



**FLÁVIO ROBERTO DE CARVALHO MATHIAS**

# **Diagnóstico Energético e Gestão da Energia em uma Planta Petroquímica de Primeira Geração**

**36/2014**

**CAMPINAS  
2014**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

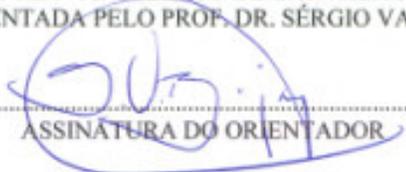
**FLÁVIO ROBERTO DE CARVALHO MATHIAS**

# **Diagnóstico Energético e Gestão da Energia em uma Planta Petroquímica de Primeira Geração**

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

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO  
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO  
ALUNO FLÁVIO ROBERTO DE CARVALHO MATHIAS  
E ORIENTADA PELO PROF. DR. SÉRGIO 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

M426d Mathias, Flávio Roberto de Carvalho, 1962-  
Diagnóstico energético e gestão da energia em uma planta petroquímica de primeira geração / Flávio Roberto de Carvalho Mathias. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

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

1. Indústria petroquímica. 2. Análise energética. 3. Eficiência energética. 4. Conservação de energia. 5. Consumo de energia. 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 assessments and energy management in a first generation of petrochemical plant

**Palavras-chave em inglês:**

Petrochemical industry

Energy analysis

Energy efficiency

Energy conservation

Energy consumption

**Área de concentração:** Planejamento de Sistemas Energéticos

**Titulação:** Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

**Banca examinadora:**

Sérgio Valdir Bajay [Orientador]

Waldyr Luiz Ribeiro Gallo

Luiz Augusto Horta Nogueira

**Data de defesa:** 10-03-2014

**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**

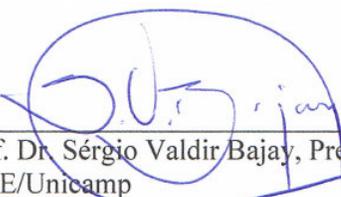
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO**

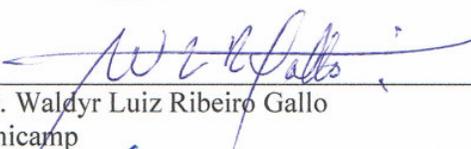
**Diagnóstico Energético e Gestão da Energia em  
uma Planta Petroquímica de  
Primeira Geração**

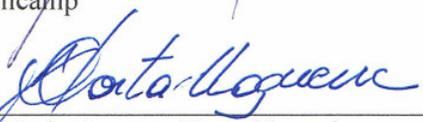
Autor: Flávio Roberto de Carvalho Mathias

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay, Presidente  
NIPE/Unicamp

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Waldyr Luiz Ribeiro Gallo  
FEM/Unicamp

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira  
UNIFEI

Campinas, 10 de março de 2014.

## **Dedicatória**

Ao meu Deus por me conceder condições intelectuais, físicas e emocionais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa Andrea que acreditou em meus ideais e me apoiou nesta jornada, agradeço o incentivo e compartilho com ela esta conquista.

Aos meus pais Mathias e Neverita, pelo exemplo de vida, dedicação e o investimento na educação dos filhos, e aos meus irmãos Carlos e Cláudia pela presença constante e o apoio em todos os períodos da minha vida.

## Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o auxílio de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao prof. Dr. Sergio Valdir Bajay por aceitar me orientar durante o curso e a sua dedicação ao compartilhar os conhecimentos sobre planejamento, gestão da energia e eficiência energética.

Ao prof. Dr. Waldyr Luiz Ribeiro Gallo e ao prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

Outros profissionais e instituições:

- Ao Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE): Prof. Dr. Luiz Antônio Rossi (Coordenador do projeto Eficind) e aos pesquisadores Dr. Mauro Donizete Berni e Dr. Orlando Frederico José Godoy Bordoni;
- Aos líderes Nelson Watanabe pela liberação e o apoio para iniciar o curso de mestrado, e Paulo Miotto pelo convite e a confiança depositada para participar do diagnóstico energético na UNIB 3 ABC;
- Aos amigos integrantes da Braskem que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração desse trabalho;
- Aos amigos do curso e também engenheiros: Everson Odilson de Moraes, Leandro Cesini, Paulo César Silva e ao mestre Rafael Rodrigues da Silva pela cooperação e o incentivo para a conclusão do curso;
- Ao CNPq, pela bolsa de estudos oferecida;
- À Unicamp, em especial aos professores e funcionários da pós-graduação da FEM e do NIPE.

*“Eu caminhei essa longa estrada para a liberdade. Mas eu descobri que depois de escalar uma grande montanha, há outras montanhas a serem vencidas. Eu descansei por um instante para apreciar a incrível vista que me cercava. Olhei para trás e vi a distância que percorri. Mas só posso descansar por um momento. Porque com a liberdade vêm outras responsabilidades. E sequer me atrevo a demorar a continuar. A minha caminhada ainda não terminou...”*

*... “Se vamos realizar qualquer coisa neste mundo, ela será devida em igual medida ao trabalho e às realizações dos outros”*

*Nelson Mandela*

## Resumo

A implantação de um eficiente sistema de gestão da energia é um desafio recente para a maior parte das empresas industriais no Brasil. Neste trabalho, os conceitos de diagnósticos energéticos e sua aplicação em sistemas de gestão de energia na indústria são revisados e se propõe diretrizes para o seu emprego em uma unidade petroquímica de insumos básicos da Braskem, a mais antiga no Brasil. Foi calculado um potencial técnico médio de conservação de energia, no período entre 2009 e 2012, de 36,4% para esta unidade. Indicadores de desempenho energético são discutidos e oportunidades de ganhos de eficiência energética nesta unidade são apresentadas para os seguintes usos finais da energia/equipamentos: calor de processo, aquecimento direto, força motriz, sistemas de bombeamento e sistemas de ar comprimido. Um diagnóstico energético realizado nesta unidade em 2012, com a participação do autor desta dissertação, propiciou a detecção destas oportunidades. As propostas que visam à obtenção de avanços no atual sistema de gestão energética desta unidade da Braskem tem como balizadores o princípio de desenvolvimento empresarial sustentável e a perspectiva de um credenciamento futuro do sistema de gestão da energia pela norma ISO 50.001.

*Palavras Chave:* Indústria petroquímica; Análise energética; Eficiência energética; Conservação de energia; Consumo de energia.

## **Abstract**

Setting-up an efficient energy management system is a recent challenge for most of the industrial companies in Brazil. The concepts of energy assessments and their application in industrial energy management systems are reviewed in this work and directives are proposed for they use in a petrochemical unit of Braskem that produces basic chemicals, the oldest in Brazil. An average technical energy conservation potential of 36.4% during the period between 2009 and 2012 was calculated for this unit. Energy performance indicators are discussed and opportunities for energy efficiency gains in this unit are presented for the following energy end-uses/equipment: process heat, including steam systems and furnaces/chemical reactors, power, pumping systems and compressed air systems. An energy assessment carried out at this plant in 2012, with the participation of this thesis' author, provided the chance for detecting these opportunities. The proposals aiming at obtaining advances in the current energy management system at this unit of Braskem are guided by the principle of a sustainable corporate development and by the perspective of a future certification of the plant's energy management system by the ISO 50.001 standard.

Keywords: Petrochemical industry; Energy analysis; Energy efficiency; Energy conservation; Energy consumption.

## Lista de Ilustrações

Figura 2.1 - Distribuição percentual do consumo de energia primária no Brasil por setor em 2012.....	15
Figura 2.2 - Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria brasileira, de 1973 a 2012.....	15
Figura 2.3 - Consumo final de energia dos maiores segmentos consumidores da indústria brasileira, de 1970 a 2012 .....	16
Figura 2.4 - Custo de energéticos utilizados na indústria brasileira, de 2003 a 2012.....	17
Figura 2.5 - Fluxo de energia simplificado em uma instalação industrial genérica.....	18
Figura 2.6 - Processo de gestão energética .....	22
Figura 3.1 - Faturamento líquido, exportações e importações da indústria química brasileira, de 1990 a 2012 .....	30
Figura 3.2- Estrutura da indústria petroquímica brasileira em 2011.....	36
Figura 3.3 - Produção e consumo de petróleo no Brasil, de 1975 a 2012.....	37
Figura 3.4 - Estrutura simplificada das gerações petroquímicas .....	38
Figura 3.5 - Fluxo simplificado da cadeia produtiva petroquímica .....	39
Figura 3.6 - Capacidade de produção de eteno, eteno verde e resinas, da Braskem, de 2002 a 2012.....	43
Figura 3.7 - Vista aérea da UNIB 3 – ABC .....	49
Figura 3.8 - Produtos, produção e matriz energética da UNIB 3 ABC.....	51
Figura 3.9 - Etapas do processo de produção de etileno a partir da nafta.....	53
Figura 3.10 - “Área quente” na UNIB 3 ABC .....	53
Figura 3.11 – “Área de compressão” na UNIB 3 ABC .....	54
Figura 3.12 - “Área fria” na UNIB 3 ABC .....	54
Figura 3.13 - Geração e consumo de eletricidade e de vapor típicos na planta de craqueamento a vapor da UNIB 3 ABC.....	56

Figura 4.1 - Distribuição dos fluxos de combustíveis, vapor e eletricidade na indústria química mundial.....	59
Figura 4.2 - Consumos energéticos específicos, em GJ/t, de centrais petroquímicas produtoras de etileno e coprodutos, por países e regiões selecionadas.....	62
Figura 4.3 - Matriz energética da Braskem.....	65
Figura 5.1 - Rendimentos de produtos petroquímicos obtidos em um cracker: nafta vs. etano como matéria-prima.....	70
Figura 5.2 - Custo de produção de eteno, de 2006 a 2012: nafta vs. etano como matéria-prima .....	71
Figura 5.3 - Esquema da produção de produtos petroquímicos básicos .....	73
Figura 5.4 - Diagrama de blocos de uma unidade de pirólise de cargas líquidas .....	74
Figura 5.5 - Visão geral da produção de uma central de petroquímicos básicos .....	75
Figura 5.6 - Sistema de tratamento de água em uma UNIB .....	78
Figura 5.7 - Representação esquemática de uma caldeira aquatubular.....	80
Figura 5.8 - Representação esquemática de um sistema de distribuição de vapor .....	80
Figura 5.9 - Representação esquemática dos fluxos e dos componentes de uma coluna de destilação.....	83
Figura 5.10 - Funcionamento de um sistema de resfriamento industrial .....	85
Figura 5.11 - Representação esquemática de um forno tubular .....	86
Figura 5.12 - Sistema de segurança, alívio de pressão e <i>flare</i> .....	89
Figura 5.13 - Representação esquemática de sistema típico de ar comprimido.....	97
Figura 5.14- Sistema de acionamento com motor elétrico, variador eletrônico de velocidade e transmissão mecânica.....	100
Figura 5.15- Distribuição de perdas na geração e distribuição de vapor .....	104
Figura 5.16 - Fluxo de energia típico de um forno .....	106
Figura 5.17 - Sistema integrado de automação e controle da produção.....	108
Figura 5.18 - Equipe que participou do diagnóstico energético na UNIB ABC em 2012. ....	115
Figura 6.1 - Modelo de sistema de gestão da energia, segundo a norma ISO 50.001 .....	123
Figura 6.2- Representação conceitual de desempenho energético.....	124

Figura 6.3 - Processo de certificação do SGE pela ISO 50.001.....	125
Figura 6.4 - Normas complementares da série ISO 50.000 .....	126
Figura 6.5 - Um sistema integrado de gestão.....	127

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação entre perda e desperdício de energia.....	9
Tabela 2.2 - Barreiras encontradas na realização de programas de eficiência energética nos países em desenvolvimento.....	11
Tabela 2.3 - Ações para superar as barreiras e promover a eficiência energética .....	12
Tabela 2.4 – Objetivos das políticas públicas de fomento à eficiência energética .....	13
Tabela 2.5 - Potenciais técnicos de conservação de energia nos maiores segmentos consumidores de energia da indústria brasileira .....	19
Tabela 3.1 - Divisão 20: Produtos químicos da CNAE 2.0 .....	28
Tabela 3.2 - Divisão 21: Produtos farmoquímicos e farmacêuticos da CNAE 2.0.....	28
Tabela 3.3 - Faturamento líquido da indústria química brasileira em 2013 .....	29
Tabela 3.4 - Indicadores de gestão de recursos naturais no setor industrial brasileiro em 2010.....	31
Tabela 3.5 - Indicadores de gestão ambiental na indústria química, de 2007 a 2011 .....	32
Tabela 3.6 - Indicadores de desempenho do programa Atuação Responsável, da ABIQUIM, de 2006 a 2012 .....	33
Tabela 3.7 - Número de eventos de segurança de processo na indústria química brasileira, de 2006 a 2012 .....	34
Tabela 3.8 - Eventos marcantes na evolução da participação do Grupo Odebrecht na indústria Petroquímica no Brasil.....	41
Tabela 3.9 - Resultados econômicos da Braskem de 2010 a 2012 .....	42
Tabela 3.10 - Tabela 3.10 – Estatística da capacidade de produção e a produção de eteno das UNIBs .....	43
Tabela 3.11 - Internacionalização da Braskem .....	44
Tabela 3.12 - Posição da Braskem no ranking mundial das indústrias químicas .....	45
Tabela 3.13 - Macro objetivos para um gerenciamento sustentável na Braskem .....	47

Tabela 4.1 - Consumos energéticos específicos, em GJ/t, para se produzir eteno a partir do etano e a partir da nafta, utilizando as melhores tecnologias disponíveis no mercado.....	60
Tabela 4.2 - Distribuição do consumo de energia pelas etapas do processo de fabricação de eteno, a partir de etano e a partir da nafta .....	60
Tabela 4.3 - Valores médios e mínimos de consumos energéticos específicos, em GJ/t, e potenciais técnicos de melhorias, em %, de centrais petroquímicas produtoras de etileno e coprodutos, por países e regiões selecionadas .....	61
Tabela 4.4 - Indicadores de sustentabilidade da Braskem .....	66
Tabela 4.5 - Consumo específico de energia elétrica nas plantas de eteno no Brasil.....	67
Tabela 4.6 - Consumos energéticos específicos das UNIBs da Braskem, em GJ/t, de 2009 a 2012.....	67
Tabela 5.1 - Rendimento do <i>steam cracking</i> conforme a carga.....	74
Tabela 5.2 - Fatores que afetam a eficiência térmica de uma caldeira .....	81
Tabela 5.3 - Mecanismos que afetam a eficiência térmica de um forno tubular .....	88
Tabela 5.4 - Distribuições dos usos finais da energia elétrica na indústria química e no segmento petroquímico .....	90
Tabela 5.5 - Aplicação dos motores elétricos na indústria.....	91
Tabela 5.6 - Características e rendimentos de tecnologias de cogeração industrial .....	93
Tabela 5.7 - Distribuição típica de perdas em um sistema de ar comprimido .....	96
Tabela 5.8 - Potenciais de economia de energia, em %, nas indústrias química e petroquímica.....	99
Tabela 5.9 - Potenciais de economia de energia em sistemas de acionamento com motores elétricos .....	101
Tabela 5.10 - Potenciais de economia de energia em sistemas de bombeamento .....	102
Tabela 5.11 - Potenciais de economia de energia em sistemas de ar comprimido .....	103
Tabela 5.12- Potenciais de economia de energia na geração e distribuição de vapor .....	105
Tabela 5.13 - Potenciais de economia de energia em fornos industriais .....	106
Tabela 5.14 - Sistemas de controle em plantas petroquímicas e economias de energia estimadas com a sua instalação .....	107

Tabela 5.15 - Capacidade instalada, em t/ano, de grandes plantas produtoras de eteno no mundo.....	110
Tabela 5.16 - Inovações tecnológicas nas novas plantas produtoras de eteno no mundo..	111
Tabela 5.17 - Fases do diagnóstico energético realizado na UNIB3 ABC em 2012 .....	113
Tabela 6.1 - Número das certificações por continente pela ISO 50.001 .....	121
Tabela 6.2 - Países que se destacaram na certificação pela ISO 50.001 em 2012 .....	122
Tabela 6.3 - Requisitos do SGE pela ISO 50.001 .....	122
Tabela 6.4- Fases do processo PDCA para um SGE pela ISO 50.001 .....	123

## Lista de abreviaturas e siglas

<b>Abiquim</b>	- Associação Brasileira da Indústria Química
<b>ABNT</b>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANEEL</b>	- Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANP</b>	- Agência Nacional de Petróleo
<b>BAT</b>	- <i>Best Available Technology</i>
<b>BEN</b>	- Balanço Energético Nacional
<b>BMCI</b>	- <i>Bureau of Mines Correlation Index</i> (mede a aromaticidade da corrente)
<b>BNDES</b>	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<b>BTX</b>	- Benzeno / Tolueno / Xileno
<b>CICE</b>	- Comissão Interna de Conservação de Energia
<b>CNAI</b>	- Classificação Nacional de Atividades Econômicas
<b>CNI</b>	- Confederação Nacional das Indústrias
<b>Conpet</b>	- Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
<b>DOE</b>	- U.S. Department of Energy
<b>EE</b>	- Eficiência Energética
<b>EIA</b>	- U.S. Energy Information Administration
<b>ENAIQ</b>	- Encontro Anual da Indústria Química
<b>EPE</b>	- Empresa de Pesquisa Energética
<b>ESCO</b>	- <i>Energy Service Companies</i>
<b>ETBE</b>	- Éter etil-terbutílico
<b>FINEP</b>	- Financiadora de Estudos e Projetos
<b>GEE</b>	- Gases de Efeito Estufa
<b>GLP</b>	- Gás Liquefeito do Petróleo
<b>ICCA</b>	- International Council of Chemical Associations
<b>IEA</b>	- International Energy Agency
<b>ISO</b>	- International Organization for Standardization
<b>MME</b>	- Ministério de Minas e Energia
<b>MTE</b>	- Ministério do Trabalho e Emprego
<b>M&amp;V</b>	- Medição e Verificação
<b>NIPE</b>	- Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético

<b>OAC</b>	- Organismo de Avaliação da Conformidade
<b>OCDE</b>	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<b>PDE</b>	- Plano Decenal de Energia
<b>PE</b>	- Polietileno
<b>PIB</b>	- Produto Interno Bruto
<b>PME</b>	- Programa de Mobilização Energética
<b>PNE</b>	- Plano Nacional de Energia
<b>PNEf</b>	- Plano Nacional de Eficiência Energética
<b>PP</b>	- Polipropileno
<b>PPA</b>	- Programa Plurianual de Investimentos
<b>Procel</b>	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>Proesco</b>	- Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
<b>PVC</b>	- Policloreto de Vinila
<b>QSSMA</b>	- Qualidade, Segurança, Saúde e Meio Ambiente
<b>SGE</b>	- Sistemas de Gestão da Energia
<b>TLE</b>	- <i>Transfer Line Exchanger</i>
<b>UNIDO</b>	- United Nations Industrial Development Organization
<b>UTA</b>	- Unidade de Tratamento de Água
<b>UTE</b>	- Unidade de Tratamento de Efluentes
<b>VEV</b>	- Variador Eletrônico de Velocidade

## Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	A gestão da energia e o meio ambiente na indústria química brasileira.....	1
1.2	Objetivos.....	5
1.3	Escopo do trabalho.....	6
2	Diagnósticos Energéticos e Sistemas de Gestão da Energia na Indústria.....	8
2.1	Eficiência energética na indústria.....	8
2.2	Benefícios propiciados por programas de eficiência energética.....	10
2.3	Barreiras encontradas na difusão de programas de eficiência energética.....	11
2.4	Políticas públicas e planejamento governamental para fomentar a eficiência energética.....	13
2.5	Consumo de energia na indústria brasileira.....	14
2.6	Fluxos de energia em processos industriais.....	17
2.7	Potenciais técnicos de conservação de energia.....	18
2.8	Diagnósticos energéticos e <i>benchmarking</i> .....	19
2.9	Gestão da energia.....	22
3	A Indústria Petroquímica no Brasil e a Braskem.....	27
3.1	A Indústria química no Brasil.....	27
3.1.1	Sustentabilidade na indústria química brasileira.....	30
3.2	A indústria petroquímica.....	34
3.3	A Braskem.....	40
3.3.1	Importância no cenário nacional.....	42
3.3.2	A internacionalização da empresa.....	44
3.3.3	Crescimento com sustentabilidade.....	45
3.3.4	Manutenção, confiabilidade e eficiência energética.....	47
3.4	A UNIB - SP.....	48
4	Gestão da Energia na Braskem e na UNIB 3 ABC.....	58

4.1	Gestão da energia na indústria química e as melhores tecnologias disponíveis no mercado .....	58
4.2	Gestão da energia na Braskem.....	62
4.2.1	Indicador de eficiência energética da Braskem .....	64
4.2.2	Eficiência energética da UNIB 3 ABC .....	67
5	Ganhos Potenciais de Eficiência Energética em uma Central Petroquímica de 1ª Geração, em geral, e na UNIB 3 ABC, em particular .....	69
5.1	Caracterização de uma central petroquímica de 1ª geração.....	69
5.1.1	O processo de produção de petroquímicos básicos .....	72
5.1.2	Tratamento da água, geração e distribuição de vapor, destilação e processos de resfriamento .....	77
5.1.3	Aquecimento direto - fornos .....	86
5.1.4	Sistemas de segurança - <i>flare</i> .....	89
5.1.5	Força motriz .....	90
5.1.6	Sistemas de bombeamento.....	95
5.1.7	Compressores.....	96
5.2	Potenciais técnicos de economia de energia em uma UNIB .....	98
5.2.1	Motores elétricos e sistemas de acionamento .....	100
5.2.2	Sistemas de bombeamento.....	102
5.2.3	Sistema de ar comprimido .....	103
5.2.4	Caldeiras e sistema de vapor.....	104
5.2.5	Fornos .....	105
5.2.6	Automação e controle operacional.....	107
5.3	Inovações tecnológicas em centrais petroquímicas .....	108
5.4	Diagnóstico energético na UNIB 3 ABC.....	112
6	Propostas de Avanços no Sistema de Gestão da Energia da UNIB 3 ABC.....	119
6.1	Condições requeridas para o credenciamento de uma instalação pela norma ISO 50.001.....	120
6.2	Integração da gestão da energia com outros sistemas de gestão.....	127

6.3	Recomendações de melhorias no atual sistema de gestão da energia na UNIB	
3	ABC .....	128
7	Conclusões e recomendações .....	131
7.1	Conclusões .....	131
7.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	133
	Referências .....	135

# 1 Introdução

## 1.1 A gestão da energia e o meio ambiente na indústria química brasileira

O petróleo após a segunda guerra mundial tem sido a principal fonte de energia primária na matriz energética mundial. A partir da década de setenta ocorreram choques do petróleo, seguidos de aumentos nos preços do petróleo e de seus derivados. Por este motivo, vários países iniciaram a elaboração de políticas energéticas buscando aumentar a exploração de petróleo para reduzir a dependência externa, substituir e diversificar as fontes de suprimento de energia, e implantar medidas de conservação de energia para racionalizar os custos (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007).

O modelo de industrialização brasileiro até a década de oitenta foi centrado no uso de políticas e instrumentos legais executados através de medidas protecionistas como as barreiras tarifárias e incentivos fiscais, que foram direcionadas para gerar capacidade produtiva nacional através de barreiras à importação. Esta estratégia de desenvolvimento, parcial e fechado, resultou em baixa concorrência, menor escala de produção, poucos ganhos de qualidade e produtividade, bem como a adoção de padrões tecnológicos relativamente atrasados em algumas indústrias. A partir da década de noventa, dentre os principais instrumentos econômicos utilizados para promover o desenvolvimento, houve um aumento na abertura econômica para atrair capital externo, através da implantação de um programa de privatização de estatais e o estabelecimento de marcos regulatórios de mercado. Como efeito dessas ações, ocorreu um aumento na competição industrial e a busca das empresas por ganhos de produtividade (CAMPANÁRIO *et al.*, 2004).

As reformas no setor energético introduzidas no Brasil nos anos noventa, principalmente as privatizações de companhias de energia, modificaram a atuação do setor público, que assumiu um papel de atuação indireta na execução de medidas de eficiência energética, anteriormente

lideradas pelas empresas estatais, ao estabelecer um contexto de política favorável para que os agentes privados tomem decisões e invistam nessa área (JANNUZZI, 2000).

Para a proteção do meio ambiente, foi instituída a obrigatoriedade de estudos de impactos ambientais em empreendimentos potencialmente poluentes, com os órgãos públicos e organizações civis participando do processo de avaliação, licenciamento e fiscalização desses empreendimentos. Como consequência desse processo, a execução de diversos empreendimentos industriais e do setor energético foi impactada, devido a restrições ambientais e embargos por ação judicial, ou mobilização de segmentos da sociedade civil (PIRES *et al.*, 2006).

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), as principais causas dos problemas ambientais decorrentes do uso da energia estão associadas ao uso de combustíveis fósseis na produção de eletricidade, no setor de transporte, na indústria e nos edifícios. Para resolver esses problemas foram indicadas algumas alternativas complementares:

- A busca de ganhos de eficiência energética, através de alguma forma de se obter um bem-estar equivalente com menor uso dos recursos naturais, ou aumento na produtividade;
- As energias renováveis, que preservem os combustíveis fósseis e reduzam os impactos ambientais, para aumentar a segurança no fornecimento e poupar os recursos que são finitos;
- Novas descobertas tecnológicas que consigam atingir utilização em escala comercial e ofereçam vantagens econômicas em termos de retorno de investimentos.

Na visão de Altvater (1995), o modelo de industrialização e o consumo das sociedades capitalistas não são universalizáveis. Os recursos naturais são finitos. Mantida a forma atual de se viver e produzir, no futuro haverá limitações devido à menor disponibilidade de energia a partir de fontes não renováveis, ou se as emissões tóxicas superarem um limite aceitável para o meio ambiente e a sobrevivência do homem.

A racionalização no uso da energia não evoluiu em períodos onde a energia era abundante e fornecida por baixo preço, mas principalmente durante crises. Nestes períodos são aplicadas medidas de redução no consumo, recuperação de energia e a substituição de equipamentos por outros mais eficientes. Além da redução nos custos, a implantação de mudanças tecnológicas no setor produtivo pode reduzir os impactos ambientais e a emissão de gases poluentes e de efeito

estufa. A redução no uso da energia também contribui para a diminuição no consumo de água e de outros insumos, gerando mais economia (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Segundo Bajay (2011) e Goldemberg (2010), para o planejamento de programas de eficiência energética é necessário conhecer o potencial de conservação de energia por setores da economia e, sempre que possível, por usos finais. Há os seguintes tipos de potenciais de conservação de energia:

- Potencial teórico: representa o potencial máximo que pode ser atingido em bases físicas obedecendo-se às leis da Termodinâmica. Podem-se calcular os ganhos pela substituição de insumos, reutilização de materiais e calor, eliminação de atrito e redução de perdas em geral;
- Potencial técnico: corresponde às economias de energia possíveis de serem alcançadas com as melhores tecnologias atualmente disponíveis (*Best Available Technologies*, ou BAT), porém sem considerar os aspectos econômicos;
- Potencial econômico: considera as reduções de consumo energético viáveis economicamente. Normalmente são executadas análises de custo/benefício pelo mercado. Políticas públicas de fomento podem ampliar o potencial econômico; e
- Potencial de mercado: é o que se espera que possa ser obtido considerando todos os obstáculos existentes, tais como: as condições comerciais (oferta de produtos e serviços, o preço da energia, as preferências dos consumidores), as dificuldades de mercado (falta de informações entre os agentes que vendem e compram) e os obstáculos sociais (impactos ambientais e sobre a saúde).

A gestão da energia no setor industrial emprega os conceitos de engenharia, economia e administração nos sistemas energéticos, tendo por objetivo melhorar a eficiência energética dos processos produtivos, reduzir os custos e minimizar as perdas de energia. O tema gestão da energia tem assumido uma importância crescente na indústria em virtude da competitividade do mercado, incertezas quanto à disponibilidade dos recursos energéticos (eletricidade e combustíveis), ou devido a restrições ambientais (MARQUES *et al.*, 2007).

Segundo Payne (1984), a determinação do custo real com energia é um pré-requisito essencial para um controle efetivo de custo e a avaliação de medidas de conservação de energia. O custo das fontes de energia normalmente é integrado a um sistema gerencial padrão, conforme

a unidade de medição de custos adotada nas organizações. Nas empresas em que são executados diagnósticos energéticos os custos podem ser alocados, quantificados e analisados em detalhes conforme a necessidade, sendo compostos basicamente pelos seguintes elementos:

- Custos associados às compras de eletricidade (são relacionados às tarifas conforme a demanda e períodos contratados) e de combustíveis (os combustíveis frequentemente representam a maior parte dos custos com energia nas plantas que possuem caldeiras e fornos);
- Custos associados às contas de custos fixos (não estão relacionados aos consumos, tais como: capital, depreciação, seguro, pessoal, manutenção, etc.) e custos variáveis (relacionados com a energia necessária para a operação de caldeiras, fornos, acionamento de bombas, ventiladores, compressores, etc.). A ação mais importante para os programas de redução dos custos de energia é minimizar os custos fixos e variáveis, bem como reduzir o consumo de energia;
- Custos alocados (por exemplo, os custos incidentes decorrentes de multas, como as causadas por poluição ambiental), ou ganhos indiretos associados ao uso, tais como os oriundos da substituição de um combustível por outro menos poluente.

Desde o final da década de 1980 aumentou a preocupação da sociedade sobre os efeitos dos produtos químicos lançados no meio ambiente. Agências reguladoras desenvolveram procedimentos para avaliar os impactos potenciais e reais no meio ambiente e sobre a saúde humana que ocorrem como resultado desses lançamentos (CLEVELAND e HARMAN, 2004).

Em 1992, as empresas que fazem parte da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM) adotaram o Programa de Atuação Responsável, que tem por objetivos preservar a saúde e proteger a integridade física das pessoas, garantir a segurança operacional e das instalações, garantir o uso correto e adequado dos produtos e conservar o meio ambiente.

