle para garantir a continuidade das reduções dos consumos energéticos específicos alcançados pela fábrica desde a implantação de seu SGE.

Uma outra contribuição original da dissertação é a apresentação de um caso real, em que foi possível somar o conhecimento prático obtido durante vários anos de experiência em uma fábrica de laticínios, com o conhecimento teórico adquirido durante o período de estudos e

desenvolvimento da dissertação de mestrado. Nesse caso, existem três partes principais ganhando com o desenvolvimento do trabalho:

- **O mestrando:** que aumentou seu nível de conhecimento através do desenvolvimento do trabalho acadêmico, do ensinamento oferecido pelos professores do curso, da convivência com outros alunos e pesquisadores da área de planejamento energético, e através do contato com novos conceitos, técnicas e metodologias. A bagagem absorvida durante o curso de mestrado foi bastante alta, o que deixa o mestrando mais fortalecido, em termos de conhecimento sobre as técnicas aplicadas à gestão da energia;
- **A universidade** e o meio acadêmico, de uma forma geral: que recebe muitas informações baseadas em situações reais, que, por motivo de políticas internas, normalmente não são divulgadas pelas empresas. Estas informações servem para comprovar os resultados obtidos através da aplicação de diversas metodologias de análise e poderão ser utilizadas como referências para o desenvolvimento de trabalhos futuros; e
- **A empresa:** que recebe uma cópia da dissertação, onde todo o trabalho de implantação e evolução do SGE está descrito, contendo um alto nível de detalhes, que servirá de base para disseminação deste conhecimento para outros funcionários. É uma forma de se consolidar resultados e de se manter vivo o tema eficiência energética na empresa. Um importante trabalho, o projeto de recuperação de calor dos processos, foi desenvolvido e implantado durante o curso de mestrado. Várias outras ideias são sugeridas nesta dissertação e, certamente, as que se mostrarem atrativas financeiramente serão transformadas em projetos, a serem aplicados na fábrica de Poços de Caldas e, até mesmo, em outras unidades do Grupo Danone. A chance de sucesso na realização destes projetos será muito maior do que nos projetos passados, em função da aplicação dos conhecimentos adquiridos no mestrado e apresentados na dissertação. Por fim, existe um ganho muito alto para a imagem da Danone perante a sociedade, uma vez que esta empresa está à frente de suas concorrentes também no tema gestão da energia, e se concretiza como referência a ser seguida através da publicação deste trabalho.

A intensão do autor é que, após a sua publicação, esta dissertação desperte o interesse e seja utilizada por outras empresas de vários segmentos industriais e, assim, a soma dos resultados poderá contribuir para a minimização da necessidade de investimentos em infraestrutura para o fornecimento de energia. Esta situação possibilitará que o governo aplique os investimentos

evitados na área de energia, em setores que possam promover outros benefícios para a sociedade, tais como saúde, segurança e, principalmente, educação.

Durante o curso de mestrado surgiu a oportunidade de participar da realização do Projeto Eficind, situação que também proporcionou uma contribuição mútua entre o mestrando, a universidade e a empresa. A aplicação do questionário de pré-diagnóstico na fábrica de Poços de Caldas trouxe para a equipe do Projeto Eficind informações reais de uma instalação industrial, bem como recomendações e sugestões de melhorias no questionário. Estas sugestões contribuíram para significativas adequações no formato do questionário, fazendo com que este se tornasse mais fácil e prático para ser aplicado em outras empresas de diversos segmentos industriais. Por outro lado, a Danone recebeu o relatório do pré-diagnóstico, que orientou para a necessidade de se realizar diagnósticos energéticos mais completos e estudos de otimização energética em algumas áreas, que certamente promoverão a continuidade da redução do consumo energético específico da fábrica.

Esta dissertação apresenta vários trabalhos realizados desde o início da implantação do SGE, no ano de 2006, que promoveram uma grande redução no consumo energético específico da fábrica. No ano de 2005 o consumo energético específico era de 521 kWh/ton e, após vários anos de trabalho, em 2013 este número estava em 311 kWh/ton, o que representa uma redução de mais de 40%. A meta global estabelecida pela companhia para 2020 é de 250 kWh/ton; isto mostra que ainda existem muitos trabalhos a serem realizados e muitos desafios a serem vencidos nos próximos anos.