O sistema de gestão ambiental brasileiro introduziu na legislação o princípio do poluidor – pagador, para que todas as empresas que obtêm lucro com a exploração ambiental assumam os custos da atividade, sem repassá-los diretamente para a sociedade (RIBEIRO, 2010).

A gestão da energia na indústria química contribui para a redução das emissões atmosféricas e contaminações, pois o não cumprimento da legislação ambiental começa a limitar a capacidade produtiva quando da renovação das licenças para a operação, podendo trazer

sanções, como a aplicação de multas e, em casos mais graves, quando de vazamentos, incêndios, explosões e doenças profissionais, levar à interdição ou fechamento das instalações industriais.

Inserido nesse contexto, sistemas de gestão da energia desempenham um papel de fundamental importância na indústria, em geral, e na indústria química, em particular, pelas seguintes razões:

- (i) Estes sistemas desenvolvem atividades que permitem avaliar, quantificar e qualificar o consumo da energia nos processos de produção, possibilitando a preservação dos recursos energéticos;
- (ii) Eles permitem capacitar e conscientizar os profissionais, priorizar e descentralizar as ações para a redução de consumos energéticos específicos, analisar cenários e planejar as demandas de energia; e
- (iii) É possível a integração da gestão da energia com os sistemas de gestão da qualidade e do meio ambiente para um desenvolvimento empresarial sustentável.

## **1.2 Objetivos**

Medidas visando ganhos de eficiência energética já são aceitas como instrumentos para se atingir principalmente metas ambientais na indústria química brasileira, sobretudo na indústria petroquímica de primeira e segunda geração, conforme mencionado na seção anterior.

O alcance potencial destas medidas, no entanto, ainda está muito longe de ser alcançado, com possível repercussão não só na esfera ambiental, como em termos de ganhos de produtividade e, conseqüentemente, de competitividade, algo que este ramo industrial está necessitando urgentemente no País.

O objetivo geral desta dissertação é propor diretrizes para que diagnósticos energéticos sejam usados regularmente e com maior eficácia no contexto de sistemas mais avançados de gestão da energia na indústria petroquímica nacional. O referencial escolhido para refletir as práticas atuais é a Braskem, a maior empresa petroquímica do Brasil.

Este trabalho também contempla dois objetivos específicos. Um deles é apresentar oportunidades de ganhos de eficiência energética na unidade de insumos petroquímicos básicos mais antiga da Braskem, detectadas através de um abrangente diagnóstico energético realizado em 2012, que contou com a participação do autor desta dissertação. Estas oportunidades contemplam os seguintes usos finais da energia/equipamentos: calor de processo, aquecimento direto, força motriz, sistemas de bombeamento e sistemas de ar comprimido.

O outro objetivo específico é a realização de propostas de *upgrade* no atual sistema de gestão energética desta unidade da Braskem, visando ampliar o seu campo de ação, melhorar a sua eficácia e facilitar um credenciamento futuro do sistema de gestão da energia desta fábrica pela norma ISO 50.001.

### **1.3 Escopo do trabalho**

O capítulo 2 relaciona as rotinas para o planejamento e a execução de um diagnóstico energético na indústria. Tomando como ponto de partida os princípios, conceitos, benefícios e as barreiras para a execução de um diagnóstico energético, neste capítulo é discutido como os diagnósticos energéticos devem ser estruturados para alimentar de informações de boa qualidade, de uma forma contínua, um sistema industrial de gestão da energia que satisfaça os requisitos da norma ISO 50.001.

O capítulo 3 descreve as principais características da indústria petroquímica, analisa a importância da Braskem no cenário nacional e apresenta, de uma forma simplificada, o processo de produção de uma unidade de insumos básicos.

No capítulo seguinte se apresenta a atual sistemática de gestão da energia na Braskem, seus objetivos e metas, com destaque para os processos da gestão da eficiência energética.

As perdas de energia térmica e energia elétrica associadas aos usos finais e equipamentos analisados nesta dissertação (calor de processo, aquecimento direto, força motriz, sistemas de bombeamento e sistemas de ar comprimido), na unidade petroquímica da Braskem utilizada

como estudo de caso, são investigadas no capítulo 5. Na sequência, são propostas medidas que podem propiciar ganhos de eficiência energética nestas aplicações, para a planta industrial em questão.

O capítulo 6 contém propostas de *upgrade* no sistema de gestão da energia nesta unidade da Braskem, visando ampliar o alcance e a profundidade de suas ações e facilitar a sua certificação futura pela norma ISO 50.001.

Por fim, o capítulo 7 apresenta conclusões sobre os resultados obtidos e apresenta sugestões para serem exploradas em novos trabalhos sobre eficiência energética no segmento petroquímico.

## **2 Diagnósticos Energéticos e Sistemas de Gestão da Energia na Indústria**

### **2.1 Eficiência energética na indústria**

Procurar ganhos de eficiência energética em uma determinada instalação, ou processo significa procurar reduzir as perdas e o consumo de energia mantendo os mesmos resultados na produção e/ou serviços, através da utilização racional dos recursos humanos, materiais e econômicos, com ações de combate ao desperdício de energia e modernização das instalações, ou processos (CAMPELLI, 2010).

Para a norma ABNT NBR ISO 50001:2011 a eficiência energética é mensurada como a razão, ou outra relação quantitativa entre a saída de desempenho, serviços, produtos ou energia e uma entrada de energia. Para tanto, a entrada como a saída precisam ser claramente especificadas em quantidade e qualidade mensuráveis, como, por exemplo, energia requerida e energia usada, ou energia teórica utilizada e energia usada para operar.

De acordo com Cleveland e Eichhammer (2004), em suas aplicações na indústria é importante se definir com clareza como a eficiência energética será operacionalizada na forma de indicadores, tais como:

- A razão entre a transferência de energia de um tipo desejado por um dispositivo ou sistema e a energia fornecida para o dispositivo ou sistema para acioná-lo;
- A razão entre o trabalho teórico mínimo necessário para executar uma tarefa e o trabalho real disponível para executar essa tarefa; e
- A razão entre o consumo total de energia em um período e a produção total neste período.

Na busca de ganhos de eficiência energética na indústria é necessário levar em consideração as tecnologias adotadas nos processos analisados, o grau de automação e controle existentes, a idade e o estado de conservação dos ativos envolvidos. A partir da análise de indicadores de desempenho é possível avaliar a viabilidade dos investimentos necessários para a implantação de melhorias visando tais ganhos.

Os estudos dos sistemas energéticos na indústria analisam principalmente os fluxos energéticos e as demandas energéticas para atender a produção de bens e serviços. Programas de eficiência energética almejam uma utilização eficaz das fontes de energia. Ao promover a redução no consumo de energia sem prejudicar a produção, tais programas frequentemente buscam também a redução nas emissões de poluentes e de gases do efeito estufa (GEE) para o meio ambiente.

Para minimizar as perdas de energia na indústria é necessário realizar diagnósticos energéticos, utilizá-los em sistemas de gestão da energia, elaborar projetos de investimentos e implantar melhorias tecnológicas nos processos de produção, avaliar as soluções existentes no mercado, bem como garantir que a operação e a manutenção dos equipamentos estejam sendo feitas de forma adequada. No entanto, para reduzir o desperdício de energia é fundamental mudar hábitos e comportamentos, conforme está indicado na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 - Comparação entre perda e desperdício de energia**

<b>PERDA DE ENERGIA</b>	<b>DESPERDÍCIO DE ENERGIA</b>
Não pode ser totalmente eliminada	Pode ser totalmente eliminado
Depende da tecnologia adotada (processos de produção e gestão)	Depende apenas do comportamento dos profissionais
Não pode ser reduzida de imediato (precisa ser avaliada e quantificada)	Pode ser combatido de imediato (comprometimento e cooperação)
A redução depende de avaliação econômica / investimentos em projetos de melhoria	A redução não depende de avaliação econômica
Implantação de melhorias tecnológicas	Mudança de hábitos (aspecto comportamental)

Fonte: Elaboração própria com base em Petrobras (2007)

Para Sá (2010), reduções no consumo de energia podem ser conseguidas pela eliminação de consumos supérfluos, recuperação de perdas de energia, implantação de melhorias funcionais em equipamentos existentes e utilização de equipamentos de melhor rendimento.

## **2.2 Benefícios propiciados por programas de eficiência energética**

Programas de conservação de energia, ou seja, programas que almejam ganhos de eficiência energética propiciam os seguintes benefícios (GOLDEMBERG e LUCON, 2008; HINRICHS *et al.*, 2010):

- A segurança no fornecimento é maior quando são poupados os recursos energéticos;
- A obtenção de ganhos micro e macro econômico associados a um aumento de produtividade e de competitividade industrial;
- O aumento do acesso a serviços de energia;
- A redução de impactos ambientais pela diminuição nas emissões de gases poluentes e de efeito estufa;
- O investimento em conservação de energia pode gerar um retorno melhor e mais rápido do que o investimento em suprimento de energia;
- A conservação de energia amplia a duração das fontes energéticas do planeta, principalmente as não renováveis, possibilitando avanços no desenvolvimento de tecnologias para as fontes renováveis, como a energia solar; e
- A conservação de fontes não renováveis, como por exemplo, o petróleo, é mais importante para a indústria química do que o uso deste recurso na geração de energia.

## 2.3 Barreiras encontradas na difusão de programas de eficiência energética

Segundo Sarkar e Singh (2010), os países mais desenvolvidos projetam e utilizam equipamentos mais eficientes no consumo de energia tendo por objetivo obter ganhos com a redução nos custos com energia. Nos países em desenvolvimento, as principais barreiras para a realização de investimentos em melhorias de eficiência energética, envolvendo os interesses de governos, fornecedores de equipamentos e serviços, usuários finais e agentes financeiros, estão indicadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2 - Barreiras encontradas na realização de programas de eficiência energética nos países em desenvolvimento**

INTERESSADOS	BARREIRAS
<b>Governo</b>	O preço da energia e impostos; falta de mecanismos que promovam incentivos e subsídios para programas de eficiência energética; o valor da tributação sobre a importação de equipamentos mais eficientes; deficiências nas diretrizes quanto à eficiência energética em normas, padrões e especificações técnicas.
<b>Fornecedores</b>	A baixa demanda e os custos para o desenvolvimento de equipamentos e instalações mais eficientes; deficiências técnicas e gerenciais nos processos de contratação de empresas especializadas em projetos que visam ganhos de eficiência energética (ESCO); capacidade de financiamento limitada para a implantação de projetos e instalações mais eficientes.
<b>Usuários finais</b>	Falta de consciência quanto à importância da eficiência energética; falta de incentivos governamentais, disponibilidade de recursos financeiros, conhecimento e disposição para investir no desenvolvimento de tecnologia, velocidade na implantação de projetos e <i>retrofit</i> envolvendo ganhos de eficiência energética.
<b>Agentes financeiros</b>	Percepção de risco no investimento em novas tecnologias associadas à eficiência energética; seleção de projetos com menor risco e maior retorno do investimento.

Fonte: Elaboração própria com base em Sarkar e Singh (2010)

Conforme Goldemberg (2010), a eficiência energética é um componente da eficiência econômica, mas raramente é um fator dominante na indústria, pois o setor produtivo considera a energia apenas como um dos insumos da produção. A partir dos anos setenta, devido às crises do petróleo, que provocaram a elevação nos preços dos combustíveis, e pressionada pelos movimentos sociais, que passaram a exigir melhores níveis de preservação ambiental, a indústria

foi levada a implantar medidas de conservação de energia e a adotar ações para minimizar a emissão de poluentes.

A busca por ganhos na eficiência energética industrial requer o estabelecimento de metas e políticas de longo prazo inseridas no planejamento energético nacional, associadas a estratégias de implantação com mecanismos de medição e verificação do desempenho. Tais ganhos não são bons apenas em termos de uso mais racional de energia, mas, em geral, também trazem benefícios ambientais e de competitividade para a indústria (BAJAY e SANTANA, 2010).

A Tabela 2.3 apresenta exemplos de ações que, segundo a IEA (2010), os países podem adotar para superar as barreiras e promover a eficiência energética.

**Tabela 2.3 - Ações para superar as barreiras e promover a eficiência energética**

<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AÇÕES</b>
<b>Mecanismos de preços</b>	Estabelecer tarifas variáveis para a energia: valores maiores para os níveis de consumo mais elevados.
<b>Mecanismos de regulação e controle</b>	Tornar obrigatórias as atividades de auditoria e gerenciamento de energia; Estabelecer normas de desempenho energético mínimo; Estabelecer metas de redução no consumo de energia; Incentivar o investimento em eficiência energética nas empresas privadas.
<b>Incentivos fiscais</b>	Estabelecer subvenções, subsídios e incentivos fiscais para investimentos em aquisições de bens e serviços associados com ganhos de eficiência energética.
<b>Promoção da eficiência energética</b>	Fazer campanhas publicitárias incentivando a eficiência energética; Incluir o tema eficiência energética nos currículos escolares; Estabelecer a etiquetagem e certificação de construções energeticamente eficientes.
<b>Desenvolvimento tecnológico</b>	Promover programas para desenvolver e implantar tecnologias mais eficientes.
<b>Promover a capacitação e a prestação de serviços de eficiência energética</b>	Incentivar a criação de ESCO; Promover programas de treinamento; Incentivar a contratação de serviços de eficiência energética na indústria.
<b>Mecanismos financeiros</b>	Promover programas de financiamento de projetos de eficiência energética.

Fonte: Elaboração própria com base em IEA (2010)

## 2.4 Políticas públicas e planejamento governamental para fomentar a eficiência energética

Os objetivos das políticas públicas de fomento à eficiência energética podem ser vários, conforme indicado na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 – Objetivos das políticas públicas de fomento à eficiência energética**

<b>POLÍTICA</b>	<b>OBJETIVOS</b>
<b>Segurança energética</b>	Reduzir as importações Reduzir as demandas internas para maximizar a exportação Aumentar a confiabilidade Controlar o crescimento da demanda de energia
<b>Desenvolvimento econômico e confiabilidade</b>	Reduzir a intensidade energética Melhorar a competitividade industrial Reduzir os custos de produção Tornar os custos da energia mais acessíveis para a sociedade
<b>Mudanças climáticas</b>	Contribuir com o esforço global para minimizar os impactos ambientais que provocam as mudanças climáticas
<b>Saúde pública</b>	Reduzir a poluição ambiental

Fonte: Elaboração própria com base em IEA (2010)

Segundo Hinrichs *et al.* (2010), no planejamento energético são feitos estudos e análises sobre as perspectivas de evolução da matriz energética e elaborado cenários para períodos de 10 a 30 anos. Dentre as alternativas de evolução analisadas, são representadas situações compatíveis com a situação atual (*business as usual*) e projetados alguns cenários alternativos, considerando hipóteses-limite otimistas e pessimistas em torno da situação atual. No cenário otimista são formuladas políticas de fomento à busca de ganhos de eficiência energética e ao aumento do uso de fontes renováveis visando à sustentabilidade energética; no cenário pessimista usualmente se vislumbra uma maior utilização da energia sem um controle efetivo e sem maiores preocupações com as questões ambientais.

Em 2010 o Ministério de Minas e Energia elaborou o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), tomando como referência, entre outros estudos de planejamento para o setor de energia elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) e os Planos Decenais de Energia (PDE).

O PNEf considera que os ganhos em eficiência energética são provenientes de duas parcelas: o progresso autônomo, decorrente de iniciativas motivadas pelo mercado, sem a interferência de políticas públicas e executado de maneira natural, sendo feito através da reposição de equipamentos novos e mais eficientes, ou a utilização de novas tecnologias que permitam a produção de serviços mais eficientes; e o progresso induzido, decorrente de estímulos que são promovidos através de políticas públicas. O PNEf não motivou, até agora, nenhuma nova iniciativa de política pública de fomento à eficiência energética no País, nem algum novo programa nesta área.

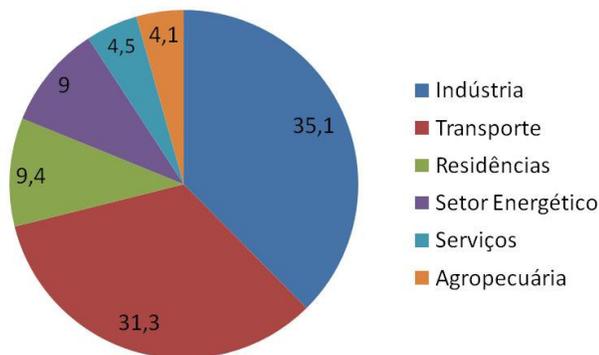
Para viabilizar a implantação de iniciativas de eficiência energética, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) possui uma linha de crédito de apoio a projetos de eficiência energética, chamada Proesco, que financia diretamente, ou por meio dos seus agentes, empreendimentos que comprovadamente contribuam para a economia de energia, aumentem a eficiência global do sistema energético, ou promovam a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis.

## **2.5 Consumo de energia na indústria brasileira**

Conforme ilustrado na Figura 2.1, a indústria foi responsável por 35,1% da energia primária consumida no Brasil em 2012. A produção industrial, o transporte de cargas e a mobilidade das pessoas responderam por aproximadamente 66% do consumo de energia primária no País naquele ano.

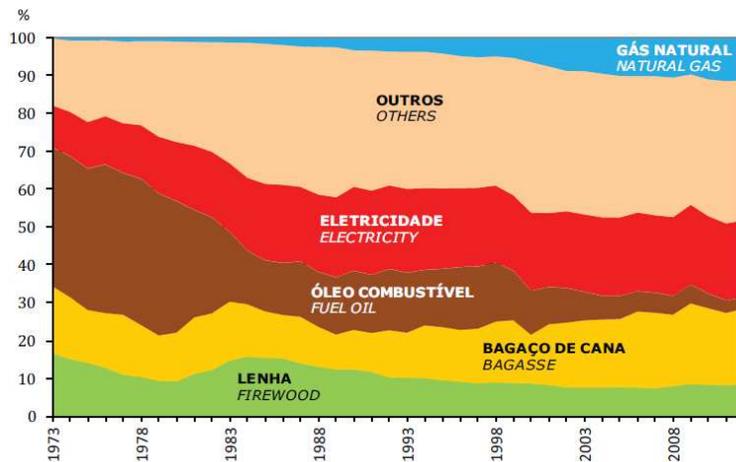
A evolução, de 1973 a 2012, das parcelas de mercado dos energéticos consumidos pela indústria brasileira está indicada na Figura 2.2. Pode-se observar, nesta figura, aumentos

significativos nas parcelas de mercado do bagaço da cana de açúcar e do gás natural, este último substituindo, sobretudo o óleo combustível.



Fonte: Elaboração própria com base em EPE/MME (2013)

**Figura 2.1 - Distribuição percentual do consumo de energia primária no Brasil por setor em 2012**



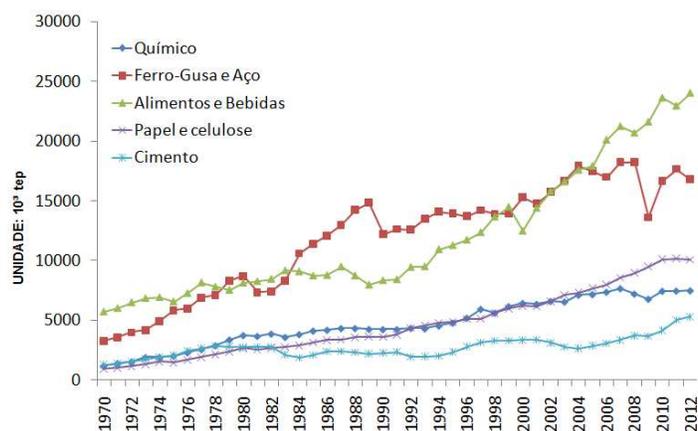
Fonte: (EPE/MME, 2013, p. 85)

**Figura 2.2 - Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria brasileira, de 1973 a 2012**

O setor industrial é composto por um conjunto diversificado de indústrias, incluindo as indústrias energo-intensivas (ferro-gusa e aço, indústria química, papel e celulose, minerais não metálicos, entre outras). O *mix* e a intensidade de uso dos energéticos consumidos no setor

industrial variam entre os países e dependem, entre outros fatores, da atividade econômica, nível de desenvolvimento tecnológico e políticas energéticas vigentes.

Conforme indicado na Figura 2.3, o consumo dos maiores segmentos consumidores de energia da indústria brasileira foi crescente a maior parte do tempo durante o período de 1970 a 2012. No ano de 2012 o consumo destes segmentos correspondeu a 72% do consumo energético total da indústria nacional.

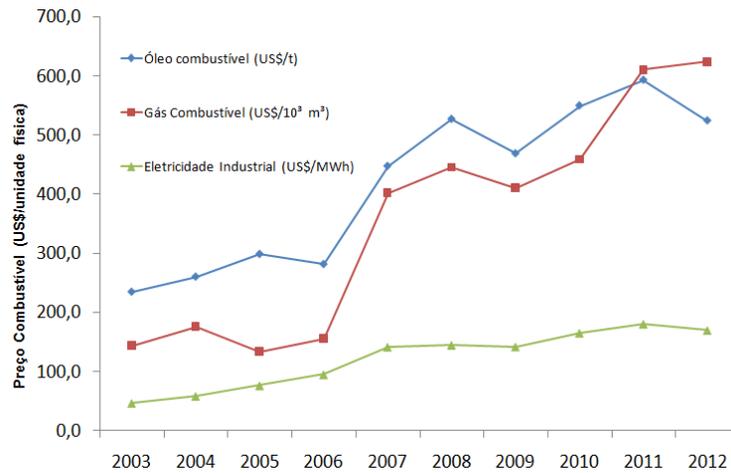


Fonte: Elaboração própria a partir de EPE/MME (2011) e EPE/MME (2013)

**Figura 2.3 - Consumo final de energia dos maiores segmentos consumidores da indústria brasileira, de 1970 a 2012**

O custo dos principais energéticos utilizados na indústria foi crescente a partir de 2006, conforme ilustrado na Figura 2.4.

Reduções nos consumos energéticos específicos das instalações industriais, decorrentes de atividades que promovam melhorias na sua eficiência energética, viabilizam reduções dos custos de produção. A partir da análise de indicadores de desempenho energético é possível se planejar investimentos em melhorias nas instalações que reduzam seu consumo energético específico. Goldemberg e Lucon (2008) indicam alguns métodos que podem ser usados na avaliação do retorno de investimentos direcionados para ganhos de eficiência energética, tais como o custo da energia economizada, a taxa interna de retorno e o custo do ciclo de vida.



Fonte: Elaboração própria com dados de EPE/MME (2013)

**Figura 2.4 - Custo de energéticos utilizados na indústria brasileira, de 2003 a 2012**

De acordo com Worrell *et al.* (2010), em muitos segmentos industriais um programa de eficiência energética bem gerenciado pode reduzir os custos de energia de 3% a 10% ao ano.

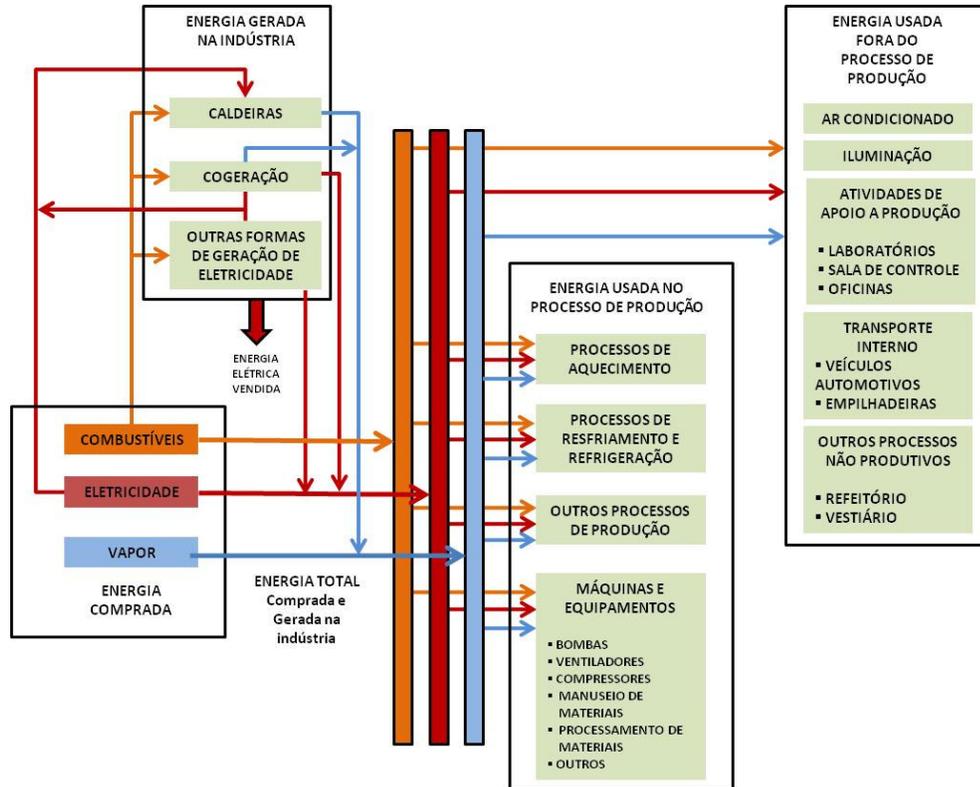
## 2.6 Fluxos de energia em processos industriais

A energia consumida no setor industrial é utilizada em vários processos de produção, bem como em áreas não produtivas, em apoio à produção. Em geral, a área não produtiva mais importante em complexos industriais, sobretudo nos energo-intensivos, é o setor de utilidades, que provê energia elétrica, vapor de água, água quente, água tratada, ar comprimido, gases industriais, etc. para todos os processos industriais da instalação industrial a que pertence.

O fluxo energético apresentado na Figura 2.5 é um exemplo geral e simplificado do que se observa em um processo industrial.

Nos seus processos produtivos, os setores industriais geram, principalmente através de reações de combustão, a emissão de gases poluentes e outros gases, como o dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), que contribuem para o efeito estufa. Portanto, a redução no consumo de energia também contribui para evitar contaminações ambientais e mudanças climáticas.



Fonte: Elaboração própria a partir de DOE (2012)

**Figura 2.5 - Fluxo de energia simplificado em uma instalação industrial genérica**

## 2.7 Potenciais técnicos de conservação de energia

A Tabela 2.5 apresenta potenciais técnicos de conservação de energia dos maiores segmentos consumidores de energia da indústria brasileira, estimados por Gorla (2009). Na tabela, estes potenciais referem-se às demandas energéticas destes segmentos nos anos para os quais eles foram calculados: 2004 a 2006.

**Tabela 2.5 - Potenciais técnicos de conservação de energia nos maiores segmentos consumidores de energia da indústria brasileira**

<b>SEGMENTO</b>	<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>ENERGIA TÉRMICA</b>
<b>Alimentos e bebidas</b>	16%	8%
<b>Siderurgia</b>	47%	31%
<b>Papel e celulose</b>	12%	19%
<b>Químico</b>	10%	23%
<b>Cimento</b>	39%	30%

Fonte: Elaboração própria a partir de Gorla (2009)

Os potenciais indicados na Tabela 2.5 são técnicos, ou seja, eles apenas levam em conta as melhores tecnologias disponíveis no mercado (*Best Available Technologies - BAT*) e as práticas atuais. Eles correspondem a limites superiores de economias de energia que poderiam ser atingidos nestes segmentos industriais sob o ponto de vista puramente tecnológico. Na prática, tais potenciais dificilmente são alcançados, pois existem outros fatores, econômicos e de gestão, que determinam a inserção de determinada tecnologia e/ou prática nas empresas industriais.

## **2.8 Diagnósticos energéticos e *benchmarking***

Um diagnóstico energético, avaliação energética, ou auditoria energética analisa os fluxos energéticos de um processo produtivo, identifica a quantidade de energia que é consumida, onde e quem está consumido energia, e como e com qual eficiência está sendo feito esse consumo. Após as análises, são feitas recomendações para melhorar a eficiência e a gestão da energia.

O DOE (2011) recomenda que os seguintes princípios orientem a execução de uma avaliação energética na indústria:

- Integração do processo de identificação de oportunidades para economia de energia com o processo de implantação dessas melhorias;
- Definição de atribuições para todos os membros da equipe de avaliação;

- Comunicação, para todos os envolvidos, dos objetivos da avaliação, destacando as expectativas da liderança da fábrica a ser avaliada quanto às oportunidades para economia de energia;
- Conhecimento do segmento industrial, da empresa e da unidade específica em que será feita a avaliação;
- Realização do diagnóstico quando houver compromisso da liderança da empresa na implantação das melhorias;
- Planejamento das ações administrativas necessárias para viabilizar a execução da avaliação, tais como: acesso às informações, confidencialidade, integração de segurança, agenda de reuniões, disponibilidade e cooperação de representantes indicados pela empresa para participar da avaliação, etc.;
- Identificação de oportunidades de economias de energia, consolidação de prioridades, obtenção da aprovação da liderança e definição dos responsáveis pelas ações de implantação das melhorias;
- Garantia da disponibilidade de recursos para a execução dos projetos de melhoria;
- Implantação de um plano de Medição e Verificação (M&V), acompanhamento da execução dos projetos e registro das economias de energia com os projetos implantados;
- Divulgação dos bons resultados obtidos, comemoração e reconhecimento da contribuição dos responsáveis pela implantação dos projetos de melhoria; e
- Identificação e registro das lições aprendidas, para garantir, no futuro, o sucesso de outros diagnósticos.

Marques *et al.* (2006) propõem as seguintes fases para uma avaliação energética:

- Levantamento de dados gerais sobre a empresa;
- Estudo dos fluxos de materiais e produtos;
- Caracterização do consumo energético;
- Avaliação das perdas de energia;

- Desenvolvimento dos estudos técnicos e econômicos das alternativas de redução das perdas;
- Elaboração das recomendações e conclusões.

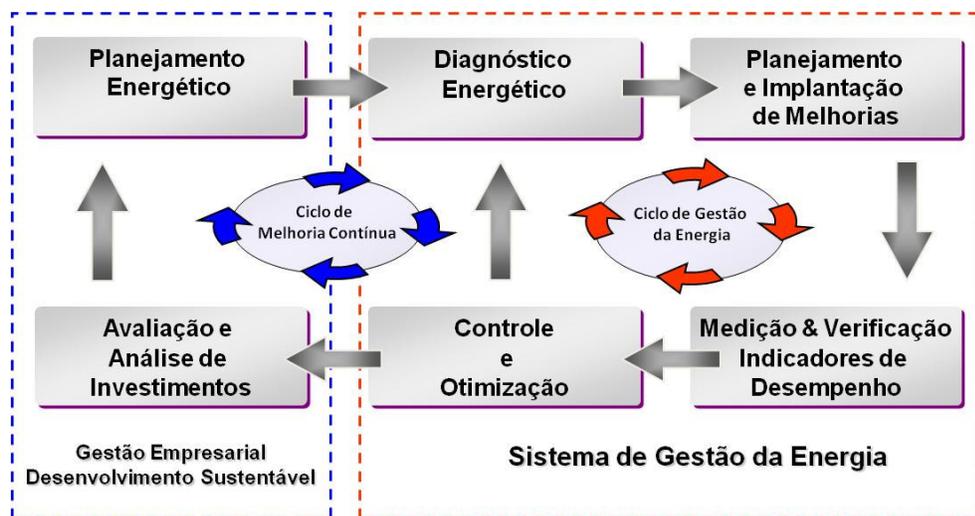
O desempenho energético de uma unidade industrial pode ser avaliado através de indicadores de *benchmarking*. Analisando o desempenho de uma instalação industrial com outras que possuem as melhores práticas de um determinado segmento industrial (BAT), ou com outras unidades do mesmo tipo de atividade, é possível identificar oportunidades de melhoria em sua eficiência energética.

Para Cleveland e Eichhammer (2004) o *benchmarking* e o diagnóstico energético são atividades complementares, pois a comparação dos indicadores de eficiência energética entre unidades é dificultada na prática por uma variedade de fatores, tais como: o volume de produção e a utilização da capacidade instalada de produção no período analisado; as diferenças no tipo e na qualidade dos produtos manufaturados; a forma de gestão e a adoção de medidas de eficiência energética, entre outras. Bem como, nesse tipo de análise é necessário também levar em consideração a tecnologia adotada no projeto de processo da unidade industrial, o grau de automação e controle, a idade e o estado de conservação dos ativos da planta.

O *benchmarking* e o diagnóstico energético revelam as instalações e os equipamentos com maiores potenciais de economia de energia. Na sequência, é necessária a realização de estudos de otimização energética, para detalhar as modificações, ou trocas de equipamentos a serem feitas, verificar a sua viabilidade financeira utilizando cotações de fornecedores e realizar um plano de investimentos, priorizando os casos considerados mais interessantes em função dos retornos financeiros e economias de energia auferidas, além de possíveis outros critérios relevantes para a empresa, tais como ganhos de confiabilidade na operação dos equipamentos, redução de impactos ambientais negativos e melhorias na produtividade industrial.

## 2.9 Gestão da energia

Para se estabelecer um sistema de gestão da energia é necessário: (i) conscientizar, obter o apoio e a aprovação da liderança que detêm o poder na organização; (ii) formar essa estrutura gerencial; (iii) consolidar uma política energética; e (iv) elaborar um planejamento energético, indicando as metas, prioridades, recursos humanos e materiais para a execução das ações de gestão da energia, de forma a contribuir com o planejamento estratégico da empresa e a melhoria contínua dos processos visando um desenvolvimento sustentável. O processo de gestão energética da Figura 2.7 ilustra esta concepção.



Fonte: Elaboração própria

**Figura 2.6 - Processo de gestão energética**

Para a implantação de um sistema de gestão da energia, Monteiro e Rocha (2005) propõem a elaboração de um plano de ação composto pelas seguintes atividades:

- Formação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE);
- Definição de uma política para o uso eficiente da energia na empresa;
- Estabelecimento de metas e objetivos;

- Elaboração de uma agenda para reuniões periódicas da CICE;
- Visitas a empresas com processos, usos finais ou programas de gestão da energia semelhantes;
- Divulgação de informações relativas ao uso racional de energia;
- Promoção de campanhas coletivas, como concursos, palestras e caixas de sugestões, para o uso eficiente da energia;
- Divulgação dos resultados alcançados, em função das metas que forem estabelecidas, no acompanhamento do consumo energético;
- Implantação de uma identidade visual para o programa, por meio de cartazes, cartilhas, adesivos, bótons, mascote, símbolo e comunicações internas;
- Implantação de manuais / placas para o uso eficiente de energia em equipamentos;
- Promoção de cursos, treinamentos, simpósios, palestras técnicas e/ou motivacionais para empregados e gerentes;
- Realização de atividades socioculturais relacionadas com energia.
- Análise do consumo de energia das unidades de produção;
- Identificação de oportunidades de redução do consumo de energia;
- Criação de um banco de dados com propostas e sugestões para melhorar a eficiência energética;
- Cadastramento dos estudos de engenharia de processo, manutenção e confiabilidade associados à eficiência energética;
- Gerenciamento do orçamento para a execução de projetos de eficiência energética;
- Apresentação de propostas de investimento, elaboração e execução de planos de ação para melhorar a eficiência energética da instalação;
- Atuação como facilitador na implantação e compreensão dos programas de eficiência energética, contribuindo na capacitação e na formação de uma cultura para a preservação dos recursos energéticos;
- Promoção de cursos de capacitação;
- Elaboração de informativos periódicos sobre eficiência energética;

- Divulgação na intranet da empresa de informações e melhores práticas;
- Organização de seminários para compartilhar com a organização as melhores práticas e os ganhos obtidos;
- Realização ou contratação de diagnósticos energéticos;
- Estabelecimento e execução de um programa de inspeções nas instalações e equipamentos buscando identificar oportunidades de melhoria na eficiência energética;
- Conscientização e motivação dos empregados para evitar o desperdício de energia e fazer o uso racional dos recursos energéticos; e
- Avaliação dos resultados obtidos e proposição de novas metas para os períodos subsequentes.

Segundo Monteiro e Rocha (2005), diagnósticos energéticos realizados sob a coordenação da CICE de um sistema de gestão de energia podem contemplar as seguintes atividades:

- Avaliação do consumo atual de energia;
- Identificação dos usos finais da energia e das utilidades;
- Realização de rateio do consumo de energia por setores/usos finais;
- Identificação dos equipamentos/processos que mais consomem energia;
- Levantamento do regime de funcionamento dos principais equipamentos;
- Priorização dos setores /equipamentos a serem avaliados;
- Realização de balanços de massa e de energia, quando pertinente, nos setores/equipamentos priorizados;
- Realização de medições setoriais e consolidação da metodologia de rateio;
- Apresentação de sugestões para melhorar a eficiência energética das instalações e equipamentos analisados;
- Verificação dos impactos das melhorias propostas na produção e no meio ambiente;
- Elaboração de avaliações econômicas das medidas propostas;
- Contratação, quando necessário, de consultorias e fornecedores de produtos e serviços de eficiência energética;

- Participação na especificação da compra de equipamentos que envolvam consumo de energia;
- Acompanhamento e controle do consumo e do custo das fontes energéticas;
- Acompanhamento e controle do consumo e do custo de água;
- Acompanhamento das faturas da energia elétrica e dos combustíveis;
- Elaboração e acompanhamento dos seguintes indicadores: “consumo energético específico”, “custo energético específico”, “economia de energia” e “economia em Reais”;
- Estabelecimento de metas de redução do custo e do consumo específico de energia elétrica e dos combustíveis consumidos na empresa;
- Análise das causas das variações no consumo de energia elétrica e dos combustíveis;
- Gerenciamento do fator de potência indutivo e capacitivo do sistema elétrico local;
- Gerenciamento do fator de carga;
- Controle da demanda de energia;
- Análise dos investimentos visando a melhoria da eficiência energética da empresa e os resultados obtidos; e
- Análise dos contratos de energia, seleção da melhor modalidade tarifária e negociação com as empresas concessionárias.

Os modelos de simulação disponibilizados gratuitamente nos portais do Procel INFO e do DOE na Internet são ferramentas que podem ser utilizadas nas análises e na quantificação de potenciais de economia no consumo de energia na indústria. Após a análise de vários destes modelos, Silva (2013) recomendou, para os principais sistemas consumidores de energia usualmente encontrados na indústria, a utilização dos seguintes simuladores:

- Calor de processo: CRC (Procel) e SSAT (DOE);
- Aquecimento direto: Mark IV (Procel) e PHAST (DOE);
- Força motriz (motores elétricos): BDMotor (Procel);
- Ar comprimido: E3AC (Procel) e AirMaster+ (DOE);
- Bombeamento: PSAT (DOE) e VSD Calculator (DOE);

- Refrigeração e resfriamento: Mark IV (Procel); e
- Ventilação: FSAT (DOE) e VSD Calculator (DOE).

## **3 A Indústria Petroquímica no Brasil e a Braskem**

### **3.1 A indústria química no Brasil**

Os segmentos que compõem as atividades da indústria química passaram a ser contemplados nas divisões 20 e 21 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 2.0, emitida em janeiro de 2007 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE com o apoio da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2012). As tabelas 3.1 e 3.2 apresentam a Divisão 20 – Fabricação de Produtos Químicos e a Divisão 21 – Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos indicados na classificação CNAE 2.0.

No Encontro Anual da Indústria Química (ENAIQ) de 2012, a ABIQUIM informou que, em 2011, a indústria química brasileira ocupou a 6ª posição na indústria química mundial com um faturamento líquido de US\$ 166 bilhões. Em 2012 o faturamento líquido foi de US\$ 159,9 bilhões, correspondendo a 2,8% de participação no PIB brasileiro e 10,5 % no valor adicionado da indústria de transformação (ABIQUIM, 2012; ABIQUIM, 2013; FIGUEIREDO, 2013).

O faturamento líquido da indústria química brasileira em 2013 está indicado na Tabela 3.3, com destaque para a produção de produtos químicos de uso industrial, que representa 44,5% do faturamento desta indústria e é formado por 976 fábricas cadastradas no Guia da Indústria Química Brasileira da ABIQUIM (2013).

**Tabela 3.1 - Divisão 20: Produtos químicos da CNAE 2.0**

<b>Nº</b>	<b>Divisão 20</b>	<b>Produtos químicos</b>
20.1	Produtos químicos inorgânicos	Cloro e álcalis Intermediários para fertilizantes, adubos e fertilizantes Gases industriais Produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente
20.2	Produtos químicos orgânicos	Produtos petroquímicos básicos Intermediários para plastificantes, resinas e fibras Produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente
20.3	Resinas e elastômeros	Resinas termoplásticas Resinas termofixas Elastômeros
20.4	Fibras artificiais e sintéticas	Fibras artificiais e sintéticas
20.5	Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	Defensivos agrícolas Desinfestantes domissanitários
20.6	Sabões e detergentes, produtos de limpeza e polimento, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal	Sabões e detergentes sintéticos Produtos de limpeza e polimento Cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal
20.7	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas, impermeabilizantes e produtos afins	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas Tintas de impressão Impermeabilizantes, solventes e produtos afins
20.9	Produtos e preparados químicos diversos	Adesivos e selantes Explosivos Aditivos de uso industrial Catalisadores Produtos químicos não especificados anteriormente

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIQUIM (2012)

**Tabela 3.2 - Divisão 21: Produtos farmoquímicos e farmacêuticos da CNAE 2.0**

<b>NO</b>	<b>Divisão 21</b>	<b>Produtos farmoquímicos e farmacêuticos</b>
21.1	Produtos farmoquímicos	Produtos farmoquímicos
21.2	Produtos farmacêuticos	Medicamentos para uso humano Medicamentos para uso veterinário Preparações farmacêuticas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIQUIM (2012)

**Tabela 3.3 - Faturamento líquido da indústria química brasileira em 2013**

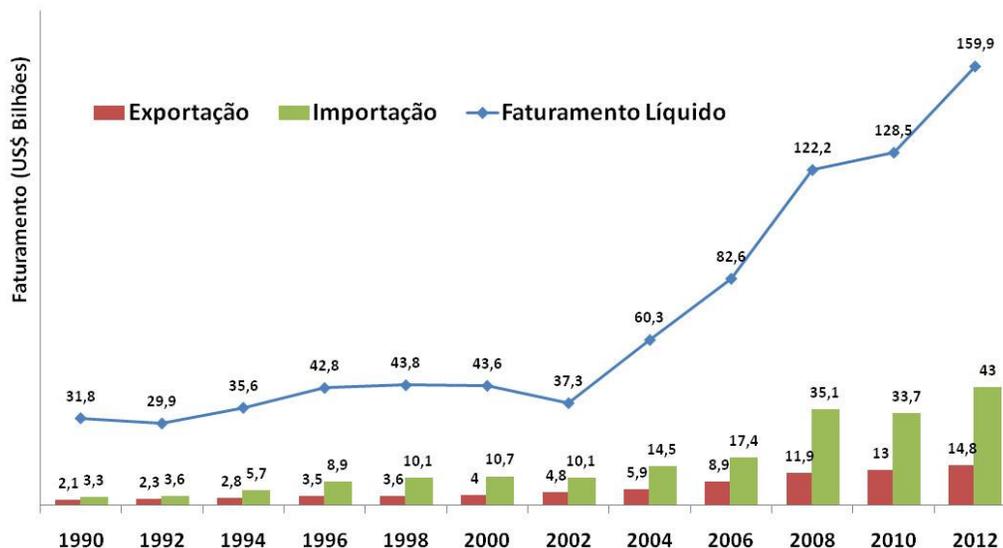
Segmentos	US\$ bilhões	%
Produtos químicos de uso industrial	72,2	44,5
Produtos farmacêuticos	26,5	16,3
Fertilizantes	16,1	9,9
Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	14,7	9,1
Produtos de limpeza e afins	14,8	9,1
Defensivos agrícolas	10,4	6,4
Tintas, esmaltes e vernizes	4,2	2,6
Fibras artificiais e sintéticas	1,2	0,7
Outros	2,2	1,4
<b>Total</b>	<b>162,3</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABIQUIM - ENAIQ (2013)

No ano de 2013 o faturamento das indústrias petroquímicas foi de US\$ 34,9 bilhões, correspondendo a 48% do faturamento do grupo de produtos químicos de uso industrial. O faturamento do segmento de petroquímicos básicos correspondeu a US\$ 12,9 bilhões (ABIQUIM, 2013).

A Figura 3.1 apresenta a evolução do faturamento líquido, exportações e importações da indústria química brasileira no período de 1990 a 2012. A balança comercial desta indústria indica que a maior parte da produção é para o consumo interno, pois o volume das importações neste período foi significativo, com crescimento maior que as exportações, o que tem afetado a competitividade deste segmento industrial.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2013 (EPE/MME, 2013), o consumo energético total da indústria química no Brasil em 2012 foi de 7.482 ktep, sendo que 2.075 ktep, ou 24.123 GWh, correspondeu ao consumo de energia elétrica. Este segmento industrial produziu internamente 2.463 GWh naquele ano, ou seja, 10,2% de seu consumo de eletricidade foi atendido por autoprodução, sobretudo através de unidades de cogeração nas centrais petroquímicas de primeira geração. Os principais combustíveis utilizados nesta autoprodução de eletricidade foram resíduos de petróleo (57,1%), sobretudo gases de processo oriundos do craqueamento da nafta, e gás natural (23,9%).



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIQUIM

**Figura 3.1 - Faturamento líquido, exportações e importações da indústria química brasileira, de 1990 a 2012**

### 3.1.1 Sustentabilidade na indústria química brasileira

A sustentabilidade começou a fazer parte da estratégia competitiva de diversos ramos da indústria. Ela pode contribuir para a competitividade e gerar valor para o negócio através da percepção que a sociedade faz da empresa com relação a uma gestão sustentável no consumo de materiais, uso da água, geração e destinação adequada de resíduos, emissões atmosféricas e uso da energia, entre outros fatores.

Levantamentos sobre a gestão de recursos naturais na indústria brasileira (Tabela 3.4) e gestão ambiental na indústria química no país (Tabela 3.5), publicados pela Análise Editora nos anos de 2011 e 2012, revelam que, em 2010 e 2012, a maioria das empresas industriais pesquisadas ainda não possuía um programa estruturado para a gestão da energia.

**Tabela 3.4 - Indicadores de gestão de recursos naturais no setor industrial brasileiro em 2010**

<b>CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS</b>	<b>2010</b>
<b>Água</b>	<b>%</b>
Monitoramento com indicadores específicos	88,5
Reuso	65,1
Meta de Redução	73,0
Programa estruturado	44,2
Conscientização dos funcionários	80,9
Não desenvolve ações específicas	1,4
<b>Energia Elétrica</b>	<b>%</b>
Monitoramento com indicadores específicos	87,8
Meta de Redução	72,3
Programa estruturado	54,0
Conscientização dos funcionários	77,0
Não desenvolve ações específicas	3,6
<b>Combustíveis Fósseis</b>	<b>%</b>
Monitoramento com indicadores específicos	64
Meta de Redução	44,2
Programa estruturado	28,4
Conscientização dos funcionários	12,9
Não desenvolve ações específicas	25,2
<b>Lenha e carvão</b>	<b>%</b>
Monitoramento com indicadores específicos	75,0
Meta de Redução	50,0
Programa estruturado	25,0
Conscientização dos funcionários	15,4
Não desenvolve ações específicas	7,7
<b>Recursos Minerais</b>	<b>%</b>
Monitoramento com indicadores específicos	71,0
Meta de Redução	42,0
Programa estruturado	37,0
Conscientização dos funcionários	8,0
Não desenvolve ações específicas	21,0

Fonte: Elaboração própria a partir da Análise Editora (2011)

**Tabela 3.5 - Indicadores de gestão ambiental na indústria química, de 2007 a 2012**

<b>QUÍMICA e PETROQUÍMICA</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Número de empresas procuradas		70	100	16	73	66
Número de empresas respondentes da pesquisa	35	53	44	43	39	32
<b>ÍNDICES DE DESEMPENHO DO SETOR</b>						
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Gestão Ambiental</b>	86,0%	86,0%	88,0%	87,0%	88,0%	87,0%
<i>Stakeholders</i>	40,0%	39,0%	39,0%	36,0%	41,0%	39,0%
<b>Certificação ISO 14000</b>		32,0%	37,0%	36,0%	37,0%	38,0%
<b>Água</b>	64,0%	67,0%	73,0%	67,0%	72,0%	68,0%
<b>Eficiência Energética</b>	44,0%	43,0%	47,0%	41,0%	48,0%	44,0%
<b>Fontes Renováveis</b>	10,0%	8,0%	8,0%	6,0%	9,0%	11,0%
<b>Resíduos</b>	63,0%	61,0%	61,0%	56,0%	64,0%	63,0%
<b>Emissões</b>		44,0%	49,0%	44,0%	50,0%	50,0%
<b>Áreas Verdes</b>	46,0%	43,0%	43,0%	34,0%	48,0%	44,0%

Fonte: Elaboração própria a partir de Análise Editora (2012/2014)

A indústria química brasileira adotou o programa Atuação Responsável, que representa um compromisso ético compartilhado pelas empresas associadas à ABIQUIM. O Programa é adotado pela indústria química no mundo (*Responsible Care*) para uma gestão empresarial sustentável.

Fazem parte do Programa:

- Emissões atmosféricas;
- Água: consumo e reuso;
- Efluentes: descarte e destinação;
- Resíduos: classificação e destinação;
- Áreas contaminadas: processo de remediação e monitoramento preventivo; e
- Energia: consumo.

A Tabela 3.6 mostra um histórico, de 2006 a 2012, de indicadores de desempenho do programa Atuação Responsável, da ABIQUIM.

A intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> causada pela queima de combustíveis, indicada na Tabela 3.6, apresentou uma redução de 25% no período considerado, devido aos seguintes fatores (ABIQUIM, 2012):

- A substituição de combustíveis líquidos por combustíveis gasosos;
- O aumento da eficiência da queima com a instalação de queimadores de baixo NO<sub>x</sub> nos grandes fornos e caldeiras;
- O aumento da eficiência dos sistemas de geração de calor; e
- A instalação de sistemas de recuperação de calor dos gases de combustão.

**Tabela 3.6 - Indicadores de desempenho do programa Atuação Responsável, da ABIQUIM, de 2006 a 2012**

<b>INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>2.006</b>	<b>2.007</b>	<b>2.008</b>	<b>2.009</b>	<b>2.010</b>	<b>2.011</b>	<b>2.012</b>
Geração de resíduos sólidos	kg/t	9,3	9,0	8,9	8,2	8,5	7,1	7,1
Destinação dos resíduos sólidos (reciclados, reutilizados e/ou processados)	%	11,7	11,7	14,8	16,4	15,5	25,6	39,0
Perigosos reciclados	%	7,3	6,9	11,3	12,2	14,7	26,1	
Não Perigosos reciclados	%	13,4	13,7	22,2	27,8	24,6	32,6	
Água consumida em processos e produtos	m <sup>3</sup> / t	4,4	4,3	3,9	3,0	3,2	3,6	3,1
Efluentes lançados	m <sup>3</sup> / t	2,4	2,2	2,5	2,0	1,9	1,8	1,3
Efluentes reciclados	%	19,8	20,6	18,0	19,7	20,2	22,4	36,9
Intensidade de emissão de CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq/t	542,0	387,0	340,0	300,0	308,0	300,0	207,0
CO <sub>2</sub> de combustão	kg CO <sub>2</sub> eq/t	333,0	319,0	283,0	256,0	253,0	251,0	
Consumo de combustíveis								
Gás natural	kg/t	48,7	50,0	44,1	35,6	42,2	39,1	
Óleo combustível e carvão	kg/t	29,4	25,7	23,5	21,0	17,8	17,6	
Combustíveis renováveis	kg/t	4,4	3,7	4,5	3,3	4,1	4,9	
<b>Consumo de energia</b>	<b>GJ/t</b>	<b>11,3</b>	<b>10,5</b>	<b>9,2</b>	<b>8,8</b>	<b>9,6</b>	<b>8,4</b>	
Consumo de energia elétrica								
Total	kWh/t	391,0	372,0	360,0	337,0	332,0	313,0	
Comprada	kWh/t	374,0	357,0	345,0	329,0	321,0	305,0	
Gerada e consumida internamente	kWh/t	17,0	15,0	15,0	8,0	11,0	8,0	

Fonte: Elaboração própria com base em ABIQUIM (2012/2013)

A ABIQUIM também monitora, através do programa Atuação Responsável, o número de eventos de segurança de processo por cem plantas da indústria química brasileira. O histórico destes indicadores no período de 2006 a 2012 encontra-se na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7 - Número de eventos de segurança de processo na indústria química brasileira, de 2006 a 2012**

Eventos de segurança de processos (por 100 plantas industriais)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Fogo ou explosão	6,28	7,04	5,74	4,5	4,5	7,39	3,94
Vazamento acima de 2300 kg	0,97	2,82	4,1	5,4	4,05	2,96	3,94
Causaram lesão com afastamento ou morte	10,14	14,08	10,25	13,06	11,26	6,9	9,36

Fonte: ABIQUIM (2013)

### 3.2 A indústria petroquímica

A classificação oficial da indústria química não corresponde à classificação tradicional da indústria petroquímica. Consoante com esta última considera-se, nesta dissertação, que a atividade petroquímica tem início com a produção de eteno e seus co-produtos.

A indústria petroquímica utiliza como matérias-primas básicas a nafta, ou o gás natural.

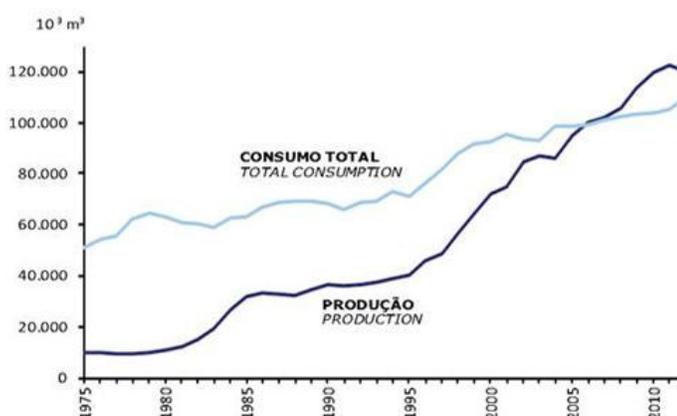
A estrutura da indústria petroquímica brasileira, segundo a ABIQUIM, está representada na Figura 3.2. Esta figura indica as empresas, produtos e o volume de produção deste segmento no ano de 2011.

A produção e o consumo nacional de petróleo no período de 1975 a 2012 foram crescentes, conforme ilustrado na Figura 3.3. O desenvolvimento de tecnologias na área de refino e petroquímica tem contribuído muito para o aumento da quantidade de petróleo processado no Brasil e a previsão da Petrobrás é que sejam programados mais investimentos para suportar este

crescimento, principalmente em função dos resultados positivos da exploração da camada do pré-sal.



Segundo o Plano de Negócios e Gestão da Petrobras para o período de 2012 a 2016, a empresa prossegue a expansão da sua capacidade de refino com a construção da Refinaria Abreu e Lima, em Pernambuco, e do 1º trem do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj). Após a conclusão desses empreendimentos, a capacidade de processamento de petróleo no Brasil em 2016 passará de 2000 para 2400 mil bbl/dia (PETROBRAS, 2012).



Fonte: Balanço Energético Nacional de 2013, Figura 2.2, pág. 42 (EPE/MME, 2013)

**Figura 3.3 - Produção e consumo de petróleo no Brasil, de 1975 a 2012**

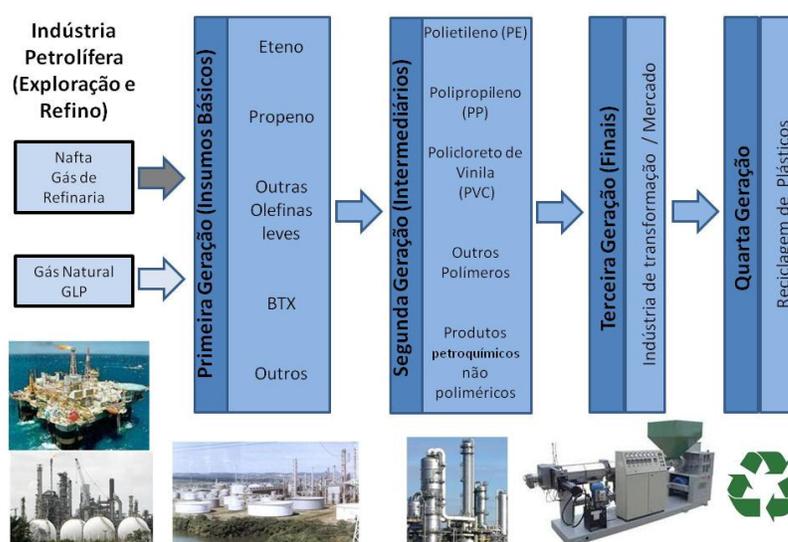
Em 2011 a Braskem concluiu o seu plano de negócio para o Comperj, correspondente à fase de planejamento do pré-projeto, no qual ficou demonstrada a atratividade econômica e ambiental da alternativa baseada no gás natural como matéria-prima para o *cracker* a ser instalado no local. Nos próximos anos a empresa deverá avançar nos estudos para o detalhamento final do projeto, a partir da definição, com a Petrobras, de suas matérias-primas (BRASKEM, 2013).

As empresas da indústria petroquímica são tradicionalmente classificadas, de acordo com o estágio de transformação de suas matérias primas, como empresas de primeira geração, segundo geração e terceira geração. Devido à importância da redução dos resíduos sólidos, a reciclagem

dos plásticos é atualmente considerada como a quarta geração da indústria petroquímica (BRASIL, 2011).

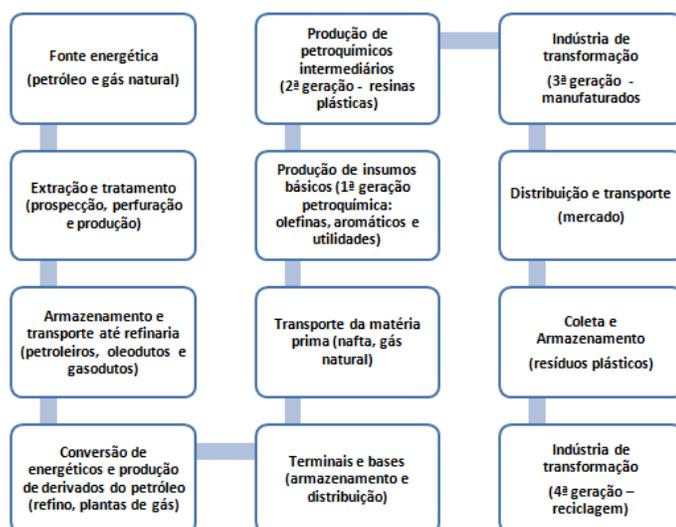
As plantas petroquímicas de insumos básicos (1ª geração) operam de forma integrada em um complexo, ou pólo petroquímico, com as plantas de 2ª geração e, para ganhos de escala, uma central de utilidades atende a maior parte dessas plantas.

As figuras 3.4 e 3.5 apresentam, de forma simplificada, os produtos das gerações petroquímicas e o fluxo da cadeia produtiva petroquímica.



Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2011)

**Figura 3.4 - Estrutura simplificada das gerações petroquímicas**



Fonte: Elaboração própria

**Figura 3.5 - Fluxo simplificado da cadeia produtiva petroquímica**

As empresas de primeira geração brasileiras, denominadas “craqueadoras”, decompõem a nafta, sua principal matéria prima, em petroquímicos básicos. Atualmente, as craqueadoras compram preferencialmente da Petrobras a nafta, que é um subproduto do refino do petróleo. Os petroquímicos básicos produzidos pelas unidades craqueadoras incluem as olefinas, principalmente o eteno, propeno e butadieno, e os aromáticos, como benzeno, tolueno e xilenos, entre outros. A Braskem é responsável pela operação dos pólos petroquímicos das quatro principais unidades craqueadoras do Brasil; ela vende e/ou transfere estes petroquímicos básicos às empresas de segunda geração. A maioria dos produtos petroquímicos básicos é transferida nos pólos petroquímicos, na forma de gases ou líquidos, através de dutovias, para processamento em produtos petroquímicos intermediários nas unidades e empresas de segunda geração.