O atendimento da meta proposta para 2020 dependerá, entre outras ações, da implementação das medidas sugeridas no capítulo 8 desta dissertação, da evolução do SGE para o UPMS e da implantação da ISO 50001 na empresa.

10.2. Recomendações

Apesar do tema desta dissertação ser específico para o segmento de laticínios e alinhado com a realidade da fábrica objeto de estudo, a maior parte do trabalho nela contido pode ser

utilizado para aplicação em outras empresas de diversos segmentos industriais, sobretudo da indústria de alimentos e bebidas.

Uma outra recomendação para quem desejar partir desta dissertação para a realização de seus trabalhos é o mapeamento e análise das oportunidades de inovação tecnológica, conforme mencionadas no capítulo 8. Certamente os projetos de inovação tecnológica, ou mudança de tecnologia serão a solução para promover maiores ganhos de eficiência energética na indústria de laticínios e em outros setores que dependem da utilização da energia como um item indispensável para a continuidade de suas operações.

11.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO, **O que é uma ESCO?** Disponível em <http://www.abesco.com.br/abesc.asp?area=15>. Acesso em 17/11/2013.

ABIA, **Indústria da Alimentação - Balanço anual 2012 e perspectivas para 2013.** Disponível em http://www.abia.org.br/vs/vs_conteudo.aspx?id=230. Acesso em 22/06/2013.

ABNT. **Vença o desafio da energia com a ISO 50001.** Disponível em http://www.abnt.org.br/m3.asp?cod_pagina=1077. Acesso em 6 de maio de 2014.

ABRALISO. **Lãs minerais.** Disponível em http://www.abraliso.org.br/las_minerais.html. Acessado em 5 de fevereiro de 2014.

ADMINISTRADORES. **Matriz de priorização.** Disponível em <http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/matriz-de-priorizacao/25080/>. Acesso em 3 de maio de 2014.

AQUAFIL. **Desaeradores térmicos.** Disponível em <http://www.aquafil.com.br/desae.htm>. Acesso em 15 de fevereiro de 2014.

ATLAS COPCO. **Reproveite a sua energia.** Disponível em <http://www.atlascopco.com/useyourenergytwiceptbr/downloads/brochure/>. Acesso em 18 de janeiro de 2014.

BAJAY, S. V. **Conservação de energia – Conceitos (apresentação de slides em Aula no primeiro semestre de 2011 do curso PE103 – “Demanda e Conservação de Energéticos” do programa de Mestrado de Planejamento de Sistemas Energéticos).** Campinas: Universidade Estadual de Campinas 2011.

BROWN, H. L.; HAMEL, B. B.; HEDMAN, B. A. **Energy analysis of 108 industrial processes.** Atlanta: Fairmont Press, 1985.

CAMPOS, V. F.; **Gerenciamento pelas diretrizes.** Nova Lima – MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

CENTRIPAR. **Centrifuga Separadora – Conceito Básico.** Disponível em <http://www.centripar.com.br/tag/centrifugas-mausa/>, acesso em 16 de julho de 2014.

DANONE. **A presença global da Danone.** Disponível em <http://www.danone.com.br/a-danone/presenca-global/>. Acesso em 9 de novembro de 2013.

EDRA DO BRASIL. **Torres de resfriamento: como funcionam?** Disponível em <http://edradobrasil.wordpress.com/2013/03/12/torres-de-resfriamento-como-funcionam/>. Acesso em 16 de fevereiro de 2014.

EINSTEIN, D.; WORRELL, E.; KHRUSHCH, M. **Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials.** Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. Disponível em <http://escholarship.org/uc/item/3m1781f1>. Acesso em 25 de março de 2014.

EPE/MME. **“Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012”.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2013.

DINIEPER. **Processo de termoformagem.** Disponível em <http://www.dinieper.com.br/maqTermo.html#processo>. Acesso em 5 de outubro de 2013.