Os produtos petroquímicos intermediários incluem o polietileno (PE), produzido a partir do eteno, o polipropileno (PP), produzido a partir do propeno, e o policloreto de vinila (PVC), entre outros produtos.

As empresas de terceira geração, conhecidas como transformadoras, compram os produtos petroquímicos intermediários das empresas de segunda geração e os transformam em produtos de uso final para os consumidores, compostos, por exemplo, por resinas plásticas (polietileno,

polipropileno e PVC), fibras acrílicas, náilon e elastômeros. As empresas de terceira geração produzem uma variedade de bens industriais e de consumo, incluindo utensílios plásticos, sacolas de plástico, filmes, garrafas plásticas, fios têxteis, detergentes, tintas, pneus, peças automotivas, brinquedos e bens eletrônicos.

As empresas de quarta geração, conhecidas como recicladoras, após o uso e o descarte feito pelos consumidores, coletam e reprocessam produtos derivados de plástico, transformando-os novamente em alguns produtos de uso final para o mercado consumidor.

### **3.3 A Braskem**

A Braskem integrou no Brasil a operação de suas unidades petroquímicas de primeira e segunda geração buscando obter vantagens competitivas, como escala de produção e eficiência operacional nos três principais pólos petroquímicos que foram construídos nos estados de São Paulo, Bahia e Rio Grande do Sul.

A empresa tem a operação de suas unidades industriais direcionada para a produção de insumos petroquímicos básicos, como eteno, propeno, butadieno, cloro e soda, solventes e resinas termoplásticas - polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC). As resinas termoplásticas produzidas pela Braskem têm como principais matérias-primas os derivados de petróleo (nafta, condensado e gás de refinaria), gás natural e o etanol.

A sua formação e o processo de crescimento ocorreram a partir do ano de 1979, quando a Odebrecht iniciou os investimentos do grupo no segmento petroquímico. A Braskem foi criada a partir da integração societária da central de matérias primas (Copene) do Pólo Petroquímico de Camaçari com outras cinco empresas de segunda geração. Atualmente a empresa tem como acionistas principais a Odebrecht e a Petrobrás. Ela possui 36 unidades industriais, 29 no Brasil, 5 nos Estados Unidos e 2 na Alemanha. A Tabela 3.8 apresenta uma sequência histórica dos principais fatos que marcaram o envolvimento e o crescimento da participação do Grupo Odebrecht na indústria petroquímica brasileira.

**Tabela 3.8 - Eventos marcantes na evolução da participação do Grupo Odebrecht na indústria Petroquímica no Brasil**

<b>Ano</b>	<b>Histórico resumido das aquisições das unidades industriais petroquímicas</b>
<b>1979</b>	A Odebrecht entra no setor petroquímico como acionista da Companhia Petroquímica de Camaçari (CPC), produtora de PVC.
<b>1980</b>	A Odebrecht adquire participação no capital da Salgema, de Alagoas, fabricante de cloro soda, e em outras empresas: Poliolefinas (produtora de polietilenos); PPH (fabricante de polipropileno) e na Unipar (holding de empresas petroquímicas).
<b>1990</b>	O governo brasileiro através da Petrobrás Química (Petroquisa) inicia o processo de privatização do setor petroquímico.
<b>1990</b>	A Odebrecht torna-se acionista das empresas Copesul (Central de matérias-primas do pólo petroquímico do Rio Grande do Sul); integra as empresas PPH e a Poliolefinas, criando a OPP Petroquímica S.A. e também a Salgema e a CPC, criando a Trikem S.A.
<b>2001</b>	Em parceria com o Grupo Mariani, a Odebrecht adquire o controle da Copene (Central de matérias-primas do pólo petroquímico de Camaçari), no estado da Bahia, e inicia um processo de integração de unidades petroquímicas de primeira e de segunda geração.
<b>2002</b>	A Braskem é formada no estado da Bahia a partir da integração societária de seis empresas: Copene (Companhia Petroquímica do Nordeste), OPP, Trikem, Nitrocarbono, Proppet e Polialden.
<b>2006</b>	A Braskem adquire a Politeno, empresa brasileira produtora de polietileno.
<b>2007</b>	A Braskem adquire os ativos petroquímicos do Grupo Ipiranga.
<b>2008</b>	A Braskem incorpora a Ipiranga Petroquímica e a Petroquímica Paulínia.
<b>2009</b>	A Braskem incorpora a Petroquímica Triunfo.
<b>2010</b>	A Braskem concluiu a negociação para aquisição da Quattor.
<b>2012</b>	A Braskem inaugura mais uma unidade de PVC no estado de Alagoas.
<b>2013</b>	A Braskem adquire ativos da unidade da Solvay Indupa, produtora de PVC e soda, no estado de São Paulo.

Fonte: Elaboração própria com base em Braskem (2013)

### 3.3.1 Importância no cenário nacional

A Braskem é uma empresa privada, controlada pelo Grupo Odebrecht e Petrobrás. Os principais resultados econômicos da empresa – receita bruta, receita líquida e EBITDA - no período de 2010 a 2012 estão indicados na Tabela 3.9.

A capacidade de produção das unidades da Braskem é superior a 16 milhões de toneladas de produtos petroquímicos básicos e resinas termoplásticas por ano.

**Tabela 3.9 - Resultados econômicos da Braskem de 2010 a 2012**

Resultado Econômico	Unidade	2010	2011	2012
Receita Bruta	US\$ bilhões	19,7	23,2	21,6
Receita Líquida		15,8	19,4	18,2
EBITDA		2,3	2,2	2,0

Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem (2013)

A capacidade de produção de eteno em cada um das quatro unidades de insumos básicos (UNIBs) da Braskem no ano de sua instalação e em 2012, assim como a evolução da capacidade instalada total destas unidades, a produção total de eteno e a utilização da capacidade instalada no período de 2010 a 2012 estão indicados na Tabela 3.10. O gás natural é a matéria prima utilizada na UNIB RJ, enquanto que a nafta alimenta as UNIBs de SP, BA e RS.

A Figura 3.6 apresenta a evolução da capacidade de produção de eteno, eteno verde e resinas em todas as unidades da Braskem no período de 2002 a 2012.

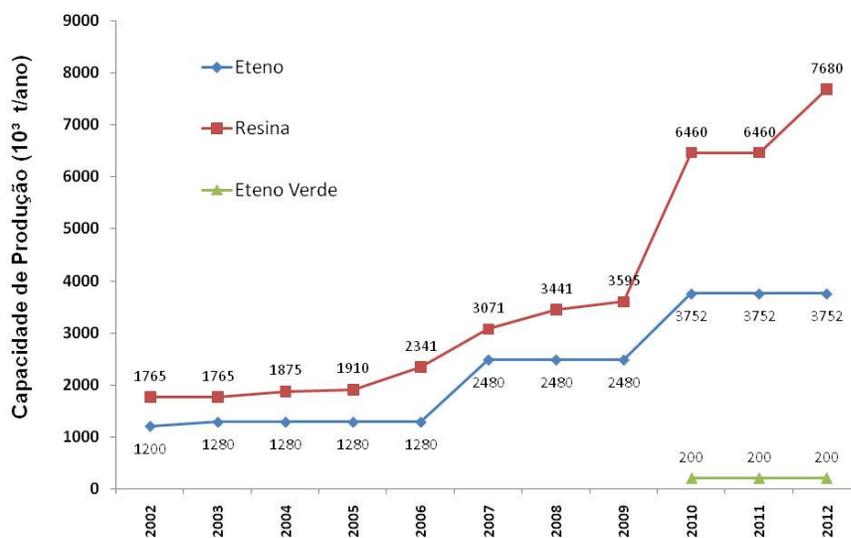
**Tabela 3.10 - Tabela 3.10 – Estatística da capacidade de produção e a produção de eteno das UNIBs**

Capacidade de Produção de Eteno	UNIB	Partida	Cap.	Cap. 2012
	SP	1972	300 k t	700 k t
	BA	1978	380 k t	1280 k t
	RS	1982	420 k t	1252 k t
	RJ	2005	520 k t	520 k t

Ano	Unidade	2010	2011	2012
Capacidade de Produção de Eteno	10 <sup>3</sup> t	3752	3752	3752
Produção de Eteno	10 <sup>3</sup> t	3276,6	3119,2	3329,8
Utilização da capacidade instalada	%	87,3	83,1	88,7

Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem (2013)



Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem (2013)

**Figura 3.6 - Capacidade de produção de eteno, eteno verde e resinas, da Braskem, de 2002 a 2012**

### 3.3.2 A internacionalização da empresa

Com o objetivo de aumentar a sua competitividade, diversificar a sua matriz de matérias-primas e atingir novos mercados, a partir de 2010 a empresa decidiu realizar investimentos na Argentina, México, EUA e Alemanha, conforme indicado na Tabela 3.11.

Segundo o *ranking* elaborado pela *Chemical & Engineering News* (2013) e apresentado na Tabela 3.12, a empresa está entre as vinte maiores indústrias químicas do mundo.

**Tabela 3.11 - Internacionalização da Braskem**

<b>Ano</b>	<b>Processo de aquisição e internacionalização da Braskem</b>
<b>2010</b>	A Braskem inicia a internacionalização da operação da empresa fora do Brasil com a aquisição e a incorporação dos ativos de fábrica de polipropileno da norte-americana Sunoco Chemicals.
<b>2011</b>	A Braskem adquire ativos de polipropileno da Dow Chemical: duas fábricas nos Estados Unidos e duas na Alemanha.
<b>2013</b>	A Braskem adquire ativos da Solvay Indupa, produtora de PVC e soda na Argentina. Em andamento o desenvolvimento do investimento com a PEMEX-Gás do México do projeto de construção do complexo petroquímico base gás - unidade de etileno (Projeto integrado eteno/PE) no valor de US\$ 4,5 bilhões.

Fonte: Elaboração própria com base em Braskem (2013)

**Tabela 3.12 - Posição da Braskem no ranking mundial das indústrias químicas**

2012	2011	Empresa	Vendas (US\$ milhões 2012)	Sede	Lucro operacional (%)
1	1	BASF	79.760	Alemanha	8,2
2	2	Dow Chemical	56.786	USA	7,8
3	3	Sinopec	56.442	China	0,1
4	-	Shell	42.715	Holanda	na
5	5	SABIC	42.201	Arábia Saudita	29,6
6	4	ExxonMobil	38.726	USA	12,6
7	6	Formosa Plastic	36.412	Taiwan	4
8	8	LyondellBasell Industries	32.847	Holanda	13,2
9	7	Dupont	30.216	USA	15,5
10	9	Mitsubishi Chemical	28.427	Japão	1
11	11	Bayer	25.570	Alemanha	10,7
12	12	Ineos Group Holdings	23.387	Suíça	2,7
13	15	LG Chem	20.897	Coréia do Sul	8,1
14	13	AkzoNobel	19.789	Holanda	6
15	19	Sumitomo Chemical	19.042	Japão	1,9
16	18	Air Liquide	18.698	França	18,3
17	16	Braskem	18.179	Brasil	3,5
18	20	Reliance Industries	17.646	Índia	7,6
19	14	Mitsui Chemical	17.617	Japão	0,3
20	21	Toray Industries	17.289	Japão	6,7

Fonte: Elaboração própria a partir de *Chemical & Engineering News (Global top 50, 2013)*

### 3.3.3 Crescimento com sustentabilidade

Entre os macro objetivos estabelecidos pela liderança da Braskem para crescer com sustentabilidade, foram definidos sete macro objetivos prioritários de atuação:

- Ser referência em segurança química;
- Reduzir a intensidade de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs);

- Aumentar a eficiência hídrica;
- Aumentar a eficiência energética;
- Ser o maior produtor de resinas termoplásticas a partir de matéria-prima renovável;
- Contribuir para reduzir o impacto dos resíduos plásticos pós-consumo;
- Ser percebido como importante agente de desenvolvimento humano.

Os relatórios anuais e os relatórios de sustentabilidade da Braskem são elaborados com base nas diretrizes da *Global Reporting Initiative* (GRI), organização sem fins lucrativos que desenvolve e dissemina globalmente orientações para a elaboração de relatórios de sustentabilidade. Estes relatórios são validados através de verificação externa independente, feita pela *Det Norske Veritas* (DNV).

Os relatórios apresentam informações sobre indicadores econômico-financeiros, sociais e ambientais, bem como as práticas de governança corporativa da empresa.

Os macro objetivos estabelecidos pela empresa para um gerenciamento sustentável estão indicados na Tabela 3.13. Para cada um desses objetivos há iniciativas em andamento e outras planejadas para ocorrer até o ano de 2020.

**Tabela 3.13 - Macro objetivos para um gerenciamento sustentável na Braskem**

<b>MACRO OBJETIVO</b>	<b>TEMA</b>	<b>AÇÕES</b>	<b>DIMENSÃO</b>
<b>Gases de Efeito Estufa</b>	Redução das emissões GEE (mudanças climáticas)	Produção mais limpa, com menor consumo de recursos e emissão de resíduos	Ambiental Econômica
<b>Eficiência energética</b>	Conservação de energia	Redução do consumo de energia e tornar-se uma importante usuária de energia de fonte reciclável	Ambiental Econômica
<b>Eficiência hídrica</b>	Redução no consumo	Reciclar e reutilizar	Ambiental Econômica
<b>Segurança química</b>	Saúde das pessoas e segurança operacional	Preservação da saúde, treinamento e capacitação Segurança das instalações	Ambiental Social Econômica
<b>Biopolímeros</b>	Química Verde (tecnologia e inovação)	Desenvolvimento de novos produtos a partir de matéria prima renovável	Ambiental Econômica
<b>Pós - consumo</b>	Produtos e serviços	Análise das fases dos ciclos de vida dos produtos e serviços, reciclagem plásticos	Ambiental Social Econômica
<b>Pessoas</b>	Relacionamento com os parceiros e gestão da saúde das pessoas (imagem)	Treinamento e capacitação Preservação da saúde e requisitos legais dos trabalhadores e da comunidade	Social Econômica

Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem (2013)

### **3.3.4 Manutenção, confiabilidade e eficiência energética**

A Braskem possui procedimentos que orientam as unidades industriais na gestão dos ativos e seu desempenho operacional.

No Manual de Gerenciamento da Manutenção e Confiabilidade (MGMC), por exemplo, há um capítulo que indica ações para identificar oportunidades relativas às perdas de produção.

Neste capítulo são estabelecidas metodologias para medição, acompanhamento e análise da produtividade (eficácia e eficiência) e para a identificação de restrições na produção das unidades industriais, que envolvem:

- Cálculo do Índice de Eficiência Global (IEG) e o impacto dos seus componentes nos resultados;
- Cálculo de perdas no processo de produção, tais como excesso de estoque de matérias-primas e produtos acabados e consumos específicos elevados de matérias primas, utilidades e insumos energéticos;
- Identificação e priorização de oportunidades de melhoria em relação às perdas identificadas, com os resultados expressos em termos financeiros.

### **3.4 A UNIB - SP**

Conforme relatado no capítulo 1, em 2012 foi realizado um diagnóstico energético, que teve a participação do autor desta dissertação, na UNIB – SP, também designada como UNIB 3 ABC por se localizar na região do ABC, no Estado de São Paulo. Esta unidade de insumos básicos da Braskem é o principal objeto de análise nesta dissertação, tanto no que diz respeito às conclusões e recomendações do diagnóstico energético supracitado, como na avaliação do seu atual sistema de gestão de energia e formulação de propostas de melhorias neste sistema.

A Figura 3.7 mostra uma vista aérea da UNIB 3 ABC, que pode receber nafta, sua principal matéria prima, de quatro refinarias e um terminal marítimo no Estado de São Paulo, aos quais está conectada através de dutovias. Um gasoduto de etileno conecta a central petroquímica com o pólo petroquímico de Cubatão.



Fonte: Braskem

**Figura 3.7 - Vista aérea da UNIB 3 – ABC**

O Pólo de Capuava, também conhecido como Pólo do Grande ABC, foi o primeiro pólo petroquímico instalado no Brasil. Ele se localiza na divisa dos municípios de Santo André e Mauá e iniciou suas atividades em 1972. Foi viabilizado via capital privado de um grupo empresarial de São Paulo, o Grupo União, com parceria do governo e aporte de capital estrangeiro, um modelo institucional que ficou conhecido como "modelo tripartite". O capital estatal foi representado pela Petroquisa, subsidiária da Petrobras para o setor petroquímico. O capital estrangeiro foi importante para agregar tecnologia. Por conta do nome do grupo empresarial supracitado, a central petroquímica que fornece insumos básicos para as empresas de 2ª geração do Pólo recebeu a denominação Petroquímica União (PQU). Na época de sua inauguração, sua capacidade de produção de etileno era de 300.000 ton/ano.

Ao longo da década de noventa houve uma redução significativa da participação estatal no segmento petroquímico, que foi reestruturado para fazer face à concorrência internacional. Encerrou-se o modelo tripartite. As ações da Petroquímica União pertencentes à Petroquisa (67,8%) foram leiloadas em 1994 e seu controle acionário, cuja composição se alterou posteriormente, foi distribuído entre vários grupos, entre os quais a União de Indústrias Petroquímicas (Unipar), com 30,01%, a própria Petroquisa, com 17,47%, Sociedade Anônima dos Empregados da Petroquímica (SEP), 9,84%, Banco Itaú S.A., 7,58%, e Odebrecht Química S.A., 7,00%.

Para diminuir a emissão de poluentes, o óleo combustível consumido na PQU foi paulatinamente substituído por gás natural, fornecido pela Comgás, no período de 1994 a 2000.

Em 1996 houve um aumento da capacidade de produção de etileno para 460.000 ton/ano.

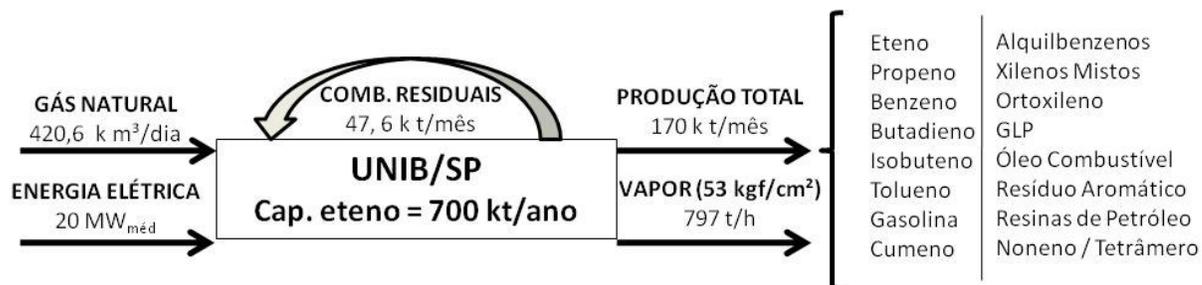
Em 2007 houve um processo de consolidação da indústria petroquímica brasileira, no qual a Petrobrás teve um papel fundamental. O emaranhado de participações acionárias foi reduzido a apenas duas empresas: a Quattor, formada pela Petrobrás/Petroquisa e Unipar, que passou a controlar a PQU e lhe emprestou seu nome, e a Braskem, onde a estatal participa junto com o grupo Odebrecht.

Um *revamp* da central, em 2008, aumentou sua capacidade de produção de etileno, de 460 mil ton/ano para 700 mil ton/ano.

A última mudança societária envolvendo a central petroquímica do ABC ocorreu em 2010, quando a Braskem adquiriu a Quattor e esta central passou a ser designada como UNIB 3 ABC. A aquisição da Quattor mudou a estrutura societária da Braskem e fortaleceu a parceria entre os seus principais acionistas; couberam à Odebrecht e à Petrobrás participações de 50,1% e 47%, respectivamente, do capital votante da Braskem. A partir daquele ano, as duas empresas, juntas, compartilham as decisões estratégicas da Braskem.

A UNIB 3 ABC produz os insumos básicos indicados na Figura 3.8. A produção total destes insumos tem variado bastante nos últimos anos, em função do desempenho oscilante da economia brasileira e dos mercados dos produtos fabricados a partir destes insumos, mas o valor indicado na Figura 3.8, 170.000 tons/mês, é um valor médio representativo das produções verificadas no triênio 2010 - 2012.

O eteno é o carro-chefe desta cesta de produtos, sendo responsável por uma parcela que tem variado entre 35% e 45% da produção total. A UNIB 3 ABC possui capacidade de produção de 700 mil toneladas de eteno por ano.



Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem

**Figura 3.8 - Produtos, produção e matriz energética da UNIB 3 ABC**

Dos demais produtos, os que possuem as participações mais elevadas na produção total desta central são o propeno, de grau de polímero e de grau químico (16% a 20% da produção total), benzeno (7% a 14% do total) e gasolina A (9% a 13% do total).

Conforme indicado na Figura 3.8, a matriz energética da UNIB 3 – ABC é formada por combustíveis residuais, gás natural e energia elétrica. A figura indica os consumos necessários destes insumos para se ter uma produção total de 170.000 tons/mês.

A maior parte dos combustíveis residuais consumidos na UNIB 3 – ABC provém de processos da própria central: gases combustíveis, um subproduto líquido denominado Unileve, resíduos da corrente C4 e butadieno (quando a demanda por este produto no mercado cai); uma pequena parte é constituída por gás de processo de refinarias que alimentam a planta.

A planta utiliza o gás natural como complemento dos combustíveis residuais, que são sua principal fonte de energia. O gás natural é misturado com os gases residuais; todas as caldeiras e fornos da central podem consumir esta mistura. O consumo, em termos energéticos, dos combustíveis residuais é muito maior do que o de gás natural; a participação deste último no consumo total de combustíveis da central tem se situado entre 11% e 15%.

Os principais usos finais dos combustíveis consumidos na central são calor de processo (geração de vapor) e aquecimento direto em fornos. Vapor gerado em alta pressão movimenta turbinas que, por seu turno, acionam geradores elétricos (autoprodução de eletricidade) e compressores, enquanto que o vapor de média e de baixa pressão é empregado no aquecimento de processos.

O principal uso final da energia elétrica na planta é em força motriz, no acionamento de motores elétricos.

A UNIB 3 – ABC é composta por duas plantas separadas: uma planta de craqueamento a vapor, que é dividida em uma seção de olefinas e outra de aromáticos, e uma planta, adjacente, de produtos intermediários, que tem uma parte onde se produz cumeno e outra que contém as instalações de hidrogenação.

Na central há dois tipos de fornos: 17 fornos de pirólise da nafta e os fornos dos produtos aromáticos.

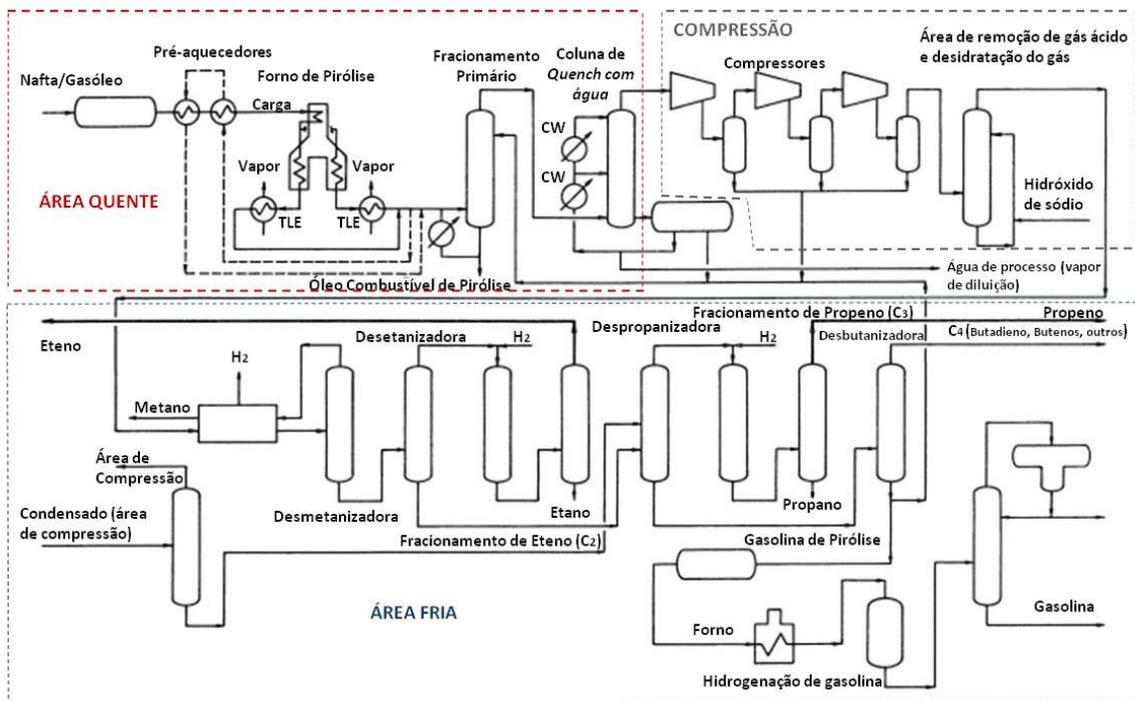
A UNIB 3 ABC possui colunas de destilação nas seções de olefinas e de aromáticos.

O processo de produção de etileno e de seus co-produtos a partir da nafta envolve quatro etapas: a pirólise da nafta, o fracionamento e resfriamento dos produtos, a sua compressão e a destilação. Estas etapas estão ilustradas na Figura 3.9, que também indica a designação das áreas de uma central petroquímica em que elas ocorrem.

As Figuras 3.10 a 3.12 apresentam fotos da UNIB 3 ABC com indicações destas áreas. A “área quente” compreende os fornos, as colunas de fracionamento primário e as colunas de resfriamento com água (*quenching*).

Vapor é gerado de duas maneiras na planta de craqueamento a vapor da UNIB 3 - ABC: em caldeiras de recuperação de calor dos fornos de pirólise e em caldeiras convencionais, que produzem um total de 797 toneladas por hora.

Nas 23 caldeiras de recuperação de calor dos fornos de pirólise, de 20 ton/h cada, o vapor é gerado à pressão de 114 kgf/cm<sup>2</sup> manométricos e 482 °C, que é usado para produzir energia elétrica nos turbo - geradores. Expandido a 53 kgf/cm<sup>2</sup> man, na saída de duas turbinas de contrapressão (capacidade instaladas de 17 MW e 8,7 MW) dos turbo - geradores, esse vapor se junta ao vapor gerado nas caldeiras, também a 53 kgf/cm<sup>2</sup> manométricos, sendo então utilizado na planta, nessa pressão (54 kgf/cm<sup>2</sup> man) e em pressões mais baixas (21 kgf/cm<sup>2</sup> e 4 kgf/cm<sup>2</sup>), mediante rebaixamento.



Fonte: Elaboração própria a partir de Matar e Hatch (2000)

**Figura 3.9 - Etapas do processo de produção de etileno a partir da nafta**



Fonte: PQU

**Figura 3.10 - “Área quente” na UNIB 3 ABC**



Fonte: PQU

**Figura 3.11 – “Área de compressão” na UNIB 3 ABC**



Fonte: PQU

**Figura 3.12 - “Área fria” na UNIB 3 ABC**

A central possui quatro caldeiras convencionais aquatubulares com capacidade de 80 ton/h e 45 anos de idade e duas caldeiras com capacidade de 150 ton/hora, uma delas com 41 anos de idade e a outra com 17 anos. A temperatura do vapor nas caldeiras mais antigas é de 400 °C e na mais nova é de 420 °C. As caldeiras de 80 ton/h também podem queimar óleo residual. O objetivo, na operação das caldeiras, é queimar todo o gás e óleo residual disponíveis, de forma a minimizar a compra do gás natural.

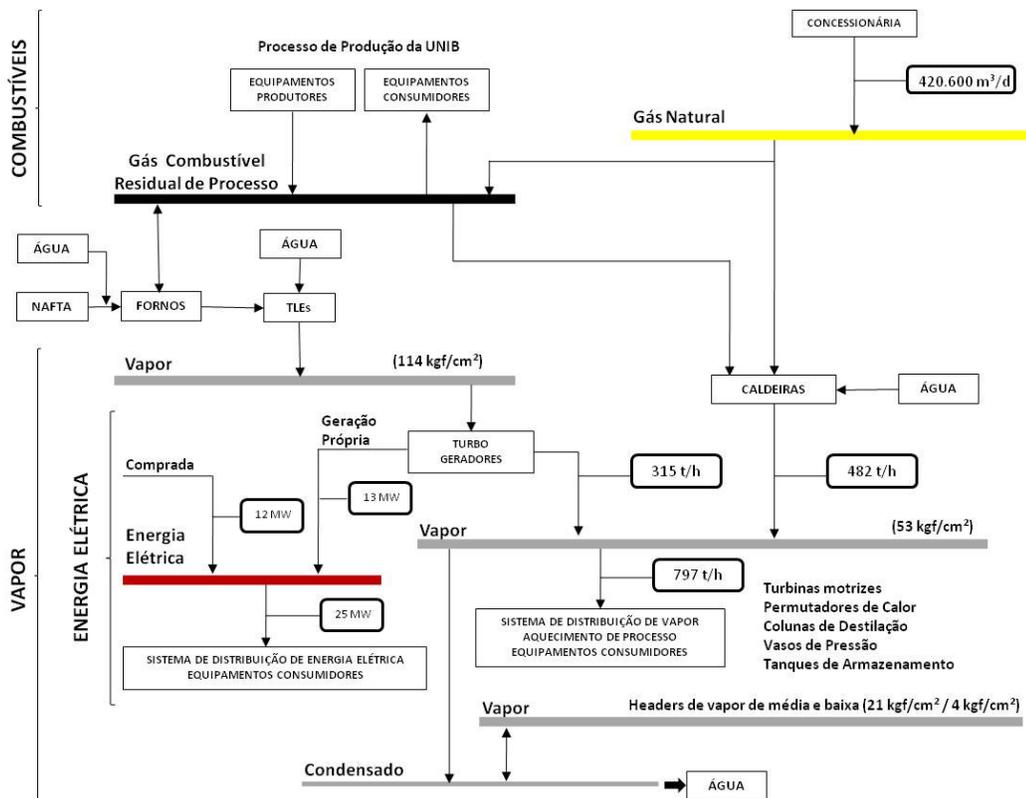
Quatro turbinas a vapor acionam compressores de gás de processo: turbina do compressor principal – 30 MW, turbina do compressor de etileno – 7 MW, turbina do compressor de propileno – 30 MW e turbina do compressor *booster* – 5 MW. Três delas são do tipo extração-condensação e uma é de contrapressão. O vapor entra nas turbinas a 53 kgf/cm<sup>2</sup> e é extraído a 21 kgf/cm<sup>2</sup>, para suprir demandas de processos da planta de craqueamento a vapor.