FERREMANETAS DE NEGÓCIOS. **Matriz de priorização.** Disponível em <http://ferramentas-de-negocios.wikispaces.com/Matriz+de+Prioriza%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em 3 de maio de 2014.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

HOT TOPOS, **Conhecendo os trocadores de calor a placas.** Disponível em <http://www.hottopos.com/regeq11/gut.htm>. Acesso em 23 de fevereiro de 2014.

MADEF, **Extrator de Ar Automático.** Disponível em http://www.madef.com.br/equipamentos_arquivos/extrator.pdf. Acesso em 23 de fevereiro de 2014.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** Itajubá: Eletrobrás/Procel Educação e Universidade Federal de Itajubá/FUPAI, 2006.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; GUARDIA, E. C. **Eficiência Energética: Teoria & Prática.** Itajubá, MG: FUPAI, 2007.

MONTEIRO, M. A. G.; ROCHA, L. R. R.; **Gestão energética.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

O3R. **Sobre o ozônio.** Disponível em <http://www.o3r.com.br/sobre-o-ozonio/historia/>. Acesso em 3 de maio de 2014.

O ESTADÃO. **Danone projeta alcançar faturamento de R\$ 2 bi no Brasil em 2013.** Disponível em <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios-geral,danone-projeta-alcancar-faturamento-de-r-2-bi-no-brasil-em-2013,131076,0.htm>. Publicado em 17/10/2012.

PADILHA, J. V. **Iluminação Industrial – Alternativas para Melhorar a Sua Eficiência Energética e Facilitar a Manutenção.** Revista Lumière Electric, nº 157, p. 102-108, 2011.

REVISTA ABRIL, **Homogeneização do leite.** Disponível em <http://revistaescola.abril.com.br/ensino-medio/saude-aos-bezerros-530337.shtml>. Acesso em 29/09/2013.

REVISTA LUMIÈRE ELECTRIC. **Iluminação industrial – Alternativas para melhorar a sua eficiência energética e facilitar a manutenção.** Edição nº 157 em 05/2011.

ROCHA, C. R.; BAJAY S.; GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: alimentos e bebidas.** Brasília: CNI, 2010.

ROCHA, N. R.; MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

ROSSI, L. A.; BAJAY, S. V.; PEREIRA, J. T. V.; GALLO, W. L. R.; BERNI, M. D.; SANT'ANA, P. H. M.; ESPÍRITO SANTO, D. B.; MELLO, G.; MATHIAS, F.R.C.; BORDONI, O. F. J. G.; SILVA, R. R. **Caracterização setorial preliminar dos segmentos selecionados dos setores industrial e de serviços em nível nacional, Relatório da Meta Física 4 – Atividade 1,**

Projeto Eficind: Estudo de prospecção de potencial para a eficiência energética. Convênio Unicamp (NIPE) / FINEP, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, Campinas, SP, agosto de 2013, 242 p.

SPX. Homogeneizadores de alta pressão. Disponível em <http://www.spx.com/en/apv/pc-homogenizers/>. Acesso em 29/09/2013.

SPX. Trocador de calor de placas planas fabricado pela APV. Disponível em <http://www.spx.com/en/apv/pc-heat-exchangers/>. Acesso em 03/10/2013.

TETRA PACK PROCESSING SYSTEMS AB. Dairy processing handbook. Lund, Sweden: Teknotex, 1995.

THUMANN, A.; NIEHUS, T.; YOUNGER, W. J. Handbook of energy audits. Lilburn: published by The Fairmont Press, Inc., 2013.

TLV. Purgadores de vapor. Disponível em <http://www.tlv.com/global/BR/products/080000.html>, acessado em 05/02/2014.

UFSCAR. Curva de desenvolvimento simbiótico da cultura lática durante a fermentação do iogurte. Disponível em www.cca.ufscar.br/espacobiotec/temas2.htm. Acesso em 04/10/2013.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J.; Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial a comercial – Manual prático. Itajubá: Eletrobrás/Procel e Consórcio Efficientia/Fupai, 2005.

WANG, L. Energy efficiency and management in food processing facilities. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009.