A linha de vapor a 21 kgf/cm<sup>2</sup> alimenta várias turbinas de contrapressão, que acionam uma variedade de tipos de equipamentos (compressores de ar, ventiladores de caldeiras, bombas da água de alimentação de caldeiras, bombas de água de resfriamento e bombas de processo). O vapor de exaustão destas turbinas, a 4 kgf/cm<sup>2</sup>, é consumido em processos da planta de craqueamento a vapor.

As linhas alimentadoras de vapor, em diversos níveis de pressão, e as demandas de vapor, nestes níveis, na planta de craqueamento da central são balanceadas através de redutores de pressão.

A energia elétrica gerada nos turbo - geradores da UNIB 3 ABC supre apenas uma parte das necessidades elétricas da planta, sendo que o complemento é comprado da concessionária local de energia elétrica, a AES Eletropaulo, e de um produto independente, a Capuava Energy.

A Figura 3.13 ilustra, de uma maneira simplificada, uma geração e um consumo de eletricidade e de vapor típicos na planta de craqueamento a vapor da UNIB 3 – ABC. A pressão do duto de alimentação da mistura gás residual-gás natural é controlada através da quantidade de gás natural injetada no duto.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela PQU e Comgás, conferidos no diagnóstico energético de 2012

**Figura 3.13 - Geração e consumo de eletricidade e de vapor típicos na planta de craqueamento a vapor da UNIB 3 ABC**

A planta de produtos intermediários da UNIB 3 ABC possui três caldeiras aquatubulares que queimam a mistura de gás residual e gás de processo. Elas geram vapor superaquecido a 25 kgf/cm<sup>2</sup> e 300 °C. A capacidade de produção de duas destas caldeiras é 20 ton/h e a da terceira é 40 ton/h. A produção média diária é de 18 ton/h.

O sistema de vapor da planta de produtos intermediários é muito mais simples do que o sistema da planta de craqueamento a vapor. Ele não possui unidade de cogeração, mas tem algumas turbinas de contrapressão de simples estágio que acionam componentes auxiliares, tais como ventiladores de ar de combustão e bombas, que, em geral, permanecem como reserva (“*backup*”).

Na UNIB 3 ABC há três compressores de ar com capacidade de 3.900 m<sup>3</sup>/h e 45 anos de idade, dois compressores de ar de 7.000 m<sup>3</sup>/h e idade de 17 anos e um compressor de ar de 12.000 m<sup>3</sup>/h, adquirido mais recentemente. Todos eles são compressores centrífugos e operam, em paralelo, a uma pressão de 7 kgf/cm<sup>2</sup>. Um dos compressores de 3.900 m<sup>3</sup>/h é acionado por uma turbina a vapor; todos os demais são acionados por motores elétricos. Tipicamente só operam dois, ou três compressores simultaneamente, incluindo o que é acionado por turbina a vapor.

O sistema de ar comprimido da central também possui três tanques de armazenamento e dois compressores alugados, acionados por motores diesel, que funcionam como *back up*, só operando quando há interrupções do suprimento externo, ou da geração interna de eletricidade da planta.

O consumo de ar comprimido da planta é dividido em duas partes: o que é demandado por instrumentos, que precisa ser seco e filtrado, e o que vai para o processo em geral, que não passa por estas operações.

A central possui duas torres de resfriamento, de tiragem induzida e fluxo cruzado, na planta de craqueamento a vapor e duas outras torres, do mesmo tipo, na planta de produtos intermediários.

## **4 Gestão da Energia na Braskem e na UNIB 3 ABC**

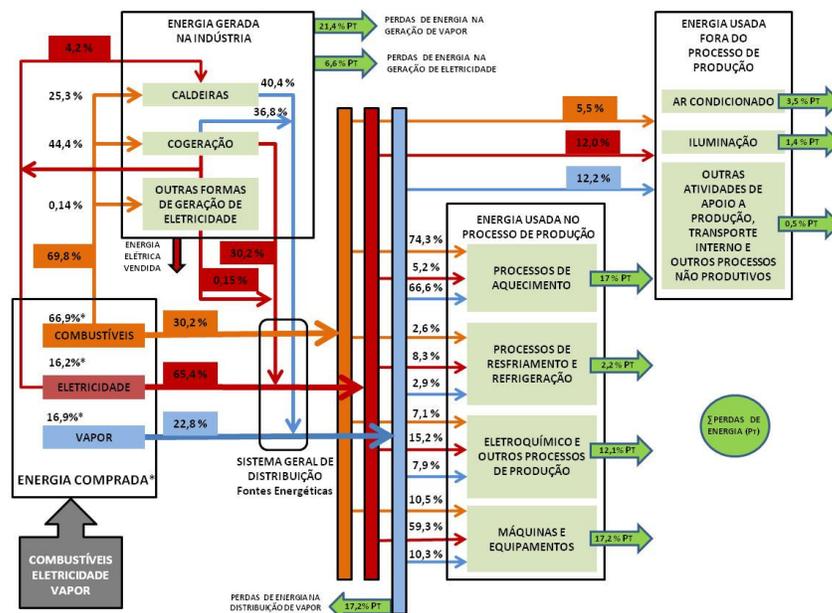
### **4.1 Gestão da energia na indústria química e as melhores tecnologias disponíveis no mercado**

A indústria química no mundo é uma grande consumidora de energia; ela responde por aproximadamente 10% do consumo energético total e pela emissão de 7% dos gases de efeito estufa (GEEs) do setor industrial.

Desde 1974, a indústria química nos Estados Unidos diminuiu pela metade seu consumo de energia por unidade de produção e desde 1990 reduziu as suas emissões de GEEs em 13%. Na Europa, a energia utilizada por unidade de produção química em 2010 foi 53% menor do que em 1990. Na Ásia, a indústria química japonesa reduziu seu consumo específico de energia em 2012 para 85% do nível de 1990. Desde 2001, a indústria química brasileira tem diminuído suas emissões de GEEs, oriundas do uso de combustíveis e produzidas em seus processos, em 17%.

Cerca de 90% dos processos químicos envolvem o uso de catalisadores para aumentar a taxa de reação. O desenvolvimento tecnológico dos catalisadores e a aplicação das melhores tecnologias disponíveis no mercado (BATs) nos processos de produção na indústria química oferecem um potencial importante para aumentar a eficiência energética e diminuir a emissão de GEEs. Projeções do ICCA (2013) indicam que o consumo energético específico médio da indústria química no mundo poderia diminuir em 2050 para a metade de seu valor em 2010 com a adoção das melhores tecnologias disponíveis no mercado.

A Figura 4.1 ilustra a distribuição dos fluxos de combustíveis, vapor e eletricidade na indústria química, segundo dados compilados pelo DOE (2012).



Fonte: Elaboração própria com base em dados da DOE (2012)

**Figura 4.1 - Distribuição dos fluxos de combustíveis, vapor e eletricidade na indústria química mundial**

Os insumos da indústria química incluem fontes não renováveis de energia, como derivados de petróleo (nafta) e gás natural, que são utilizados como matérias-primas na fabricação de produtos não energéticos, como os produtos petroquímicos utilizados na fabricação de resinas plásticas e os fertilizantes empregados na agricultura.

Os insumos energéticos representam uma parcela significativa dos custos operacionais na indústria química, podendo chegar a até 85% nas empresas petroquímicas que utilizam como matérias-primas grandes quantidades de insumos energéticos.

As principais matérias-primas petroquímicas utilizadas no processo de craqueamento nas plantas petroquímicas de insumos básicos são a nafta, o gás natural e o gás liquefeito de petróleo (GLP). O etileno é o mais importante produto produzido nessas unidades. Na Europa e na Ásia, o etileno é produzido principalmente a partir de nafta, que é refinado do petróleo bruto. Na América do Norte e no Oriente Médio, onde há disponibilidade de gás natural barato, o etileno é produzido a partir de etano, que é fabricado utilizando o gás natural como matéria-prima, a um custo inferior ao custo da nafta obtida a partir de petróleo (EIA, 2013).

A Tabela 4.1 mostra os consumos energéticos específicos das melhores tecnologias disponíveis no mercado (BATs) para se produzir eteno a partir de etano e a partir da nafta, enquanto que a Tabela 4.2 apresenta a distribuição do consumo de energia entre as etapas do processo de fabricação de eteno por pirólise, ou craqueamento a vapor, utilizando estas duas matérias-primas.

**Tabela 4.1 - Consumos energéticos específicos, em GJ/t, para se produzir eteno a partir do etano e a partir da nafta, utilizando as melhores tecnologias disponíveis no mercado**

BATs	Consumos específicos de energia
Craqueamento a partir do etano	12,5 GJ/t
Craqueamento a partir da nafta	11,0 GJ/t

Fonte: Elaboração própria a partir de Worrell *et al.* (2008)

**Tabela 4.2 - Distribuição do consumo de energia pelas etapas do processo de fabricação de eteno, a partir de etano e a partir da nafta**

Etapas do processo de produção de eteno	Etano	Nafta
Reação	21%	20%
Aquecimento e perdas gerais	26% - 32%	45% - 47%
Compressão	16% - 22%	13% - 15%
Separação	31%	20%

Fonte: Elaboração própria a partir de Worrell *et al.* (2000)

Uma análise da Tabela 4.2 indica que as buscas por ganhos de eficiência energética na fabricação de eteno a partir da nafta, como ocorre majoritariamente no Brasil, devem priorizar a etapa de aquecimento e perdas gerais, seguida das etapas de reação e separação, e, finalmente, compressão, nesta sequência.

A empresa de consultoria Solomon é uma tradicional supridora de serviços de *benchmarking* para a indústria química no mundo. Por conta disto, ela possui os melhores dados para se realizar comparações de consumos energéticos específicos praticados em várias regiões do mundo na fabricação de produtos químicos.

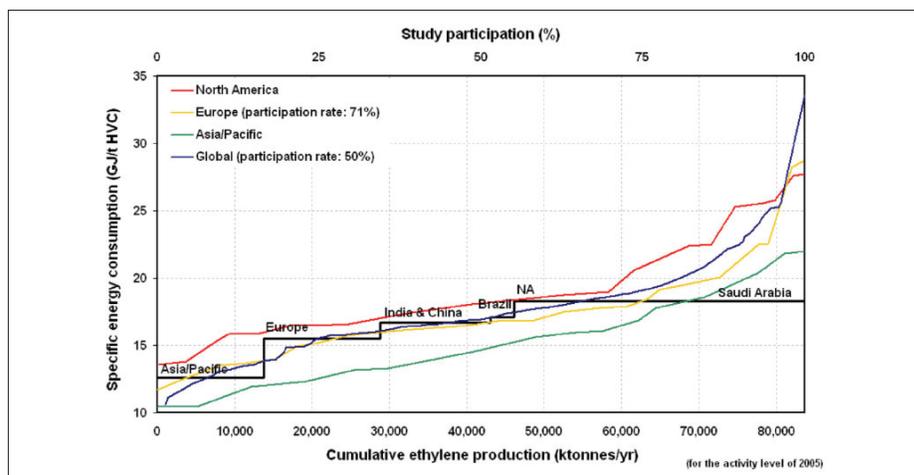
A Tabela 4.3 e a Figura 4.2 apresentam valores médios de consumos energéticos específicos de centrais petroquímicas que produzem etileno e coprodutos de alto valor agregado, tais como propeno, butadieno, benzeno e hidrogênio em países – Brasil, China, Índia e Arábia Saudita – e conjuntos de países – Europa, América do Norte e Ásia – Pacífico, segundo levantamentos da Solomon realizados em 2006.

A Tabela 4.3 também apresenta os consumos energéticos específicos das melhores tecnologias disponíveis (BATs) por região e no mundo como um todo, em 2005. Com base nos valores médios observados e nos consumos específicos das melhores tecnologias, foi possível se calcular os potenciais técnicos de melhoria em cada país, ou região, que também estão indicados na Tabela.

**Tabela 4.3 - Valores médios e mínimos de consumos energéticos específicos, em GJ/t, e potenciais técnicos de melhorias, em %, de centrais petroquímicas produtoras de etileno e coprodutos, por países e regiões selecionadas**

Regiões/países	Valores médios de consumos energéticos específicos em 2006	Valores mínimos (BATs) de consumos energéticos específicos em 2005	Potenciais técnicos de melhoria	Matéria prima utilizada no processo
Europa	15,6 GJ/t	13,7 GJ/t	20%	Nafta
América do Norte	18,3 GJ/t	15,8 GJ/t	32%	Gás natural
Ásia - Pacífico	12,6 GJ/t	11,2 GJ/t	1%	
China	17,1 GJ/t		27%	
Índia	17,1 GJ/t		27%	
<b>Brasil</b>	<b>18,3 GJ/t</b>		<b>32%</b>	<b>Nafta</b>
<b>Mundo</b>	<b>16,9 GJ/t</b>	<b>12,5 GJ/t</b>	<b>25%</b>	

Fonte: Elaboração própria a partir de UNIDO (2010)



Fonte: UNIDO (2010, p. 39)

**Figura 4.2 - Consumos energéticos específicos, em GJ/t, de centrais petroquímicas produtoras de etileno e coprodutos, por países e regiões selecionadas**

Uma análise da Tabela 4.3 e da Figura 4.2 revela que o desempenho energético médio das centrais petroquímicas produtoras de etileno e coprodutos no Brasil em 2005-2006, atualmente todos elas pertencentes à Braskem, foi inferior ao desempenho médio desta indústria no mundo e que o potencial técnico de melhorias deste desempenho no País é de 32%.

Em um trabalho realizado para a Confederação Nacional da Indústria (CNI), Bajay *et al.* (2010) estimaram um potencial técnico de conservação de energia de 29% na produção de etileno no Brasil, com base em dados levantados em 2006. Este valor está próximo do apresentado na Tabela 4.3.

## 4.2 Gestão da energia na Braskem

A área de energia da Braskem, que até 2013 estava concentrada em uma única diretoria, atua para reduzir o consumo de energia através do estabelecimento de metas de consumo energético específico, em GJ/tonelada, para cada unidade industrial. O desempenho é monitorado mensalmente e os indicadores de eficiência energética têm sido divulgados, na rede interna da

empresa para toda a organização, possibilitando a comparação, entre as unidades industriais, dos resultados obtidos e a correção de desvios, quando necessário.

As metas e os resultados consolidados por unidade compõem os indicadores corporativos, que são publicados no relatório anual, divulgado no portal da empresa na Internet.

Para alcançar as metas propostas, são adotadas as seguintes estratégias: (i) gestão do portfólio de contratos de energia; (ii) desenvolvimento de projetos de cogeração, para aumento da confiabilidade no suprimento; e (iii) diversificação e otimização da matriz energética, através da identificação de oportunidades para melhorias na eficiência energéticas das fábricas.

A diretoria de energia atua na compra, regulação e comercialização de energia elétrica, consumo de combustíveis, auto-produção de energia e acompanha os novos projetos da empresa em relação às demandas energéticas futuras, entre outras atividades.

As equipes de engenharia de processo, operação e manutenção nas plantas industriais consolidam mensalmente os consumos específicos das utilidades e avaliam oportunidades para ganhos na eficiência energética através do acompanhamento de indicadores de desempenho, tais como:

- Energia elétrica (kWh/t);
- Água clarificada (m<sup>3</sup>/t);
- Água tratada (m<sup>3</sup>/t)
- Vapor (t/t)
- Gases industriais (m<sup>3</sup>/t)
- Efluentes (m<sup>3</sup>/t)
- Resíduos (kg/t)

Os indicadores de desempenho energético da companhia são comparados com indicadores da indústria petroquímica em outros países e com os indicadores das melhores tecnologias deste setor disponíveis no mercado (BATs).

A engenharia de processo faz o mapeamento energético das unidades produtivas para entender como funcionam os equipamentos / rotinas e controles operacionais, com o objetivo de

aproveitar ao máximo o potencial dos sistemas operacionais, identificar gargalos, executar estudos de engenharia e apresentar soluções.

As equipes de engenharia de segurança das fábricas acompanham as emissões de resíduos e de gases de efeito estufa (GEEs).

As áreas corporativas de energia e qualidade, segurança, saúde e meio ambiente (QSSMA) consolidam os indicadores de sustentabilidade da companhia, bem como publicam os resultados.

Entre os principais objetivos dos trabalhos visando ganhos de eficiência energética na Braskem destacam-se:

- Redução dos custos e do consumo de energia (GJ/t) para melhorar a rentabilidade do negócio;
- Desenvolvimento de uma cultura de eficiência energética em todas as unidades industriais;
- Capacitação e formação de especialistas em energia;
- Busca de sinergia entre as plantas, para se obter ganhos de produtividade e confiabilidade;
- Desenvolvimento de um processo estruturado e padronizado para a gestão da eficiência energética;
- Sistematização do processo de diagnóstico energético, em atendimento aos requisitos da ISO 50.001; e
- Identificação de oportunidades de melhoria, sua priorização, elaboração de planos de ação e implantação das melhorias selecionadas nas unidades industriais.

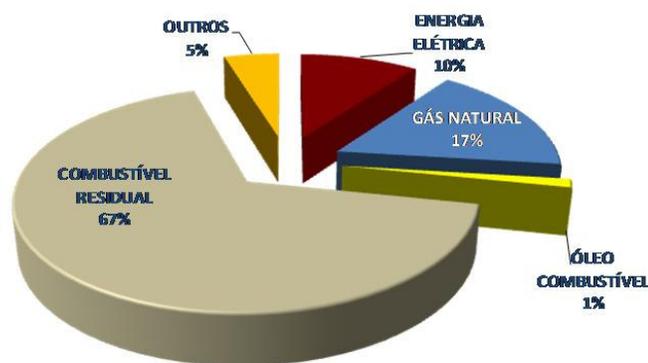
Durante o período de 2015 a 2020 a empresa está prevendo alcançar a mesma intensidade de consumo energético que as melhores empresas petroquímicas de grande porte no mundo.

#### **4.2.1 Indicador de eficiência energética da Braskem**

A Braskem utiliza aproximadamente 2% de toda a energia consumida no Brasil e 5% da consumida pelo parque industrial do país. Quando se analisa a indústria química, a demanda da empresa ultrapassa 50% do total, evidenciando a importância da empresa no cenário energético nacional.

Com características heterogêneas na idade das plantas, carga e tecnologias de processos, as 29 unidades industriais da empresa no Brasil utilizam fontes de energia diversificadas, tais como gás natural, óleo combustível, carvão mineral, energia elétrica e combustíveis residuais (óleo e gás gerados no processo industrial).

A energia térmica gerada por gás natural, carvão mineral, óleo combustível e combustíveis residuais representa 90% da matriz energética da Braskem, conforme ilustrado na Figura 4.3. Estes combustíveis são queimados em fornos e caldeiras nas unidades industriais, para atender as necessidades energéticas dos processos da produção.



Fonte: Braskem

**Figura 4.3 - Matriz energética da Braskem**

Com relação aos indicadores correspondentes aos macro objetivos da gestão sustentável, que incluem o consumo específico de energia, a empresa apresentou o desempenho, no período 2002 – 2013, indicado na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 - Indicadores de sustentabilidade da Braskem**

<b>Indicadores</b>	<b>Unidade</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Geração de Efluentes</b>	m <sup>3</sup> /t	1,94	1,74	1,40	1,50	1,34	1,28	1,44	1,40	1,24	1,32	1,18	1,21
<b>Geração de Resíduos</b>	kg/t	9,78	4,52	3,53	3,28	3,41	3,10	3,38	2,40	2,21			2,19
<b>Consumo de Água</b>	m <sup>3</sup> /t	4,14	3,97	3,83	4,25	4,26	4,29	4,50	3,83	4,15	4,48	4,23	4,27
<b>Volume de água reciclada e reutilizada</b>	%									20,70	18,49	23,8	
<b>Consumo específico de energia</b>	GJ/t	<b>11,90</b>	<b>11,47</b>	<b>11,12</b>	<b>11,55</b>	<b>11,46</b>	<b>11,47</b>	<b>11,83</b>	<b>11,27</b>	<b>10,65</b>	<b>10,77</b>	<b>10,59</b>	<b>10,62</b>
<b>Intensidade de emissão de GEE</b>	tCO <sub>2</sub> e/t							0,72	0,68	0,64	0,62	0,63	0,63

Fonte: Elaboração própria a partir de Braskem

A Tabela 4.4 revela um ganho de 10,8% na eficiência energética do conjunto das plantas da Braskem durante os 12 anos representados na tabela.

Segundo um estudo do EPE/MME (2014) sobre as unidades petroquímicas que produzem eteno no Brasil, que atualmente pertencem todas à Braskem, o consumo total de energia elétrica nestas plantas em 2013 foi de 6208 GWh, incluindo uma autoprodução de 2459 GWh. Como a produção foi de 3,65 milhões de toneladas de eteno (97,4% da capacidade instalada) naquele ano, o consumo específico de energia elétrica foi de 1590 kWh/t. Considerando que a ocupação da capacidade instalada das plantas de eteno varia de 81,5% (média do segmento químico) a 97,4%, com uma média de 86,4% (média das plantas de eteno indicada na tabela 3.9) e que o consumo de energia elétrica varie de uma forma linear com a utilização da capacidade instalada, a Tabela 4.5 indica que o consumo específico de energia elétrica varia de 0,37 a 0,44 GJ/t nas plantas de eteno.

**Tabela 4.5 - Consumo específico de energia elétrica nas plantas de eteno no Brasil**

<b>Utilização da capacidade instalada das plantas de eteno</b>	<b>kWh/t</b>	<b>GJ/t</b>
97,36 %	1590	0,44
86,4 %	1411	0,40
81,5 %	1331	0,37

Fonte: Elaboração própria com base em EPE/MME (2014)

#### **4.2.2 Eficiência energética da UNIB 3 ABC**

A Tabela 4.6 mostra a evolução dos consumos energéticos específicos das UNIBs da Braskem entre 2009 e 2012.

**Tabela 4.6 - Consumos energéticos específicos das UNIBs da Braskem, em GJ/t, de 2009 a 2012**

<b>UNIBs</b>	<b>Unidade</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>UNIB 1 BA</b>	GJ/t	16,50	16,79	17,68	17,09
<b>UNIB 2 RS</b>	GJ/t	14,22	13,77	13,74	14,54
<b>UNIB 3 ABC</b>	GJ/t	18,18	15,51	16,25	20,34
<b>UNIB 4 DCX</b>	GJ/t	22,45	21,19	21,34	19,91

Fonte: Elaboração própria com dados da Braskem

Verifica-se, na Tabela 4.6, que a UNIB 3 ABC é a que apresentou maiores oportunidades de melhoria entre as quatro UNIBs da Braskem em 2012 e que seu consumo energético específico aumentou 25,2% de 2011 para 2012. Estes fatos explicam porque esta unidade foi escolhida para sediar o primeiro diagnóstico energético realizado por técnicos do DOE em plantas da Braskem e que teve a participação do autor desta dissertação.

Utilizando a média aritmética dos consumos energéticos específicos da UNIB 3 ABC na Tabela 4.6, 17,6 GJ/t, e o consumo energético específico indicado na Tabela 4.3 como sendo o da melhor tecnologia disponível no mercado para se produzir etileno, 11,2 GJ/t, calcula-se um potencial técnico de conservação de energia de 36,4% nesta central.

## **5 Ganhos Potenciais de Eficiência Energética em uma Central Petroquímica de 1ª Geração, em geral, e na UNIB 3 ABC, em particular**

Neste capítulo se descreve, inicialmente, uma central petroquímica de 1ª geração, que pode utilizar nafta ou gás natural como matérias-primas, seus principais processos e equipamentos, e os fatores que afetam o seu rendimento energético. A seguir, são apresentadas medidas que podem propiciar ganhos de eficiência energética, junto com estimativas da ordem de grandeza destes ganhos. Finalmente, apresenta-se o diagnóstico energético realizado na UNIB 3 ABC por uma equipe de técnicos do *U. S. Department of Energy* e que contou com a participação do autor desta dissertação, as medidas de conservação de energia propostas no diagnóstico e as estimativas da energia economizada com estas medidas e os períodos de *pay back* dos investimentos requeridos.

Os maiores ganhos potenciais de eficiência energética em uma planta petroquímica de 1ª geração residem, principalmente, nos sistemas e equipamentos associados aos seguintes usos finais da energia: (i) “calor de processo”, sobretudo na geração e distribuição de vapor e nas colunas de destilação; (ii) “aquecimento direto”, em fornos; e (iii) “força motriz”, com destaque para os sistemas de bombeamento e de compressão. Logo, as discussões deste capítulo se concentram sobretudo nestes sistemas e equipamentos.

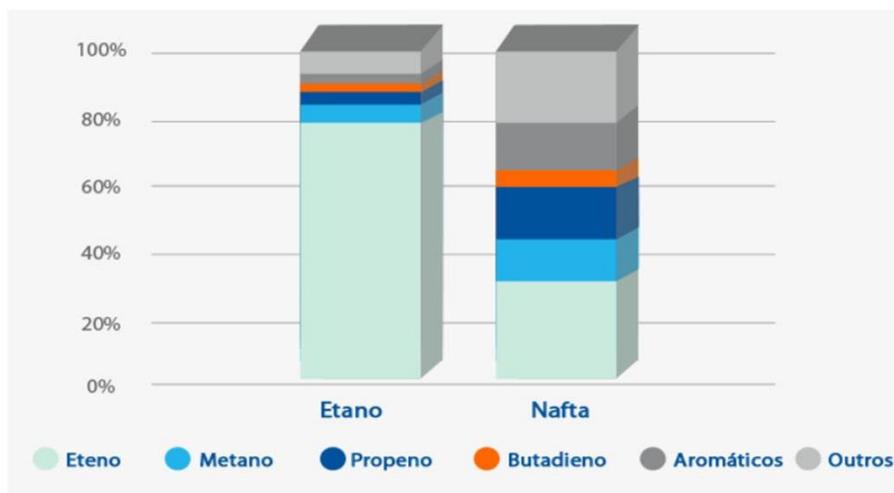
### **5.1 Caracterização de uma central petroquímica de 1ª geração**

De acordo com Leite (2013), as capacidades típicas das unidades de pirólise para produção de eteno aumentaram nas últimas três décadas de 500 mil toneladas por ano para mais de 1,5 milhões de toneladas por ano. O investimento unitário na década de setenta nas plantas de eteno

baseadas em nafta, que era de aproximadamente US\$ 1.000/t de etileno por ano, nos últimos anos tem se situado em torno de US\$ 1.400/t por ano, devido ao aumento global nos custos de engenharia, fabricação e construção.

Segundo a Braskem (2013), o principal processo de produção de eteno, através do craqueamento de hidrocarbonetos, responde por 98% da produção mundial. O processo de craqueamento pode ser feito com uma variedade de hidrocarbonetos, cuja origem pode ser o gás natural (etano, propano e butano), ou o petróleo (nafta e condensado).

A utilização de diferentes tipos de matérias-primas resulta em diferentes produtos no processo de fracionamento. A Figura 5.1 apresenta um comparativo dos rendimentos dos diversos produtos obtido em um *cracker* a partir do etano e a partir da nafta.

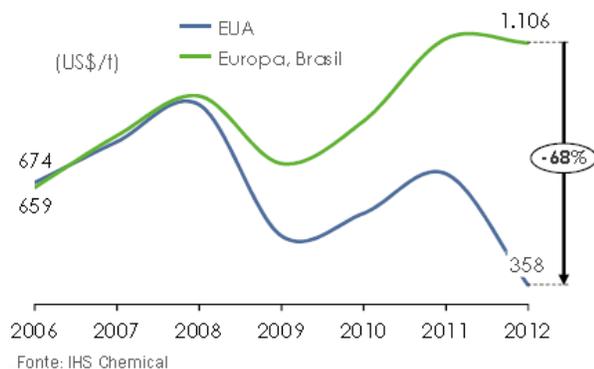


Fonte: Braskem (2013)

**Figura 5.1 - Rendimentos de produtos petroquímicos obtidos em um cracker: nafta vs. etano como matéria-prima**

A nafta é uma das matérias primas mais importante para a obtenção de produtos petroquímicos nas indústrias de primeira e segunda geração. A partir do processo de craqueamento, a nafta é decomposta e gera eteno, propeno e aromáticos, entre outros produtos. Estes produtos de primeira geração petroquímica são utilizados na produção de resinas plásticas, que compõem a segunda geração petroquímica.

Segundo Fadigas (2013), o custo de produção de eteno a partir da nafta no Brasil em 2012 foi de US\$ 1.106 por tonelada, sendo 68% maior que o obtido nos EUA a partir do etano (gás natural), conforme indicado na Figura 5.2.



Fonte: Fadigas (2013)

**Figura 5.2 - Custo de produção de eteno, de 2006 a 2012: nafta vs. etano como matéria-prima**

Na indústria, em geral, o gás natural é utilizado como combustível para fornecimento de calor e geração de eletricidade e de força motriz. Sua utilização como matéria-prima ocorre nos setores químico e petroquímico, principalmente para a produção de metanol, e nas fábricas de fertilizantes, para a produção de amônia e uréia. Quando há uma maior disponibilidade de gás natural, a indústria petroquímica se desenvolve utilizando essa matéria-prima, como ocorre nos Estados Unidos e no Oriente Médio (BRASIL *et al.*, 2011).

O gás de refinaria é utilizado nas refinarias como combustível para fechar o balanço energético local e, quando há excedentes, pode ser transferido para centrais petroquímicas, usualmente através de gasodutos.

### 5.1.1 O processo de produção de petroquímicos básicos

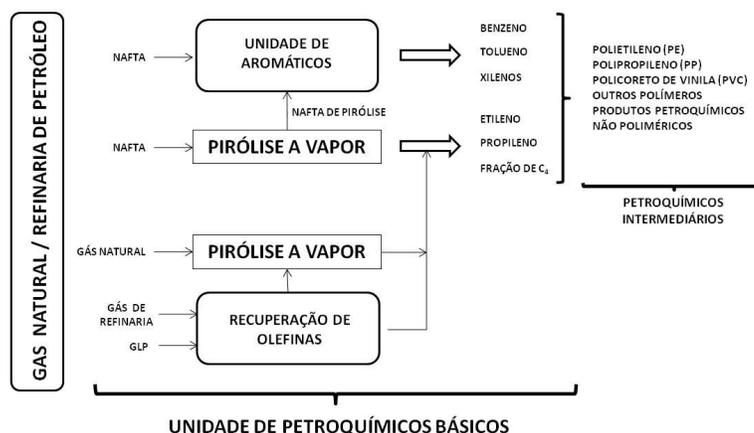
Conforme relatado no capítulo 3, o processo de produção de petroquímicos básicos envolve basicamente o aquecimento, compressão, resfriamento e a separação das correntes de hidrocarbonetos que são geradas sob condições controladas de temperatura e pressão, a partir das matérias-primas utilizadas na planta.

A produção começa com a pirólise a vapor (*steam cracking*), onde ocorre o craqueamento térmico de cargas líquidas ou gasosas. As cargas de nafta, ou gás natural são aquecidas em fornos de pirólise, na presença de vapor d'água para reduzir a pressão parcial dos hidrocarbonetos e a formação de coque, a altas temperaturas (maiores que 700°C), com tempos de residência de 0,1 a 0,5 segundos e em baixas pressões (menores que 200 kPa), gerando principalmente o eteno<sup>1</sup>, entre outros produtos, conforme está indicado na Figura 5.3. As reações químicas que ocorrem nos tubos verticais instalados nos fornos de pirólise são endotérmicas, absorvendo o calor da combustão que provém da zona de radiação (Brasil *et al.*, 2011; Leite, 2013).

Após os fornos, a corrente de efluentes segue para uma caldeira de recuperação de calor - TLE (*transfer line exchanger*), onde a temperatura da corrente de produtos é reduzida para a faixa de 280°C a 300°C, interrompendo as reações de craqueamento para reduzir a perda de rendimento de eteno e propeno, devido à polimerização, evitar a formação de depósitos (coque) nos tubos e recuperar parte da energia fornecida à carga nos fornos. A caldeira de recuperação de calor é utilizada na geração de energia elétrica, através de uma unidade de cogeração.

---

<sup>1</sup> Eteno: hidrocarboneto de fórmula química C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, utilizado na formulação de polietileno, poliestireno, PVC e MEG, entre outros produtos petroquímicos.

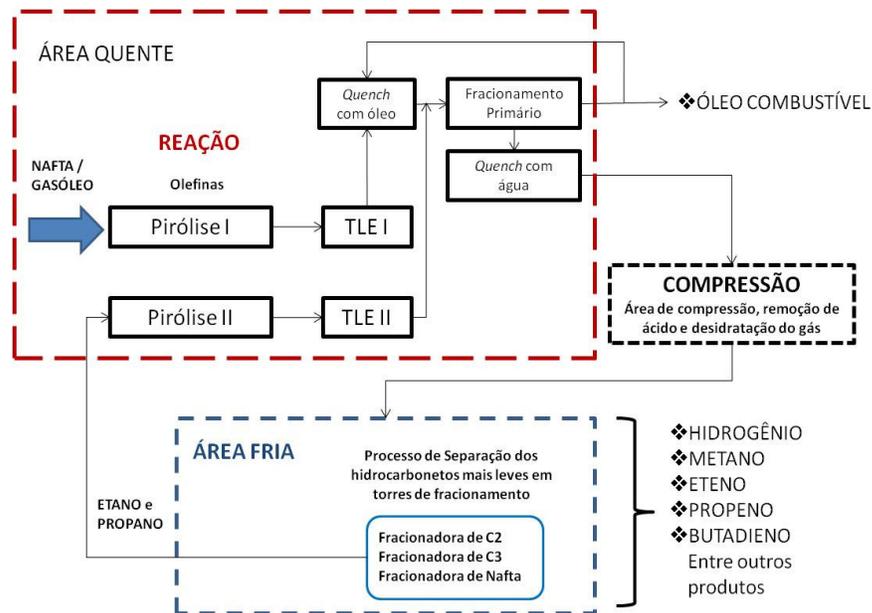


Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2011)

**Figura 5.3 - Esquema da produção de produtos petroquímicos básicos**

Na “área quente” da central, o efluente do TLE é resfriado rapidamente (*quenching*). Nas plantas que operam com nafta, o resfriamento é feito inicialmente com óleo combustível. O efluente segue para uma torre fracionadora gerando duas correntes: a corrente de topo (fase vapor) é resfriada com água e encaminhada para uma unidade de compressão; e a corrente de fundo, óleo combustível, é parcialmente utilizada no próprio resfriamento rápido (*quenching*). A corrente na fase vapor é comprimida e tratada para a remoção de gás ácido e água na área de compressão. Em seguida, os vapores contendo as olefinas desejadas são enviados para uma “área fria”, onde são separados os hidrocarbonetos mais leves em uma série de torres de fracionamento, conforme indicado, de uma forma simplificada, nas Figuras 5.4 e 3.9.

Segundo Leite (2013), o rendimento do *steam cracking* varia em função do tipo de carga, pois para frações com maior relação hidrogênio/carbono, a produção diminui, como indicado na Tabela 5.1, quando a carga passa de etano para nafta. Os rendimentos do *steam cracking* dependem de outros parâmetros, tais como: severidade (percentual de conversão da carga em produto), tipo de forno e condições operacionais; no entanto, a qualidade da carga é determinante. O ideal é que a carga tenha o maior teor de n-parafinas possível, não contenha olefinas, para evitar a formação de coque, e também que o valor da aromaticidade da corrente (BMCI) seja, no máximo, 20.



Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2011)

**Figura 5.4 - Diagrama de blocos de uma unidade de pirólise de cargas líquidas**

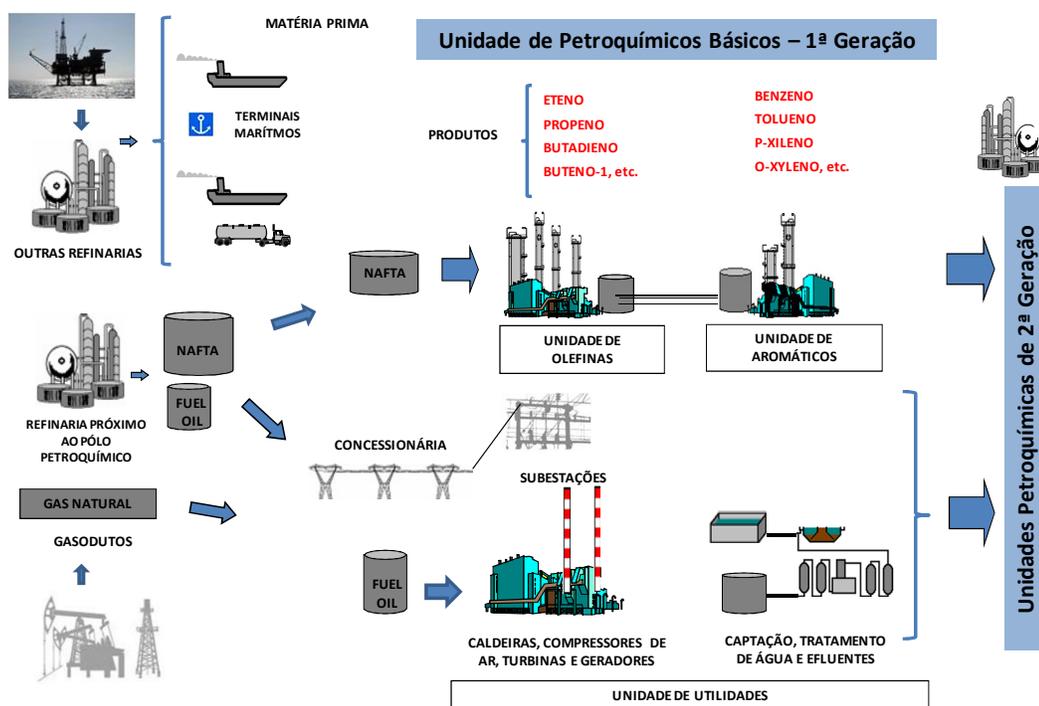
**Tabela 5.1 - Rendimento do *steam cracking* conforme a carga**

PRODUTOS (%)	CARGA DE ETANO	CARGA DE NAFTA
Gás combustível	13,8%	18%
Eteno (Etileno)	84%	35%
Propeno (Propileno)	1,2%	18%
Gasolina de pirólise	0,8%	20%
Óleo combustível	0,2%	9%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaboração própria com base em Leite (2013)

Conforme indicado na Figura 5.5, as unidades de utilidades das plantas de insumos básicos produzem energia elétrica, através de plantas de cogeração, vapor, que é utilizado em alta, média e baixa pressão, ar comprimido, para as redes de ar de instrumentos e ar de serviço, água

clarificada, potável e desmineralizada, e gases (oxigênio e nitrogênio). Estas utilidades são usadas nos seus próprios processos de produção, bem como são vendidas para empresas de segunda geração que fazem parte dos pólos petroquímicos.



Fonte: Elaboração própria

**Figura 5.5 - Visão geral da produção de uma central de petroquímicos básicos**

As unidades de insumos básicos são energo-intensivas. A maior parte dos energéticos consumidos é proveniente do craqueamento da nafta e as variáveis que exercem influência no processo são a temperatura e a pressão de reação, o tempo de residência no forno e a razão entre o vapor e a carga (BRASIL *et al.*, 2011).

Nas unidades de olefinas, onde é produzido eteno e propeno, há o maior consumo de energia nas plantas de insumos petroquímicos básicos, devendo ser o foco dos programas de eficiência energética. A grande oportunidade de otimização, em termos de eficiência energética,

está em assegurar que as plantas de olefinas operem sempre o mais próximo possível da sua capacidade de projeto. Essa condição assegura uma elevada produção de petroquímicos comercializáveis, com um baixo consumo energético específico.

Se as unidades de olefinas estiverem operando próximo da capacidade de projeto, as unidades de aromáticos também irão operar buscando maximizar a produção. Consequentemente, a necessidade de geração de vapor nas caldeiras convencionais será menor, pois as plantas de olefinas irão produzir uma maior quantidade de vapor em suas caldeiras de recuperação de calor, diminuindo a demanda de combustíveis para as caldeiras convencionais.

O combustível normalmente queimado nos fornos de pirólise é uma mistura de gás combustível residual do processo de produção, complementado por gás natural, quando este é disponível, como na UNIB 3 ABC. Portanto, uma maior disponibilidade de gás residual significa um menor consumo de gás natural.

O consumo de energia no processo de craqueamento representa aproximadamente 70% do consumo de energia em uma planta que produz eteno a partir da nafta; os 30% restantes envolvem as áreas de compressão e separação.

O consumo de energia nas plantas petroquímicas pode ser afetado principalmente por deficiências nas instalações, ou em sua operação (recuperação de calor abaixo do previsto, falhas no isolamento térmico, combustão não otimizada, falhas em sistemas de controle, entre outras), falhas nos equipamentos principais que provoquem paradas não programadas (fornos, caldeiras, torres de destilação, compressores, geradores), emergências de processo (interrupção no fornecimento de energia elétrica para as plantas, vazamentos, descargas para o *flare*), operação em baixa carga, incrustações nos trocadores de calor afetando as trocas térmicas, deficiências no rendimento de equipamentos rotativos, entre outros fatores.

## **5.1.2 Tratamento da água, geração e distribuição de vapor, destilação e processos de resfriamento**

Tanto a geração, distribuição e utilização de vapor como processos de resfriamento em uma central petroquímica de 1ª geração requerem água tratada.

Perdas na descarga de fundo de caldeiras e nos purgadores dos sistemas de distribuição de vapor, assim como condensados não recuperados após a utilização do vapor precisam ser repostos.

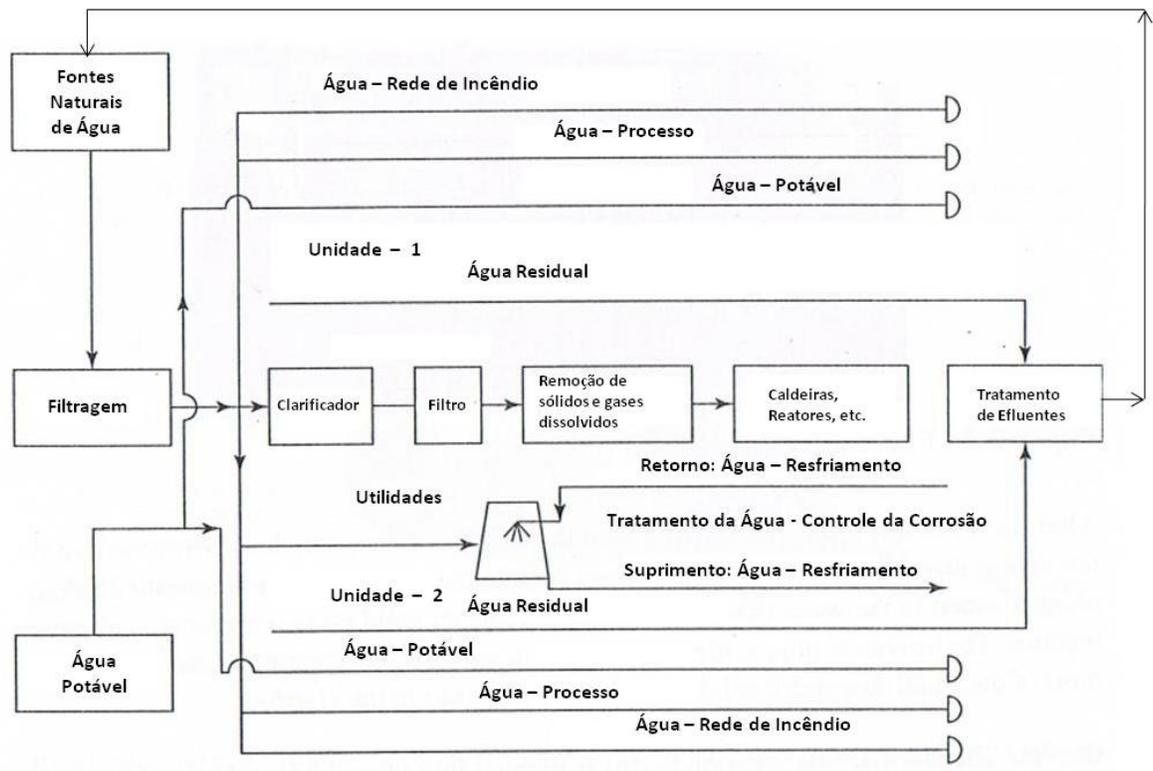
Processos de resfriamento envolvem a transferência de calor latente devido à vaporização de uma parte da água e, também, a transferência de calor sensível devido à diferença de temperatura entre a água e os fluidos de processo. A água evaporada precisa ser reposta.

A qualidade da água de reposição nas instalações petroquímicas é muito importante, pois a presença de impurezas leva à formação de incrustações e depósitos que podem causar corrosão nas superfícies metálicas, dificultar a transferência de calor nos processos operacionais, bem como, provocar a saída de operação de equipamentos para limpeza e/ou manutenção.

### 5.1.2.1 Sistema de tratamento de água

A unidade de tratamento de água (UTA) nas plantas petroquímicas de insumos básicos visa atender as necessidades das empresas do pólo em água clarificada para uso industrial, água potável e água desmineralizada para alimentação das caldeiras, conforme está representado na Figura 5.6.

A água bruta tratada na UTA é captada em fontes naturais, como os rios, e bombeada para a UNIB. Esta possui uma derivação dessa água bruta que alimenta um reservatório de segurança com capacidade para fornecer água para o sistema de combate a incêndio.



Fonte: Elaboração própria a partir de Speegle (2007)

**Figura 5.6 - Sistema de tratamento de água em uma UNIB**

A água clarificada visa suprir a água de reposição (*make up*) nos circuitos de água de resfriamento, bem como no processo industrial em lavagens e limpeza de equipamentos, entre outros serviços.

A água potável é distribuída para uso nas instalações sanitárias, chuveiros, bebedouros, laboratórios e oficinas.

A água desmineralizada é utilizada na reposição dos circuitos de água de alimentação das caldeiras. Para um bom desempenho térmico uma caldeira deve ser alimentada com água de qualidade, conforme as características técnicas associadas à pressão da caldeira e a sua intensidade de vaporização.

Integrados com o sistema de tratamento de água, as indústrias petroquímicas e/ou os pólos petroquímicos também possuem unidades de tratamento de efluentes (UTE). As características

dessas unidades e as técnicas de tratamento dependem dos tipos de contaminantes gerados no processo industrial de produção.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), os contaminantes necessitam ser eliminados ou minimizados, conforme previsto na legislação brasileira federal e estadual para os recursos hídricos, quanto ao lançamento de efluentes nos corpos d'água. As principais classes de contaminantes presentes nos efluentes são os sais inorgânicos, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos, partículas em suspensão, microorganismos, óleos e graxas. A escolha de uma determinada técnica ou combinação de técnicas na UTE é fundamentada nos mecanismos para a redução dos contaminantes e normalmente envolvem os processos de neutralização, filtração e centrifugação, precipitação química, oxidação ou redução química, coagulação / floculação e sedimentação ou flotação.

#### 5.1.2.2 Caldeiras e sistema de distribuição de vapor

Devido à sua disponibilidade, capacidade de transporte de calor com segurança e relativamente baixo custo, o vapor d'água é largamente utilizado na indústria como fluido térmico. A geração e a distribuição de vapor na indústria são feitas através do uso de caldeiras convencionais e ramais com diferentes faixas de pressão, como, por exemplo, as representadas esquematicamente nas Figuras 5.7 e 5.8, ou, então, a geração pode ser feita através de caldeiras de recuperação de calor (TLE), presentes nas centrais petroquímicas de 1ª geração e já mencionadas neste capítulo.

A Tabela 5.2 indica os principais tipos de deterioração que afetam a eficiência térmica de caldeiras, as causas prováveis, os componentes afetados e as ações corretivas requeridas.



**Tabela 5.2 - Fatores que afetam a eficiência térmica de uma caldeira**

<b>Tipo de deterioração</b>	<b>Causa provável</b>	<b>Componentes afetados</b>	<b>Ações corretivas</b>
<b>Superaquecimento de componentes metálicos:</b> - deformações (fluência) - alteração na estrutura metalúrgica (grafitização) - redução na resistência - oxidação superficial, etc.	- Incidência de chama sobre os tubos; - Queda do nível d'água no tubulão superior; - Presença de incrustações e/ou obstruções nas paredes internas dos tubos.	- Queimadores  - Controle de nível  - Tubos (afetam a troca térmica)	Efetuar ajustes operacionais e/ou manutenção; Programar inspeção e avaliação; Avaliar o tratamento e o controle da água de alimentação; Programar limpeza
<b>Corrosão em partes sob pressão e componentes estruturais, chaparia, pré-aquecedores, etc.</b>	- Interna: presença de O <sub>2</sub> e CO <sub>2</sub> dissolvidos na água, concentração de álcalis, oxidação em temperaturas altas (acima de 550 °C); - Externa: compostos de enxofre (SO <sub>2</sub> e SO <sub>3</sub> ) pela ação de condensação do H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> juntamente com vapor d'água em temperaturas moderadas; a presença simultânea de vanádio, enxofre e sódio no combustível pode resultar na formação de pentóxido de vanádio (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) e sulfato de sódio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), que formam cinzas fundidas sob os tubos.	- Tubos e tubulão   - Pré-aquecedor de ar, economizador e chaminé	Avaliar o tratamento de água de alimentação;   Avaliar a presença de contaminantes no combustível e as temperaturas de operação
<b>Erosão em tubos</b>	- Jato de vapor dos ramonadores e presença de condensado no vapor; - Cinzas decorrentes da queima de combustíveis sólidos e alta velocidade dos gases de combustão.	- Tubos e ramonadores	Efetuar ajustes operacionais, avaliar a qualidade do combustível, efetuar manutenção nos purgadores (linhas de vapor ramonadores) Programar inspeção dos tubos da caldeira
<b>Alterações metalúrgicas e diminuição da resistência em componentes de aço carbono</b>	- Grafitização e fragilização pelo H <sub>2</sub> (difusão do H e empolamento) em altas temperaturas de operação (440 °C a 760 °C)	- Serpentinhas de aço carbono do superaquecedor	Programar inspeção e avaliação metalográfica
<b>Deterioração do isolamento térmico e refratário</b>	- Presença de contaminantes nas cinzas do combustível (como vanádio, molibdênio, enxofre) em contato com o refratário em temperaturas relativamente altas, por penetração, ação química e/ou fusão; - Trincas e avarias mecânicas.	- Revestimentos isolantes e refratários	Efetuar ajustes operacionais; Programar inspeção externa (termografia) e avaliar, nas paradas para inspeção interna, o desgaste; Avaliar o projeto, construção e as curvas de aquecimento do refratário; Programar manutenção

<b>Avarias mecânicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fadiga: mecânica ou de origem térmica;</li> <li>- Fluência: exposição a altas temperaturas;</li> <li>- Tensões anormais;</li> <li>- Corrosão: perda de resistência</li> <li>- Uso inadequado de ferramentas e outros meios de limpeza;</li> <li>- Explosão (falha na combustão e perda de resistência mecânica).</li> </ul>	Caldeira (partes metálicas sob pressão)	Programar a execução de inspeção periódica conforme a categoria da caldeira (NR-13), executar avaliação de integridade e programar a manutenção corretiva e preventiva
--------------------------	--	---	--

Fonte: Elaboração própria com base em IBP (2004) e Souza (1988)

A inspeção dos equipamentos e tubulações que fazem parte do sistema de distribuição de vapor pode identificar oportunidades de ganhos de eficiência energética ao se avaliar os seguintes aspectos:

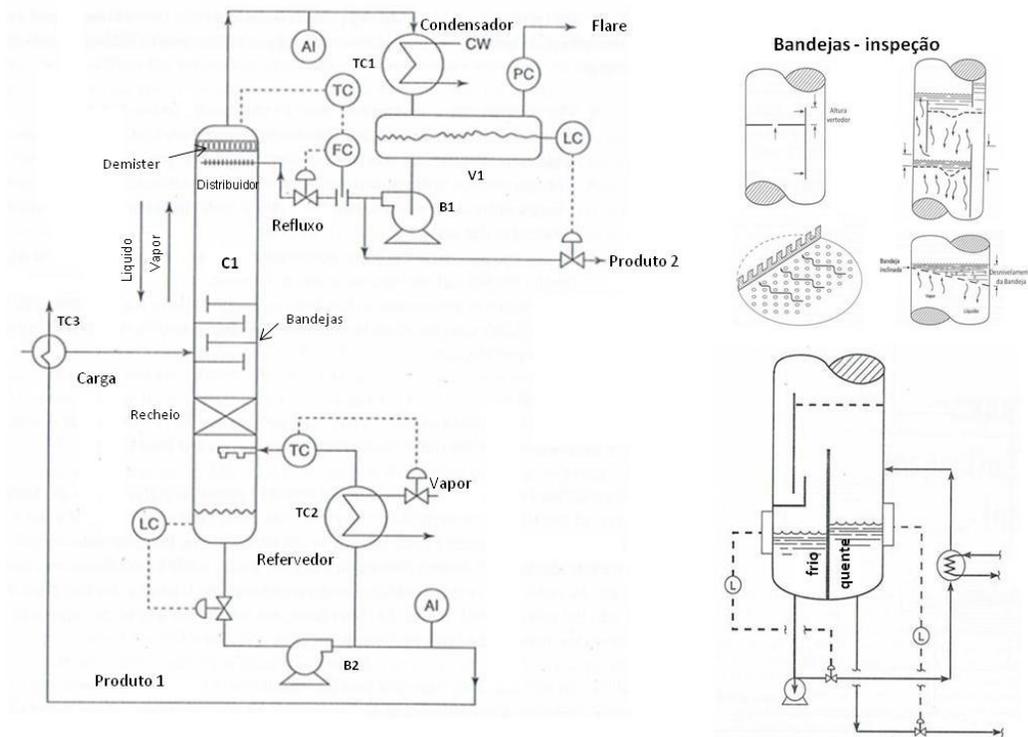
- a) A presença de vazamentos;
- b) A integridade do isolamento térmico instalado nas linhas e equipamentos;
- c) A existência de tubulações fora de operação e que não foram desativadas (ou bloqueadas);
- d) Funcionamento dos purgadores;
- e) Funcionamento dos eliminadores de ar; e
- f) Condição física das linhas de retorno de condensado, sistema de recuperação de condensado e vapor de *flash*.

### 5.1.2.3 Colunas de destilação

O processo de destilação é o processo de separação mais utilizado em plantas petroquímicas. Em uma coluna de destilação são instalados trocadores de calor, um condensador para resfriamento do fluido na fase vapor que sai pelo topo, um refeedor (*reboiler*) na base da coluna para reevaporar a fase líquida e bombas, conforme representado na Figura 5.9.

Esse processo apresenta um alto consumo de energia devido à necessidade de fornecimento de calor para recirculação do fluido que sai pelo fundo da coluna, retirada de calor do fluido que sai pelo topo da coluna e circulação interna dos fluidos em mais de uma fase (líquida e gasosa).

Uma coluna de destilação pode operar com eficiência variando entre 10% e 90%. A operação é eficiente quando o fluxo das fases vapor e líquido está em contato, fluindo normalmente, ou seja, vaporizando e condensando através das bandejas e recheios nos vários níveis da coluna. Uma baixa eficiência pode ser causada por inundação interna (acumulação de líquido), ou deficiências no controle do fluxo de alimentação e recirculação através das bandejas, dificultando o contato entre a fase líquida e de vapor (LIEBERMAN, 2008).



Fonte: Elaboração própria com base em Speegle (2007) e Lieberman (2008)

**Figura 5.9 - Representação esquemática dos fluxos e dos componentes de uma coluna de destilação**

Segundo Ludwig (1964), o desempenho térmico entre os fluidos em contra corrente (a fase líquida segue um fluxo descendente e a fase gasosa ascendente) depende da quantidade de bandejas e dos requisitos de refluxo e de troca térmica exigidos para se obter a separação dos produtos em uma coluna de destilação.

Neelis (2008) propõe as seguintes ações para se obter ganhos na eficiência energética de colunas de destilação:

- Aprimoramento dos sistemas de controle da destilação;
- Otimização das taxas de refluxo;
- Melhorias no isolamento térmico, para aumentar a proteção contra variações de temperatura externa;
- Controle automático do fluxo de vapor (vazão e pressão) no refeedor (*reboiler*), visando reduzir a pressão interna na coluna e o refluxo para condensar o produto;
- Preaquecimento da carga, para diminuir o consumo de vapor no *reboiler*; e
- Preservação da integridade dos internos da coluna (bandejas, *demister*, recheios, distribuidor, entre outros), para diminuir a taxa de refluxo.

#### 5.1.2.4 Torre e trocadores de calor de sistemas de resfriamento

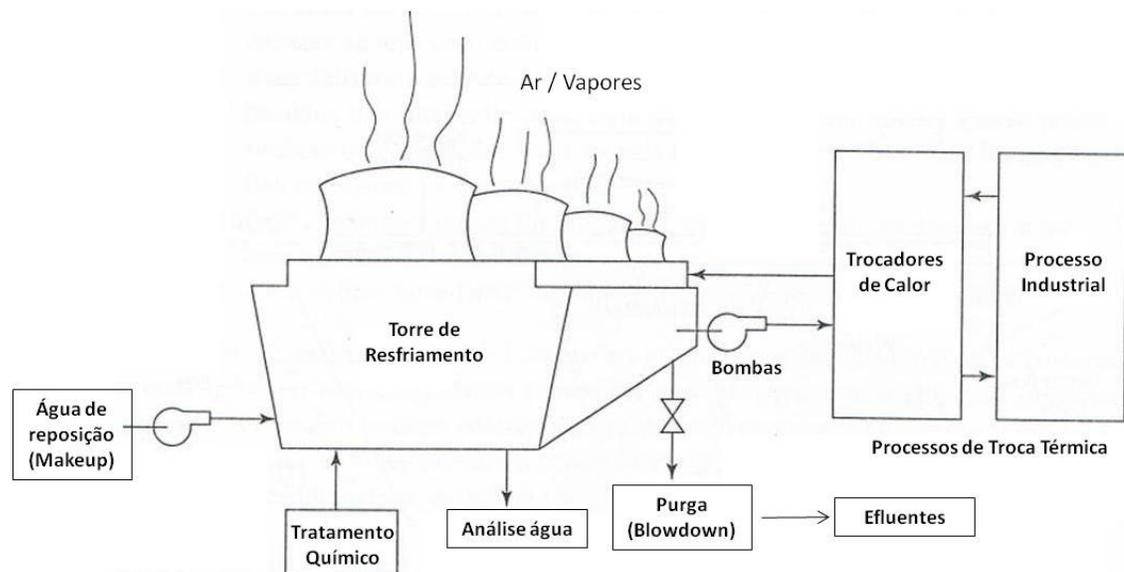
Quando a água de resfriamento de uma central petroquímica passa pelos equipamentos de troca térmica, sua temperatura aumenta de 5°C a 10°C; em seguida retorna para uma torre de resfriamento, que reduzirá a sua temperatura. Nesse processo, parte da água é perdida por evaporação (aproximadamente 0,185% da água que circula no sistema para cada 1 °C de variação da temperatura) e arraste (deve ser menor que 0,2% da vazão de circulação) para uma contra corrente de ar. Outra parte da água é perdida no ciclo de descarga de fundo da torre (que depende da qualidade da água de reposição e da concentração máxima admissível de sais na água de resfriamento). Para que a capacidade de troca térmica prevista pelos processos operacionais se

mantenha estável, é necessário promover a reposição com água clarificada (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

A Figura 5.10 apresenta, de uma forma esquemática, o funcionamento de um sistema de resfriamento associado a uma torre de resfriamento de tiragem mecânica induzida.

A qualidade da água obtida na fonte de captação é um dos fatores importantes no custo do tratamento da água (adição de produtos químicos e frequência de drenagens na bacia da torre).

Os componentes da torre de resfriamento e respectivas células (seções individuais) precisam ser periodicamente inspecionados para uma avaliação global quanto à integridade e preservação das partes e componentes, qualidade da água e desempenho térmico.