ANEXO A – Relatório pré-diagnóstico energético

Síntese dos indicadores de pré-diagnóstico energético

Instalação Industrial

Firma ou razão social	Danone Brasil Ltda
Contato	
Nome	Paulo Cesar Silva
Telefone	(35) 8416.6120 / 3729.7881
E-mail	paulo.silva@danone.com

Consumos Totais, Específicos e Excedentes

Água

Consumo total de água da instalação	120000	m³/mês
Consumo específico - água	3,428571429	m³/ ton

Energéticos

Consumo energético mensal

	Eletricidade*	Combustíveis	TOTAL
	16.192	23.100	39.292 GJ
	4.500,00	6.419,65	10.919,65 MWh
	41%	59%	100% PARCELA

Consumos específicos de energéticos (resumo)

	GJ/ton	MWh/ton	PARCELA
Eletricidade*	0,4626	0,1286	41%
Combustíveis	0,6600	0,1834	59%
TOTAL	1,1226	0,3120	100%

* 860 kcal/kWh (BEN, 2012)

Sistemas Consumidores de Energia

Motores Elétricos

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam um nível médio de otimização e que podem haver potenciais de economia com energia

Idade média dos equipamentos

8,0 anos

Eficiência de placa (projeto)

O nível de eficiência informado demonstra potenciais de economia perante os motores mais modernos do mercado.

Recomenda-se uma análise técnico-econômica dos equipamentos da(s) faixa(s):

Acima de 100 cv

De 30 a 100 cv

Calor de processo (vapor e/ou fluido térmico)

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam que o sistema está relativamente otimizado, mas análises mais profundas podem indicar potenciais de economia de energia

Alertas ou recomendações:

Os refratários e isolamento térmico externo dos geradores de vapor têm relação direta com a economia de combustível no sistema.

O isolamento térmico externo das linhas e seus acessórios (válvulas, curvas e outros) de distribuição de vapor têm relação direta com a economia de combustível do sistema.

Refrigeração (excluindo ar condicionado)

Percentual de perguntas respondidas

126%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam potenciais de economia de energia.

Alertas ou recomendações:

Equipamentos com cargas térmicas podem apresentar significativos ganhos em análises detalhadas das demandas e condições dos equipamentos envolvidos. Recomenda-se esse tipo de análise em sistemas de significativos custos de operação.

Pela idade média dos equipamentos, recomenda-se uma análise técnico-econômica dos mesmos, quanto a possíveis substituições ou modernizações

Equipamentos que atendam a flutuação de demanda por refrigeração apresentam potenciais atrativos de economia de energia com a instalação de sistemas de controle, como os inversores de frequência

Resfriamento (torres e tanques de resfriamento)

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam um nível médio de otimização e que podem haver potenciais de economia com energia

Alertas ou recomendações:

O monitoramento de parâmetros ambientais e da água em resfriamento nas torres podem otimizar a operação de ventiladores e bombas do sistema, reduzindo o consumo de energéticos.

Ar condicionado

CENTRAL

Percentual de perguntas respondidas

29%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam um nível médio de otimização e que podem haver potenciais de economia com energia

* Não está sendo avaliada a opção por sistemas mais eficientes, nesse caso.

Iluminação

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam um nível médio de otimização e que podem haver potenciais de economia com energia

Ar comprimido

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam que o sistema está relativamente otimizado, mas análises mais profundas podem indicar potenciais de economia de energia

Alertas ou recomendações:

Sistemas de bombeamento

Percentual de perguntas respondidas

71%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam que o sistema está relativamente otimizado, mas análises mais profundas podem indicar potenciais de economia de energia

Idade Média dos equipamentos

8,0 anos

Alertas ou recomendações:

Sistemas de vácuo

Percentual de perguntas respondidas

100%

Avaliação preliminar

Os dados fornecidos pelas respostas ao questionário indicam um nível médio de otimização e que podem haver potenciais de economia com energia

Idade Média dos equipamentos

13,5 anos

Alertas ou recomendações:

A escolha por bombas de vácuo mais eficientes pode representar uma economia no custo de energia que viabiliza sua compra, apesar de um pouco mais caros. Recomenda-se considerar esse parâmetro (eficiência) junto com o custo de investimento.