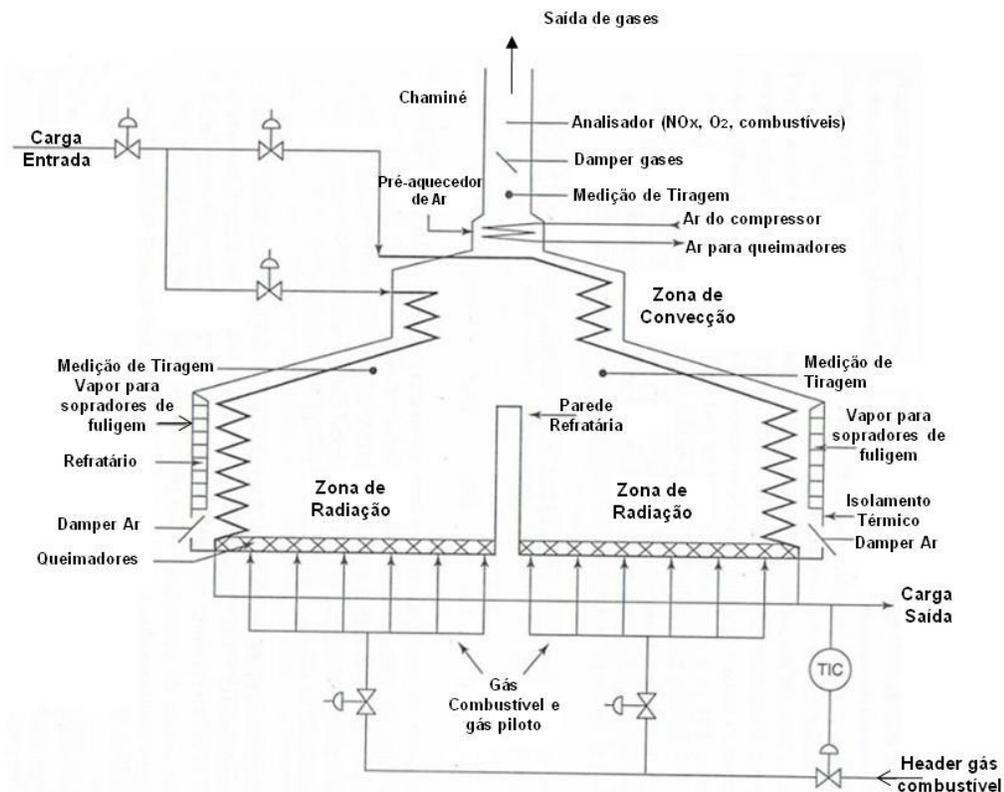
Fonte: Elaboração própria a partir de Speegle (2007)

**Figura 5.10 - Funcionamento de um sistema de resfriamento industrial**

Os trocadores de calor do sistema de resfriamento devem ser inspecionados em relação à presença de incrustações e limpos regularmente, para se garantir boas condições de troca térmica e se minimizar a corrosão.

### 5.1.3 Aquecimento direto - fornos

Fornos tubulares são incorporados aos processos de produção em refinarias de petróleo e plantas petroquímicas com o objetivo de transferir calor através da queima de combustíveis a um fluido de processo que circula em um feixe tubular (serpentina). O processo de queima de combustíveis por maçaricos em uma câmara de combustão (zona de radiação) é uma das melhores maneiras de se aquecer grandes vazões de fluido em fornos. Este arranjo também possibilita reações endotérmicas no fluido de processo (lado tubo) em fornos reatores. A Figura 5.11 ilustra, de uma forma esquemática, um forno tubular utilizado na indústria petroquímica.



Fonte: Elaboração própria a partir de Speegle (2007)

**Figura 5.11 - Representação esquemática de um forno tubular**

Fornos tubulares de pirólise são os principais equipamentos consumidores de energia em uma planta de insumos básicos.

Segundo Leite (2013), a formação de coque é altamente prejudicial ao bom funcionamento de um forno tubular de pirólise, pois:

- A película de coque depositada internamente nos tubos reduz a seção de escoamento dos produtos e aumenta a perda de carga na serpentina;
- Reduz a troca de calor por radiação com a carga que circula nos tubos. Essa resistência ao fluxo de calor leva a um aquecimento mais intenso e ao aumento na temperatura da parede dos tubos, reduzindo a sua vida útil;
- Requer paradas periódicas do forno para descoqueamento, implicando perda de produção, além de submeter o metal dos tubos a um ciclo térmico que pode causar deterioração;
- A deposição de coque também ocorre na caldeira de recuperação de calor (TLE), aumenta a perda de carga no equipamento, prejudica o resfriamento rápido do efluente reacional e a geração de vapor de alta pressão.

Para o descoqueamento, o forno é retirado de operação. Ar comprimido é introduzido nas serpentinas com o objetivo de queimar o coque depositado no interior dos tubos, juntamente com vapor de diluição para remover o calor liberado na combustão do coque.

Os principais fatores que afetam a eficiência térmica de fornos são (BRASIL, 1988):

- a) Temperatura de saída dos gases;
- b) Excesso de ar;
- c) Combustível não queimado;
- d) Entrada de ar falso e tiragem;
- e) Isolamento térmico e refratário deficiente;
- f) Operação diferente das condições de projeto.

A análise dos gases de combustão é um dos pontos mais importantes da operação de um forno, pois a medição e a avaliação dos teores de  $O_2$  ou  $CO_2$  dos gases permitem determinar o excesso de ar e a eficiência do forno.

A Tabela 5.3 indica os principais mecanismos de deterioração que afetam a eficiência térmica de fornos tubulares, suas causas prováveis, componentes afetados e ações requeridas.

**Tabela 5.3 - Mecanismos que afetam a eficiência térmica de um forno tubular**

<b>Tipo de deterioração</b>	<b>Causa provável</b>	<b>Componentes afetados</b>	<b>Ações requeridas</b>
<b>Corrosão / erosão</b>	- Composição química, temperatura e velocidade do fluido de processo (fluidos bifásicos ou que contenham sólidos em suspensão intensificam o processo de erosão), temperatura do metal (lado da chama);	- Tubos (lado interno);	Efetuar ajustes operacionais; Executar inspeção interna
	- Oxidação devido à alta temperatura e excesso de O <sub>2</sub> nas câmaras de combustão; - Incrustação interna (lado do tubo); - O <sub>2</sub> insuficiente (atmosfera redutora); - Baixa qualidade do combustível (formação de depósitos ácidos sobre os tubos em paradas do forno)	- Tubos (lado externo)	
<b>Deformações e ruptura (perda de resistência)</b>	- Superaquecimento do metal: Temperatura do metal irregular (expansão térmica diferenciada), incidência de chama, acúmulo de coque no interior dos tubos, espaçamento impróprio ou falha dos suportes dos tubos; - Mecanismo de fluência (superaquecimento por longo período)	- Tubos	Avaliar a frequência e métodos de limpeza dos tubos; Executar inspeção interna e avaliação metalográfica dos tubos
<b>Alterações metalúrgicas</b>	- Metal submetido a elevadas temperaturas e tensões por longos períodos	- Tubos	Executar inspeção interna e avaliação metalográfica dos tubos
<b>Fadiga térmica (trinca)</b>	- Material submetido a condições cíclicas de temperatura	- Tubos	Executar inspeção interna e avaliação metalográfica dos tubos
<b>Choque térmico (distorção, trinca)</b>	- Variações abruptas de temperatura do metal resultantes de expansão ou contração	- Tubos	Efetuar ajustes operacionais (taxas de aquecimento e resfriamento do forno); Executar inspeção interna
<b>Isolamento térmico e refratário (erosão, trinca e lascamento)</b>	- Temperatura do forno e condições operacionais do processo; - Impactos mecânicos, vibração em operação, dilatação diferencial dos componentes do material refratário; - Formação por depósitos (enxofre, vanádio e cinzas) e ação química causada pelos produtos na combustão; - Fluxo de gases de combustão em velocidades elevadas, turbulência	- Revestimentos isolantes e refratários	Efetuar ajustes operacionais; Programar inspeção externa (termografia) e avaliar nas paradas para inspeção interna o desgaste; Avaliar o projeto e construção, curvas de aquecimento do refratário; Programar manutenção

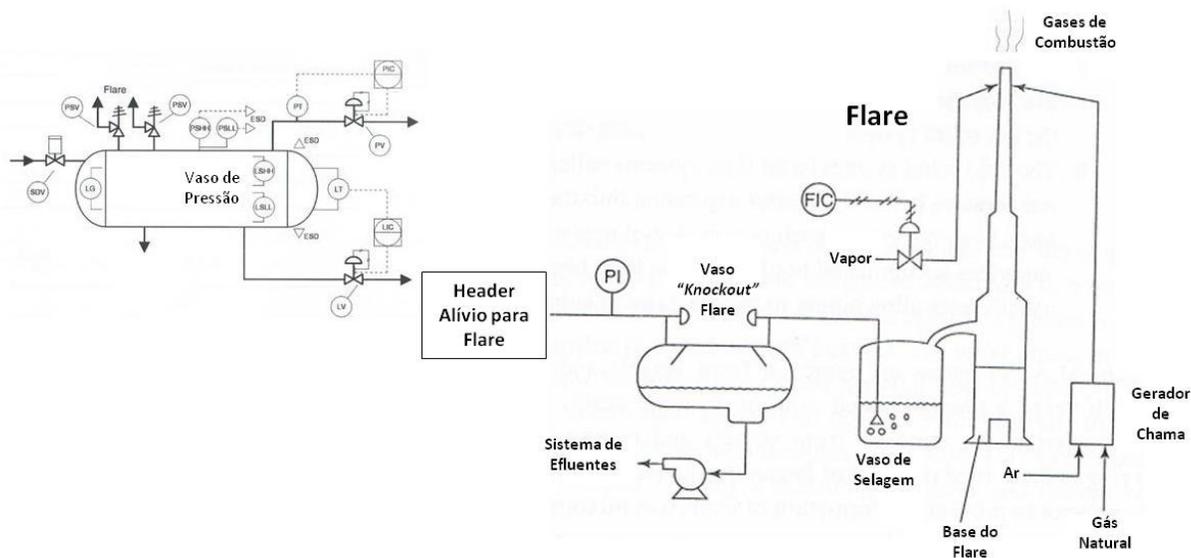
Fonte: Elaboração própria, com base em Garcia (2009)

### 5.1.4 Sistemas de segurança - *flare*

A segurança de uma instalação petroquímica depende do bom funcionamento dos sistemas de controle e alívio de pressão, entre outros fatores. O sistema do *flare* nas plantas petroquímicas tem como principal função receber as descargas das válvulas de segurança, causadas por sobrepessão nas tubulações e/ou vasos de pressão, principalmente em situações de anormalidade nos controles de processo, ou quando de paradas de emergência causadas por interrupção no fornecimento de energia, evitando condições de risco para as instalações.

Nas condições normais de operação o *flare* é alimentado por vapor e por gás combustível. O objetivo do primeiro é melhorar a combustão e evitar a presença de fumaça escura, principalmente quando há grande volume de hidrocarbonetos sendo transferido, e resfriar os bicos dos queimadores, enquanto que o gás combustível mantém a tocha permanentemente acesa.

Um sistema típico de *flare* está ilustrado na Figura 5.12.



Fonte: Elaboração própria a partir de Speegle (2007)

**Figura 5.12 - Sistema de segurança, alívio de pressão e *flare***

### 5.1.5 Força motriz

Com base em um levantamento realizado em 2002, Worrell (2008) estimou as distribuições indicadas na Tabela 5.4 para os usos finais da eletricidade na indústria química e em seu ramo petroquímico. Observe-se o uso dominante no acionamento de equipamentos. Considerando que o uso da eletricidade em caldeiras e cogeração, em processos de resfriamento e refrigeração e em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado é, principalmente, em motores que acionam bombas, ventiladores e compressores, pode-se concluir, das estatísticas da Tabela 5.4, que o uso final abrangente “força motriz” corresponde a 72% do consumo total de eletricidade tanto na indústria química como um todo, como em seu segmento petroquímico.

**Tabela 5.4 - Distribuições dos usos finais da energia elétrica na indústria química e no segmento petroquímico**

Usos finais	Indústria química	Segmento petroquímico - Produtos químicos orgânicos, plásticos e resinas
Caldeiras e cogeração	1%	1%
Processos de aquecimento	3%	5%
Processos de resfriamento e refrigeração	8%	10%
Acionamento de equipamentos	57%	57%
Processos eletro-químico	17%	17%
Aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC)	6%	4%
Iluminação	4%	4%
Outros usos	4%	2%

Fonte: Elaboração própria com base em Worrell (2008)

Segundo o Procel (2005), a força motriz representa 68,3 % do consumo da energia elétrica por uso final na indústria brasileira.

Conforme indicado na Tabela 5.5, a utilização dos motores elétricos na indústria em geral e na indústria química é feita, principalmente, para o acionamento de bombas, compressores e ventiladores.

**Tabela 5.5 - Aplicação dos motores elétricos na indústria**

<b>Aplicações dos motores elétricos</b>	<b>Indústria em geral<sup>1</sup></b>	<b>Indústria em geral<sup>2</sup></b>	<b>Indústria química<sup>3</sup></b>
<b>Processo</b>	45 %		
<b>Bombeamento</b>	18 %	21 %	26 %
<b>Compressão</b>	15 %	25 %	27,7 %
<b>Ventilação</b>	12 %	16 %	11,9 %
<b>Ar comprimido</b>	12 %		
<b>Refrigeração</b>	2 %		7,7 %
<b>Processamento de materiais</b>			23,6 %
<b>Outros</b>		38 %	3,2 %

Fonte: Elaboração própria com base em Barros *et al.* (2010) <sup>1</sup>, Sá (2010)<sup>2</sup>

e Neelis *et al.* (2008)<sup>3</sup>

#### 5.1.5.1 Motores elétricos e acionamentos

De acordo com Sá (2010), cerca de 60% dos motores elétricos utilizados na indústria são do tipo indução trifásico.

Para melhorar a eficiência dos motores elétricos, as equipes de operação e manutenção devem adotar algumas medidas para economizar energia, tais como:

- Eliminar os desequilíbrios de tensão, porque eles podem afetar o desempenho e reduzir a vida útil dos motores trifásicos;
- Instalar controladores de tensão, fator de potência e rotação dos motores sempre que o seu regime de operação indicar ganhos energéticos e econômicos;

- Planejar, no programa de investimentos da empresa, a substituição de motores antigos por motores mais novos e de melhor rendimento.

#### 5.1.5.2 Cogeração

A Tabela 5.6 apresenta as principais vantagens e desvantagens, assim como os rendimentos elétrico, térmico e global das tecnologias de cogeração empregando turbinas a vapor, turbinas a gás e motores de combustão interna.

Unidades de cogeração com turbinas a vapor são mais empregadas em centrais petroquímicas de 1ª geração por conta da geração de vapor em elevada pressão e temperatura nos *craquers*, o que possibilita não só a geração de quantidades substanciais de energia elétrica, como também o acionamento de compressores, bombas e ventiladores por turbinas a vapor, graças à existência de diversos níveis de pressão nas linhas de vapor das centrais. Em geral, várias caldeiras alimentam estas linhas e os fluxos de vapor entre elas são controlados por turbinas de contrapressão e válvulas redutoras de pressão.

#### 5.1.5.3 Qualidade da energia elétrica

A preocupação com a qualidade da energia elétrica no segmento industrial é maior do que em outros segmentos, pois em função do nível de automação das indústrias o impacto causado pelos distúrbios da energia elétrica no processo de produção é maior, podendo levar à parada de produção e elevados prejuízos financeiros. Os distúrbios mais comuns na qualidade da energia elétrica, relacionados por Martinho (2012), são:

**Tabela 5.6 - Características e rendimentos de tecnologias de cogeração industrial**

<b>Tecnologia das fontes motrizes</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Rendimento elétrico</b>	<b>Rendimento térmico</b>	<b>Rendimento global</b>
<b>Turbina a gás</b>	Confiabilidade; Menor emissão de poluentes; Temperaturas elevadas (500 a 600°C); Não há refrigeração	Operação com alta pressão; Rendimento reduzido a carga parcial; Potência de saída diminui com o aumento da temperatura ambiente	15% - 30%	40% - 60%	60% - 85%
<b>Turbinas a vapor</b>	Confiabilidade; Operação com diversos tipos de combustíveis; Grandes quantidades de calor disponíveis; Vapor de alta pressão	Partida lenta; O rendimento elétrico pode ser baixo	10% - 40%	40% - 60%	60% - 85%
<b>Motores de combustão interna</b>	Rendimento elétrico elevado; Bom desempenho com carga parcial; Partida rápida; Operação com gás a baixa pressão; Energia térmica em dois níveis de temperatura: gases de escape e água de refrigeração do motor	Custo de manutenção; Calor de baixa temperatura; Maior emissão de poluentes; O motor necessita de refrigeração	Gás natural: 22% - 40%  Óleo diesel: 25% - 45%	40% - 60%	Gás natural: 70% - 80% Óleo diesel: 70% - 85%

Fonte: Elaboração própria com base em Sá (2010)

- Variações de curta duração:
  - Afundamento de tensão (SAG)
  - Elevação de tensão (SWELL)
- Variações de longa duração:
  - Subtensão sustentada
  - Sobretensão sustentada
- Interrupção sustentada;

- Surto de tensão;
- Harmônicas;
- Inter-harmônicas;
- *Flicker*;
- Redução de fator de potência;
- Compatibilidade eletromagnética;
- Ruído;
- Sobretensão;
- Subtensão;
- Transitório:
  - Impulsivo;
  - Oscilatório
- *Notching*;
- Variação de frequência;
- Flutuação ou oscilação de frequência;
- Desequilíbrio de tensão;

Todos esses distúrbios são prejudiciais e podem afetar, com maior ou menor impacto, os processos de produção na indústria petroquímica, bem como contribuem para as perdas energéticas. Portanto, devem estar sob controle e tratados de forma a minimizar os impactos na produção e segurança das instalações.

### 5.1.6 Sistemas de bombeamento

Segundo o DOE (2006), para a realização de um diagnóstico energético de um sistema de bombeamento devem ser reunidos os dados técnicos e operacionais das bomba e dos motores que as acionam, incluindo os períodos de operação e os perfis de pressão e vazão requeridos pelo processo. A adequação das curvas de altura de elevação (*head*) vs. vazão de projeto devem ser avaliados com os dados de operação das bombas e do sistema de bombeamento, contemplando, quando aplicável, o funcionamento em série, ou em paralelo das bombas.

No levantamento dos dados, é importante identificar os sistemas e equipamentos com maior potencial de ganhos de eficiência energética, tais como:

- Bombas com manutenção frequente;
- Bombas de grandes dimensões que operam em uma condição estrangulada (válvula de controle de vazão na descarga parcialmente aberta);
- Bombas que apresentam sinais de cavitação e ruído anormal;
- Sistemas de bombeamento com grande vazão, ou variações de pressão;
- Sistemas de bombeamento com desvio de fluxo (recirculação, ou retorno para tanque);
- Tubulações ou bombas com obstruções e problemas com os filtros;
- Bombas com desgaste dos rotores e carcaças que aumentam as folgas entre as partes fixas e móveis; e
- Bombas com problemas associados à vibração mecânica.

A correta localização de uma bomba é importante para garantir boas condições de escoamento; portanto, as bombas devem ser instaladas abaixo e o mais próximo possível do reservatório de sucção, permitindo a alimentação da bomba por gravidade. Para reduzir a potência consumida pela bomba, a tubulação de descarga deverá ser a mais curta possível (FALCO e MATTOS, 1992).

De acordo com Sá (2010), os custos típicos de um sistema de bombeamento ao longo da vida útil de uma bomba são:

- Instalação: 5%;

- Energia na operação da bomba: 85%;
- Manutenção: 10%.

## 5.1.7 Compressores

### 5.1.7.1 Geração e distribuição de ar comprimido

Segundo Sá (2010), para um período de operação de cinco anos (6.000 horas de operação) o investimento em um sistema de ar comprimido apresenta, em relação ao custo total, a seguinte distribuição:

- Investimento inicial: 13%;
- Energia elétrica na operação do motor: 75%; e
- Manutenção: 12%.

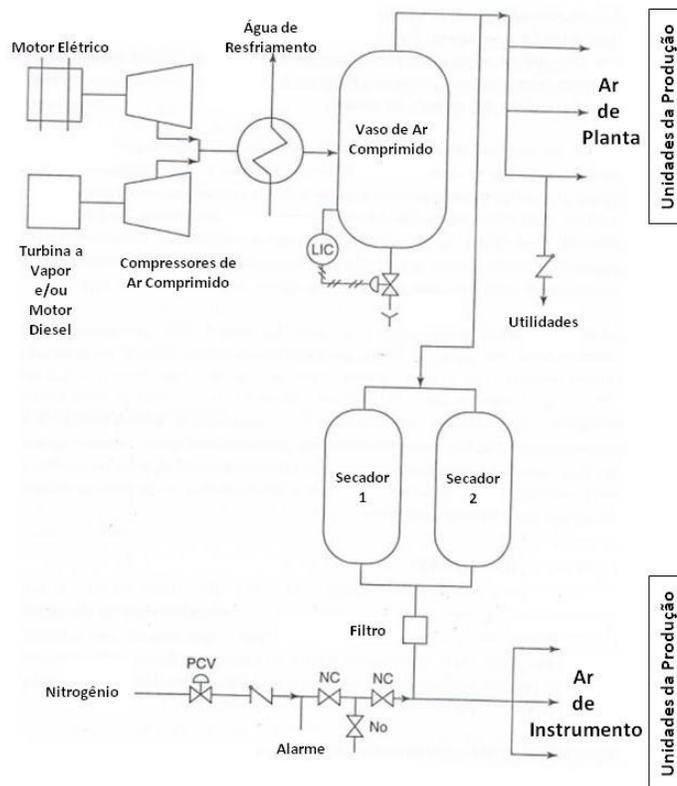
O custo com energia elétrica está diretamente relacionado à capacidade efetiva dos compressores. Quanto menor for a temperatura do ar aspirado e comprimido, maior será a eficiência volumétrica do compressor, proporcionando a transferência de uma quantidade maior em massa de ar para o sistema.

A Tabela 5.7 apresenta uma distribuição percentual típica das perdas de energia em um sistema de ar comprimido industrial. Um sistema típico de ar comprimido está ilustrado na Figura 5.13.

**Tabela 5.7 - Distribuição típica de perdas em um sistema de ar comprimido**

<b>Perdas</b>	<b>Distribuição</b>
Calor na compressão	84%
Aplicação de uso final	9%
Vazamentos de ar	5%
Queda de pressão	2%

Fonte: Rocha e Monteiro (2005)



Fonte: Elaboração própria a partir de Speegle (2007)

**Figura 5.13 - Representação esquemática de um sistema típico de ar comprimido**

A eliminação da umidade contida no ar comprimido é muito importante. Enquanto ela estiver na forma de vapor não provoca danos ao sistema de ar comprimido. No entanto, quando este vapor condensa, podem aparecer vários problemas, tais como:

- a) Acúmulo de água em tubulações e em pontos baixos da rede de ar;
- b) Danos em válvulas e componentes pneumáticos;
- c) Contaminação nos processos que recebem o ar;
- d) Aumento da manutenção em sistemas de instrumentação; e
- e) Oxidação de componentes metálicos.

### 5.1.7.2 Compressores de processo

Uma avaliação comparando o desempenho atual com o previsto originalmente no projeto de máquinas rotativas, como os compressores, deve ser feita sempre que estes equipamentos não conseguirem atender plenamente às necessidades dos processos industriais que estão servindo.

Normalmente, as causas de deterioração em máquinas rotativas, tais como bombas, compressores, turbinas, motores, etc., são identificadas durante as inspeções associadas aos planos de manutenção.

Dados de processo observados no campo, ou em um sistema automatizado de instrumentação / controle são boas fontes de informação para uma avaliação integrada da curva de operação do equipamento com a curva do sistema em que ele está operando.

A maior parte dos equipamentos rotativos é acionada por motores elétricos, conforme destaca Barros et al. (2010). O motor elétrico não é o único componente que afeta o consumo de energia elétrica destes equipamentos, pois acoplado ao motor existem os dispositivos de acionamento do motor (inversor de frequência, chave *soft start*, estrela triângulo, entre outros), a transmissão mecânica (acoplamentos, correias, polias, engrenagens, etc.), mecanismos para reduzir, ou ampliar a velocidade (redutores e multiplicadores) e os equipamentos acionados, que necessitam de uma determinada potência e rotação para atender aos requisitos do processo a que estão conectados. Portanto, a especificação e seleção adequada desses componentes, bem como a qualidade dos trabalhos de manutenção também contribuem para a melhoria integrada da eficiência energética em equipamentos rotativos.

## 5.2 Potenciais técnicos de economia de energia em uma UNIB

A Tabela 5.8 apresenta potenciais técnicos de economia de energia, em termos de valores mínimos, médios e máximos, estimados em 2004 pela *International Energy Agency* (IEA) para as

indústrias químicas e petroquímicas, desagregadas em calor, eletricidade, reciclagem e recuperação de calor e cogeração.

**Tabela 5.8 - Potenciais de economia de energia, em %, nas indústrias química e petroquímica**

	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Média</b>
Calor	36,4%	47,1%	41%
Eletricidade	9,1%	11,2%	10%
Reciclagem e recuperação de calor	18,2%	47,1%	31%
Cogeração (CHP)	13,7%	23,5%	18%

Fonte: Elaboração própria com base em IEA<sup>2</sup> (2013)

No final do capítulo 4 desta dissertação se calcula um potencial técnico de conservação de energia de 36,4% na UNIB 3 ABC. Efetuando cálculos semelhantes para as outras UNIBs da Braskem, obtêm-se potenciais técnicos de conservação de 20,4% na UNIB RS, 34,2% na UNIB BA e 41,1% na UNIB DCX. Neste último caso, se utilizou um consumo energético específico de 12,5 GJ/t para a melhor tecnologia disponível no mercado para a produção de etileno a partir do etano, conforme indicado na Tabela 4.1. Estes valores revelam elevados potenciais técnicos de conservação de energia nas UNIBs atualmente instaladas no Brasil, que variam de um mínimo de 20,4% até um máximo de 41,1%.

Nas seções a seguir são apresentadas faixas de potenciais economias de energia que podem ser obtidas com diversas medidas de conservação de energia aplicáveis a UNIBs, assim como são feitas indicações sobre potenciais futuros ganhos de eficiência energética que podem ser auferidas nestas unidades com a adoção de inovações tecnológicas.

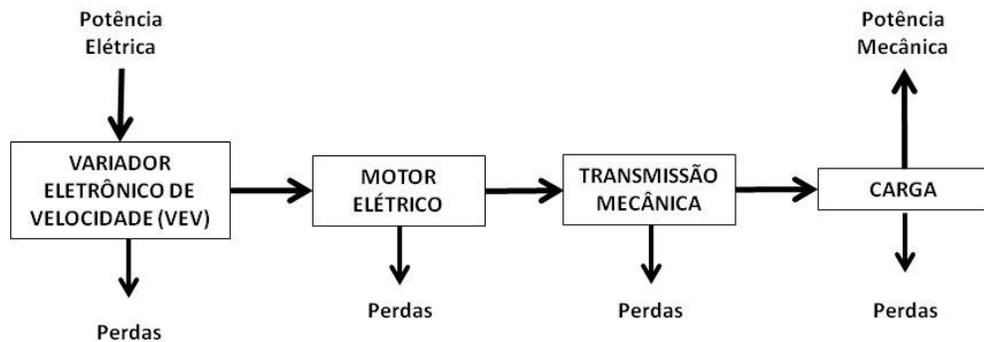
---

<sup>2</sup> A recuperação de calor e a cogeração referem-se ao conteúdo energético dos resíduos e ao combustível economizado, respectivamente.

É importante não se acumular, pura e simplesmente, as potenciais economias de energia das várias medidas de conservação de energia supracitadas, pois a implantação de algumas delas afeta os resultados de outras.

### 5.2.1 Motores elétricos e sistemas de acionamento

Entre o motor elétrico e a carga acionada pode existir uma transmissão mecânica. Um número crescente de motores com regimes operacionais bastante variáveis tem sido controlado com variadores eletrônicos de velocidade. Estas situações estão ilustradas na Figura 5.14. Neste caso, o rendimento global do sistema de acionamento é dado pelo produto dos rendimentos dos seus componentes, conforme indicado pela equação (5.1).



Fonte: Elaboração própria com base em Sá (2010)

**Figura 5.14- Sistema de acionamento com motor elétrico, variador eletrônico de velocidade e transmissão mecânica**

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{vev}} \times \eta_{\text{motor}} \times \eta_{\text{transmissão mecânica}} \times \eta_{\text{uso final}} = P_{\text{saída}} / P_{\text{entrada}} \quad (5.1)$$

Considerando o ciclo de vida de um motor elétrico, o investimento inicial e a sua manutenção representam, respectivamente, 2,5% e 1,5% do custo total. Portanto, o custo da energia na operação de um motor elétrico representa 96% do custo ao longo da sua vida útil.

A Tabela 5.9 apresenta uma lista de ações que aumentam a eficiência de sistemas de acionamento com motores elétricos, junto com estimativas das economias que podem ser alcançadas com cada uma destas medidas.

Das medidas listadas na Tabela 5.9, a que possui maior potencial de economia de energia e que tem sido aplicada com uma frequência crescente é o uso de variadores de velocidade, graças aos excelentes resultados obtidos e à diminuição do custo deste equipamento nos últimos anos.

Segundo Sá (2010), a instalação de variadores eletrônicos de velocidade nos motores elétricos que acionam bombas centrífugas tem propiciado economias de energia de 20 a 50%, em sistemas envolvendo bombas alternativas as economias tem sido de 10 a 30%, em sistemas de ventilação e exaustão tem se atingido economias de 20 a 50% e no caso de motores acionando correias transportadoras se têm obtido economias de energia de 10 a 30%.

**Tabela 5.9 - Potenciais de economia de energia em sistemas de acionamento com motores elétricos**

<b>Ações para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia elétrica em sistemas de acionamento</b>	<b>Economia estimada</b>
Adoção de motores elétricos de alto rendimento	2 a 8 %
Dimensionamento correto	1 a 3 %
Manutenção adequada dos motores	0,5 a 2 %
Uso de variador de velocidade	10 a 50 %
Uso de transmissão / redutores de elevado rendimento	2 a 10 %
Lubrificação, alinhamento e nivelamento	1 a 5 %
Energia elétrica de qualidade na alimentação dos motores	0,5 a 3 %

Fonte: Elaboração própria com base em Sá (2010)

## 5.2.2 Sistemas de bombeamento

O controle nos sistemas de bombeamento na maioria dos casos de empresas químicas pesquisadas pelo PROCEL (2005) é executado através da operação de liga-desliga das bombas, seguido da abertura parcial da válvula de bloqueio instalada na linha de descarga das bombas restringindo o fluxo com a recirculação do fluido e, por último, fazendo o controle da vazão através de inversores de frequência.

A Tabela 5.10 apresenta ações que reduzem o consumo de energia em sistemas de bombeamento e as economias de energia que podem ser obtidas com elas.

**Tabela 5.10 - Potenciais de economia de energia em sistemas de bombeamento**

<b>Ações para reduzir o consumo de energia em sistemas de bombeamento</b>	<b>Economia estimada</b>
Especificação e seleção de bombas com eficiência elevada para as aplicações requeridas	2% - 5%
Dimensionamento adequado para as condições de operação	4%
Manutenção adequada	3%
Melhoria do layout do sistema em que a bomba está instalada	10%
Melhoria do controle do sistema em que a bomba está instalada	20%
Substituição ou modificação de bombas superdimensionadas	4%
Modificação do diâmetro dos rotores da bomba	4%
Onde for requerido variação na vazão de descarga, utilização de variadores eletrônicos de velocidade para evitar as restrições no fluxo efetuadas através das válvulas instaladas na descarga das bombas	> 30%
Diminuição do atrito com a instalação de revestimentos internos na bomba	3% - 5%

Fonte: Elaboração própria com base em Sá (2010)

### 5.2.3 Sistema de ar comprimido

Conforme indicado na Tabela 5.11, é possível se obter economias de energia em um sistema de ar comprimido através de medidas tais como a operação com compressores de ar mais eficientes, minimização de perdas de carga na rede de ar comprimido, instalação de diferentes níveis de pressão em redes separadas, instalação dos compressores mais próximos dos locais de consumo, redução de vazamentos, utilização da capacidade adequada para os reservatórios de ar comprimido, instalação de sistemas de controle, e ajuste da pressão e da vazão do ar comprimido às reais necessidades da produção.

**Tabela 5.11 - Potenciais de economia de energia em sistemas de ar comprimido**

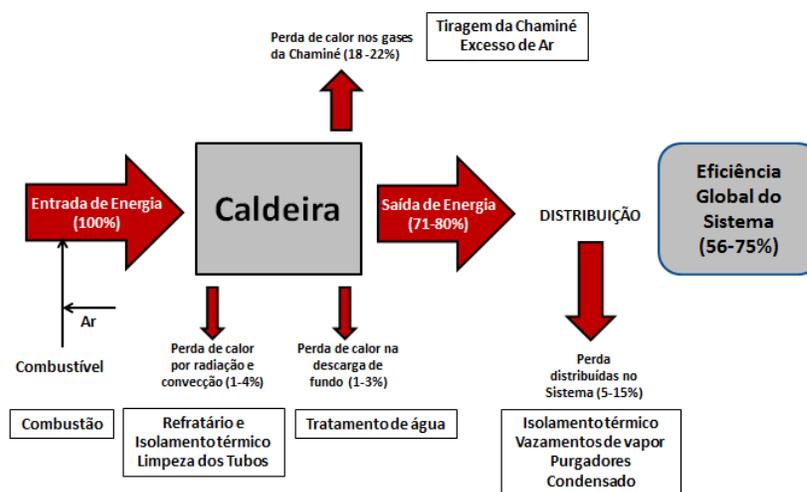
<b>Ações para reduzir o consumo de energia em sistemas de ar comprimido</b>	<b>Economia estimada</b>
Redução da pressão de 7 bar para 6 bar	8%
Instalação de recuperadores de calor	60%
Redução da temperatura do ar de admissão	1% para cada 3°C de redução
Especificação, instalação e operação com compressores mais eficientes, conforme a demanda do sistema de ar (produção)	7%
Especificação e ajuste do sistema de secagem e filtros de ar às necessidades do sistema de ar (produção)	5%
Montagem da rede em anel fechado, com uma extensão que não provoque perda de carga maior que 0,5 bar; instalação dos reservatórios de ar próximo a equipamentos com variação na quantidade de ar consumido; seleção e localização adequadas dos purgadores; isolamento das derivações da rede que estão desativadas; e instalação de válvulas solenóides para bloquear a alimentação de ar nos ramais em que os equipamentos consumidores estejam desligados	12%
Execução de inspeções periódicas na rede para corrigir vazamentos de ar, substituir mangueiras, ajustar instrumentos de controle da rede de ar	15% – 50%
Correções no funcionamento de válvulas reguladoras de pressão, filtros, lubrificadores, secadores, purgadores e válvulas de bloqueio e controle de fluxo na rede de ar	2%

Fonte: Elaboração própria com base em Sá (2010)

A energia mecânica no ciclo de compressão é transformada em calor e apenas 4 % permanecem no ar comprimido. As perdas por radiação representam 2% e 94% do calor são dissipados nos sistemas de refrigeração, que teoricamente podem ser recuperados. De acordo com Sá (2010), é possível recuperar 60% da energia térmica consumida pelo compressor sob a forma de água quente (50-80°C), ou ar quente (50-60°C), permitindo a utilização em instalações sanitárias, aquecimento ambiental, pré-aquecimento de água, ou ar de processo.

## 5.2.4 Caldeiras e sistema de vapor

A Figura 5.15 ilustra a distribuição usualmente encontrada de perdas na geração e distribuição de vapor em uma instalação industrial.



Fonte: Elaboração própria com base em Nogueira (2005)

**Figura 5.15- Distribuição de perdas na geração e distribuição de vapor**

A Tabela 5.12 apresenta algumas medidas que propiciam ganhos de eficiência energética em sistemas de geração e distribuição de vapor, assim como estimativas destes ganhos.

**Tabela 5.12- Potenciais de economia de energia na geração e distribuição de vapor**

Ações para melhorar a eficiência na geração e distribuição de vapor	Economia estimada de combustível
Melhorias no sistema de controle	3%
Redução do excesso de ar	Melhoria de 1% para cada 15% a menos de excesso de ar
Melhorias no isolamento térmico	6% - 26%
Uma boa manutenção da caldeira	10%
Recuperação do calor dos gases de combustão	1%
Recuperação de calor das descargas de fundo da caldeira	1,3%
Melhorias no sistema de distribuição de vapor:	
• Isolamento térmico	3% - 13%
• Manutenção dos purgadores	10% - 15%
• Correção de vazamentos	3% - 5%
• Retorno de condensado	10%

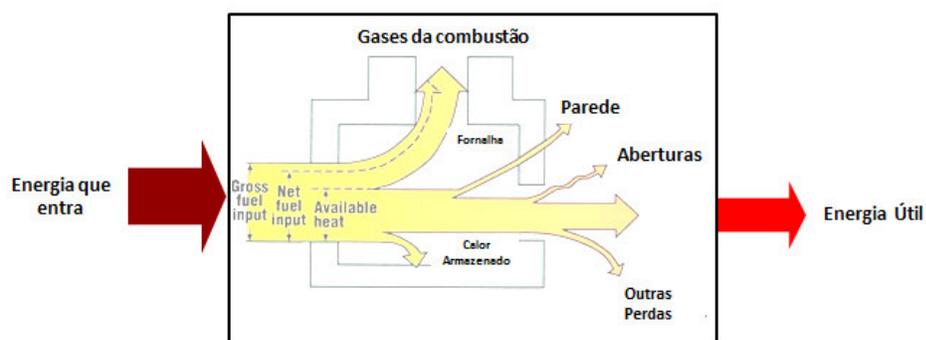
Fonte: Elaboração própria com base em Worrell *et. al.*(2008)

### 5.2.5 Fornos

Segundo Neelis et al. (2008), os fornos consomem aproximadamente 30 % do combustível utilizado na indústria química. A eficiência térmica média dos fornos varia de 75 % a 90 %. A eficiência máxima teórica é de aproximadamente 92%, com base no poder calorífico superior do combustível contabilizando as perdas de calor inevitáveis.

O fluxo de energia típico de um forno apresenta as perdas ilustradas na Figura 5.16.

A Tabela 5.13 lista diversas medidas que propiciam economias de energia em fornos industriais e estimativas das economias que podem ser obtidas com elas.



Fonte: Elaboração própria a partir de Clark (2012)

**Figura 5.16 - Fluxo de energia típico de um forno**

**Tabela 5.13 - Potenciais de economia de energia em fornos industriais**

<b>Ações para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia em fornos</b>	<b>Economia estimada</b>
Controle da relação de ar / combustível	5% - 25%
Pré-aquecimento do ar de combustão	15% - 30%
Enriquecimento com oxigênio no ar de combustão	5% - 25%
Melhoria dos controles dos queimadores	5% - 10%
Preaquecimento da carga	5% - 20%
Melhoria da transferência de calor dentro do forno	5% - 10%
Redução das perdas de calor através da parede do forno	2% - 5%
Melhoria do controle da pressão na fornalha	5% - 10%
Melhorias nas vedações e na selagem, para evitar entrada de ar	Até 5%
Redução do resfriamento de componentes internos	Até 5%
Redução das perdas de calor por radiação	Até 5%
Recuperação de calor residual do forno, para aquecimento ou geração de vapor	5% - 20%
Monitoramento e controle dos gases de saída (oxigênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono)	2% - 15%

Fonte: Elaboração própria a partir de DOE (2007)

## 5.2.6 Automação e controle operacional

O monitoramento em tempo real do processo de produção possibilita o controle das variáveis de processo, assim como do consumo de energia. Os *softwares* de controle também possibilitam a formação de banco de dados sobre consumo, autoprodução e compras de energia, e de indicadores de desempenho. Nos painéis da sala de controle é possível visualizar informações *on line* sobre o consumo de energia elétrica e de combustíveis, e monitorar o desempenho do grupo dos equipamentos que são maiores consumidores de energia (fornos, caldeiras, motores elétricos, etc.).

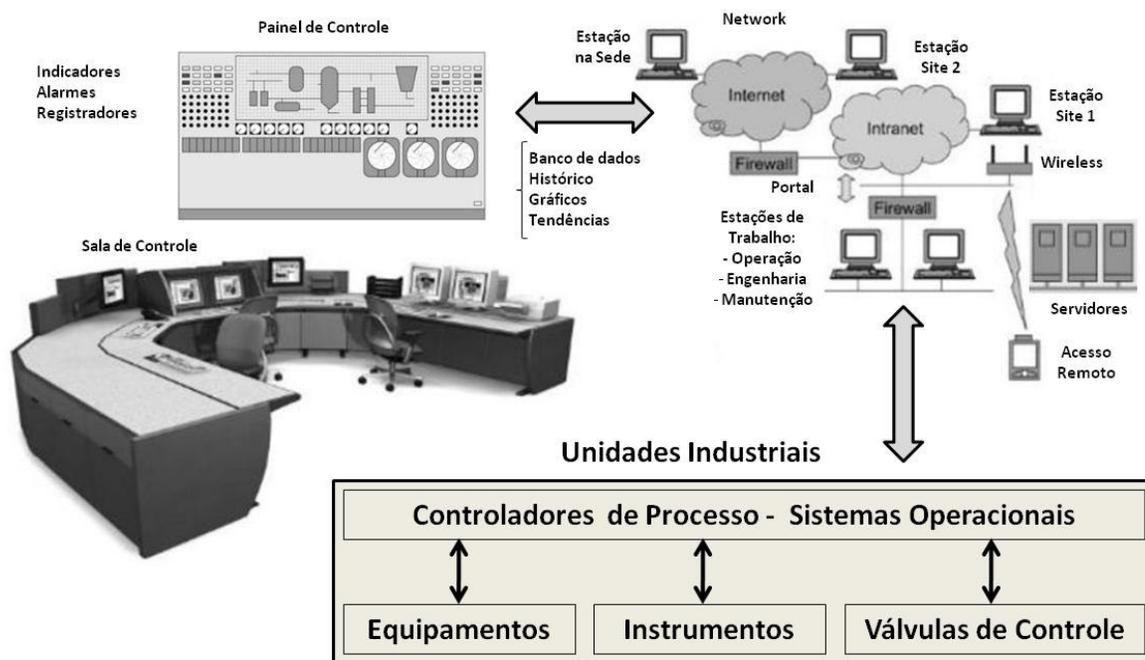
A Tabela 5.14 apresenta três tipos de sistemas de controle e faixas de economias de energia que a sua adoção pode propiciar em plantas petroquímicas.

**Tabela 5.14 - Sistemas de controle em plantas petroquímicas e economias de energia estimadas com a sua instalação**

Sistema	Características	Economia estimada
Monitoramento	Sistemas desenvolvidos e adotados em diversos processos industriais	4% - 17%
Sistema integrado de automação e controle de produção	Melhoria da economia global do processo, com ganhos de produtividade e otimização da gestão de estoques e do consumo de energia	> 2%
Controle de processo	Variáveis de processo: controle de umidade, oxigênio e temperatura, controle de fluxo, etc.	2% - 18%

Fonte: Elaboração própria a partir de Worrell *et. al.*(2008)

A Figura 5.17 ilustra, de uma forma esquemática, um sistema integrado de automação e controle da produção.



Fonte: Elaboração própria

**Figura 5.17 - Sistema integrado de automação e controle da produção**

### 5.3 Inovações tecnológicas em centrais petroquímicas

Depois de identificar onde ocorrem as perdas de energia e compreender a importância da integração energética em uma UNIB, o aperfeiçoamento dos sistemas de produção envolve a implantação de novas tecnologias disponíveis no mercado para reduzir essas perdas. As principais rotas tecnológicas que têm possibilitado ganhos de eficiência energética na indústria petroquímica envolvem processos de integração das unidades produtivas, cogeração, reciclagem e recuperação de calor.

O desenvolvimento de novas tecnologias de processo para a fabricação dos produtos químicos envolve incertezas e riscos. Segundo Wongtschowski (2002), essas vulnerabilidades estão associadas com a demanda, as margens para o negócio e a introdução de novas tecnologias.

As variações não previsíveis na demanda de um produto químico contribuem de forma decisiva na vulnerabilidade das empresas, tais como as indicadas a seguir:

- Os ciclos econômicos, por apresentarem amplitudes e períodos diferentes;
- Fatos de natureza política, econômica e social;
- Substituição de um determinado produto químico; e
- Mudanças na legislação sobre poluição ambiental, reciclagem de produtos químicos e polímeros e emissões de gases causadores do efeito estufa.

As incertezas nas margens do negócio estão associadas aos preços de venda e os custos de produção em um determinado período para um mercado ou região.

As incertezas tecnológicas na produção e uso de produtos químicos são decorrentes de alterações de processo, como quando ocorrem modificações significativas nas variáveis de processo (pressão, temperatura), tipo de fase em que as reações químicas acontecem, novas concepções de equipamentos e controles na operação para melhorar a qualidade e a segurança de processo, geração de subprodutos, redução nas emissões e no volume de resíduos, e alterações nas rotas tecnológicas com mudanças na matéria prima e/ou catalisador.

Para reduzir os riscos e sua vulnerabilidade, a indústria petroquímica precisa manter-se atualizada quanto à evolução tecnológica dos processos que utiliza, conhecendo e avaliando as tendências que possam vir a ocorrer, a médio e longo prazo, viabilizando reduções no consumo específico de energia nos processos de produção. Wongtschowski (2002) propõe a adoção, isolada ou combinada, das seguintes medidas:

- Criação de competência tecnológica com pessoal e instalações próprias executando projetos de pesquisa e desenvolvimento;
- Contratação de licenças para o uso de novas tecnologias, com direito ao acesso a atualizações decorrentes de aperfeiçoamentos futuros;
- Desenvolvimento de fontes alternativas de fornecimento de catalisadores;
- Formação de alianças tecnológicas com empresas que possuam laboratórios de pesquisa e desenvolvimento (P&D), compartilhando os custos de P&D para determinados trabalhos;

- Acompanhamento das tendências de patentes, realização de pesquisas na literatura técnica e científica e conhecimento dos trabalhos publicados em congressos e conferências, em sua área de atuação; e
- Licenciamento da própria tecnologia, quando aplicável para o negócio, com o objetivo de obter recursos e informações junto aos licenciados.

Segundo Leite (2013), os principais licenciadores da tecnologia para uma unidade de pirólise são a KBR (Kellogg Brown & Root), Linde AG, ABB - Lummus, Stone & Webster (SSW) e a Technip. Essas empresas vêm ao longo do tempo incorporando desenvolvimentos tecnológicos com o objetivo de reduzir custos.

A demanda atual por eteno no mundo é superior a 140 milhões de toneladas por ano, com uma taxa de crescimento de 3,5% ao ano (TECHNIP, 2013). A média da capacidade de produção das plantas de craqueamento aumentou de 300.000 toneladas por ano em 1980 para mais de 1.300.000 de toneladas por ano, conforme indicado na Tabela 5.15. Inovações tecnológicas têm sido introduzidas nestas novas plantas de eteno; as principais inovações estão listadas na Tabela 5.16.

**Tabela 5.15 - Capacidade instalada, em t/ano, de grandes plantas produtoras de eteno no mundo**

<b>Empresa</b>	<b>País</b>	<b>Capacidade</b>
Yansab	Arábia Saudita	1700. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno a partir de etano e propano
Petro Rabigh	Arábia Saudita	1500. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno e 950. 10 <sup>3</sup> t/ano de propeno a partir de etano
Sadara	Arábia Saudita	1500. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno e 500. 10 <sup>3</sup> t/ano de propeno a partir de etano, GLP e nafta
Ras Laffan	Qatar	1300. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno a partir de etano
Shark	Arábia Saudita	1300. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno a partir de etano e propano
Jamnagar	Índia	1300. 10 <sup>3</sup> t/ano de eteno a partir de gás de refinaria
Braskem Idesa	México	Em fase de construção e montagem: planta de eteno (1050. 10 <sup>3</sup> t/ano) a partir de etano, com partida planejada para o ano de 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de Technip (2013)

No processo convencional de craqueamento o rendimento na produção de eteno pode ser melhorado aumentando a temperatura de craqueamento e reduzindo o tempo de residência da carga no forno de pirólise, ou seja, aumentando a severidade do craqueamento. No entanto, esta condição operacional é limitada pelo material de fabricação dos tubos das serpentinas (ligas de Cr-Ni e temperatura de operação próxima a 1100 °C) e a tendência para a formação de coque no interior dos tubos.

**Tabela 5.16 - Inovações tecnológicas nas novas plantas produtoras de eteno no mundo**

<b>Etapa do processo</b>	<b>Inovações tecnológicas</b>
Craqueamento	Avanços no projeto das serpentinas dos fornos de pirólise; Melhorias nas caldeiras de recuperação de calor; e Aumento da eficiência de combustão nos fornos de pirólise.
Resfriamento do gás e compressão	Melhor utilização de calor disponível na água de resfriamento; Pressão mais baixa no sistema inter-estágio de compressão; e Temperatura da gasolina mais alta na coluna de fracionamento primário.
Área fria (Fracionamento)	Expansão do gás para otimizar a alimentação do sistema da coluna desmetamizadora; e Uso de trocadores com superfície estendida para melhorar a eficiência na transferência de calor.
Utilidades	Cogeração: Instalação de turbina a gás para gerar energia elétrica; Balanço de energia: otimização no uso do vapor; Maior eficiência dos sistemas de acionamento / compressão.

Fonte: Elaboração própria a partir de Neelis *et al.* (2008)

Segundo Ren *et al.* (2004), as novas tecnologias desenvolvidas pelos licenciadores no craqueamento da nafta envolvem:

- Melhorias no projeto das serpentinas do forno de pirólise para facilitar a transferência de calor, minimizar a formação de coque e maximizar o rendimento na produção das olefinas desejadas;
- Uso de serpentinas com revestimento de cerâmica, com capacidade para operar em temperaturas de até 1.400 °C, maior condutividade térmica e baixa formação de coque;
- Uso de inibidores para reduzir a formação de coque; e

- Integração do sistema de alimentação de ar para combustão, nos fornos, com uma turbina a gás: o ar de combustão é substituído pelos gases de exaustão da turbina de gás, que ainda contêm 15-17% de oxigênio a uma temperatura de 580 ° C.

Os biocombustíveis e bioprodutos podem ser uma alternativa no combate à redução de emissões de gases de efeito estufa e na garantia de segurança energética durante fortes elevações do preço do petróleo e/ou risco no seu fornecimento devido a problemas geopolíticos. A substituição do petróleo por matérias primas de origem renovável, como a biomassa e seus derivados, já começou a ser praticada. A transição para uma economia menos dependente do petróleo e mais “verde”, está promovendo o desenvolvimento de olefinas leves, principalmente eteno e propeno, a partir da biomassa. Há, também, pesquisas em andamento, pela Gevo Inc. e pela LyondellBasell, para o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas para a produção de olefinas C4 a partir de fontes renováveis. Com o isobuteno é possível produzir éter etil-terbutílico (ETBE), metil metacrilato, poli-isobuteno, iso-octeno, biodiesel e outros produtos químicos (LEITE, 2013).

A Braskem está desenvolvendo tecnologia para produzir biopolímeros, ou polímeros “verdes”. A partir de 2010 começou a produzir, em escala industrial, polietileno a partir do etanol da cana de açúcar. A empresa também anunciou a intenção de investir na produção de propeno a partir do etanol, para a produção de polipropileno.

#### **5.4 Diagnóstico energético na UNIB 3 ABC**

O diagnóstico energético realizado em 2012 na UNIB 3 ABC seguiu as fases indicadas na Tabela 5.17, conforme planejado pela gerência de eficiência energética da Braskem. O diagnóstico contou com a participação de especialistas da planta (facilitadores), técnicos de operação e manutenção, integrantes de outras unidades de negócio da empresa, representantes do *U. S. Department of Energy* (DOE) e especialistas externos (Abrace, Chemtech, Eletrobrás, UFCG, Unicamp, entre outros), incluindo o autor dessa dissertação (vide Figura 5.18).

**Tabela 5.17 - Fases do diagnóstico energético realizado na UNIB3 ABC em 2012**

Fase	Ações	Duração
<b>Planejamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento das idéias, ações e projetos existentes associados à eficiência energética;</li> <li>• Definição dos subsistemas e áreas para um pré-diagnóstico;</li> <li>• Definição dos recursos humanos e financeiros, além dos equipamentos e instrumentos necessários para o diagnóstico;</li> <li>• Formação das equipes do diagnóstico, com integrantes e parceiros. As equipes foram compostas por um líder (engenheiro da planta), um especialista externo, um técnico ou engenheiro de campo (operação e manutenção) e integrantes convidados de outras plantas;</li> <li>• Avaliação dos requisitos necessários para atender às normas administrativas da planta: vistos para acesso, liberação de segurança para executar os trabalhos nas instalações industriais, etc.; e</li> <li>• Definição dos padrões e procedimentos para utilização nas medições do diagnóstico.</li> </ul>	1 a 2 meses
<b>Pré-diagnóstico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento de dados técnicos da planta: consumo de energia, produção, principais equipamentos, etc.;</li> <li>• Disponibilização de dados da planta: processos de produção; equipamentos; produção; consumo de energia e custo dos energéticos;</li> <li>• Realização de medições preliminares;</li> <li>• Compartilhamento das informações coletadas com os especialistas e entre os membros das equipes do diagnóstico;</li> <li>• Consolidação das questões de logística: integração de segurança, EPI, transporte e hospedagem para os parceiros;</li> <li>• Nivelamento das informações levantadas com a direção da planta: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reunião com a direção da unidade para explicar o processo do diagnóstico proposto para avaliação da eficiência energética e consolidar a agenda do diagnóstico;</li> <li>○ Consolidação dos sistemas / equipamentos com potencial de redução do consumo energético;</li> <li>○ Consolidação da lista dos participantes do diagnóstico; e</li> </ul> </li> <li>• Realização de campanha corporativa: instalação de <i>banner</i> e implantação de programa de sugestões associadas a melhorias para reduzir o consumo de energia na planta.</li> </ul>	2 semanas
<b>Diagnóstico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação da direção da planta na reunião de abertura e fechamento do diagnóstico;</li> <li>• Apresentação das equipes: integrantes locais e parceiros;</li> <li>• Execução, no campo, dos levantamentos e medições, e identificação de oportunidades para ganhos de eficiência energética;</li> <li>• Disponibilização de pessoal para realizar as medições elétricas;</li> <li>• Realização, pelos especialistas, para os outros membros da equipe do diagnóstico, treinamentos técnicos sobre os sistemas energéticos avaliados;</li> <li>• Apresentação de relatório preliminar com estimativas de ganhos e identificação de oportunidades para reduções no consumo e no custo da energia na planta.</li> </ul>	1 semana

<b>Plano de ação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidação do relatório técnico final</li> <li>• Consolidação das estimativas de ganhos (GJ/t) e de redução de custo no consumo de energia</li> <li>• Programação de <i>workshop</i> para validação das recomendações</li> <li>• Consolidação de um plano de ação composto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estimativa de redução no consumo de energia (GJ/t), com o respectivo percentual de redução em relação ao consumo atual;</li> <li>○ Estimativa do custo de implantação (R\$) para reduzir o consumo de energia;</li> <li>○ Indicação de fonte e recursos requeridos para os investimentos na implantação de melhorias;</li> <li>○ Indicação da expectativa de ganho (R\$);</li> <li>○ Indicação do <i>payback</i> simples (menor que dois anos) para o retorno do investimento;</li> <li>○ Formação de equipe para implantar as melhorias;</li> <li>○ Definição do responsável (Líder) e prazo para a implantação do plano de ação.</li> </ul> </li> </ul>	1 mês
<b>Workshop</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação do relatório final do diagnóstico energético com os seguintes resultados: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lista de oportunidades com <i>payback</i> &lt; 2 anos</li> <li>○ Implantação dos projetos com <i>payback</i> &lt; 1 ano</li> <li>○ Redução de consumo de 1% (GJ/t) na primeira etapa de implantação</li> </ul> </li> <li>• Validação, junto à direção da planta, das recomendações de melhorias para ganhos na eficiência energética da planta. Inclusão da eficiência energética na agenda da direção da planta; e</li> <li>• Apresentação e consolidação do plano de ação para a implantação das melhorias, bem como a forma de acompanhamento, medição e verificação dos ganhos na eficiência energética da planta.</li> </ul>	1 dia

Fonte: Elaboração própria com base em Braskem



Fonte: Braskem

**Figura 5.18 - Equipe que participou do diagnóstico energético na UNIB ABC em 2012**

O diagnóstico propriamente dito foi executado em agosto de 2012 em áreas de processo industrial e de utilidades da central, envolvendo os seguintes sistemas e equipamentos, que foram selecionados na etapa de planejamento e consolidados na etapa de pré-diagnóstico:

- i. Sistema de ar comprimido e equipamentos rotativos (bombas, compressores, ventiladores e turbinas);
- ii. Sistemas de água de resfriamento, com destaque para as torres de resfriamento;
- iii. Fornos e seus queimadores;
- iv. Geração e distribuição de vapor; e
- v. Torres de destilação.

O diagnóstico revelou que a atual capacidade do sistema de ar comprimido, assim como a perda de carga na rede de ar comprimido estão satisfatórios. A pressão do ar utilizado em instrumentos pode ser reduzida de 7 para 6 bar, a custo zero. Foram detectados vazamentos de ar comprimido. É necessária uma maior vazão do “ar de serviço” durante o descoqueamento dos tubos dos fornos de pirólise. Verificou-se, também, que, quando há diminuição no consumo do ar, a pressão da rede aumenta e a modulação de um compressor produz descargas de ar para a atmosfera. Um controle do tipo carrega/descarrega no compressor que realize a modulação da carga e a utilização de capacidade de armazenamento disponível no sistema resolve estes problemas; o período de *payback* do investimento é de 0,22 anos.

Recomendou-se a instalação de variadores eletrônicos de velocidade em bombas de duas torres de destilação do sistema de produção de propeno, com um período de *payback* de 1,49 anos em um caso e 2,48 anos no outro.

A capacidade das torres de resfriamento da planta de produtos intermediários da central é adequada. A qualidade da água, no entanto, é um problema.

Este problema também existe nas torres de resfriamento da planta de craqueamento a vapor, cuja capacidade precisa ser reavaliada.

A má qualidade da água tem causado incrustações e corrosão, diminuição do desempenho de trocadores de calor, paradas na produção causadas por furos em tubos e um elevado custo com a limpeza de incrustações.

O período de *payback* dos investimentos necessários para se melhorar a qualidade da água nos sistemas de água de resfriamento da central é de 0,38 anos.

No final de 2012 foi inaugurado o projeto de reuso de água chamado Aquapolo, executado pela Sabesp e pela Odebrecht Ambiental a partir de uma demanda da direção da UNIB 3 ABC, que teve por objetivo melhorar a qualidade da água de resfriamento da central. O projeto fornece às unidades da Braskem no ABC 2.340 m<sup>3</sup>/h de água tratada.

O monitoramento e controle operacional do sistema de vapor da UNIB 3 ABC é *on line*, via sala de controle, e atua sobre a alimentação de água para as caldeiras, ar e combustível para os queimadores das caldeiras, balanço geração/demanda de vapor, temperatura do vapor, percentual de oxigênio nos gases de combustão e temperatura dos gases nas chaminés.

Uma caldeira reserva é mantida continuamente aquecida e pressurizada em carga mínima, para garantir uma boa confiabilidade operacional.

Há um bom controle da combustão nas caldeiras e uma recuperação substancial do condensado produzido pelo sistema. Há, também, recuperação de parte do calor das descargas de fundo das caldeiras e pré-aquecimento do ar de combustão em algumas caldeiras e economizador em outras.

As melhorias detectadas no sistema de vapor da central, que propiciam redução de perdas de energia, foram: instalação de aquecedores a vapor no tambor de lama de uma caldeira em operação visando eliminar a necessidade de se ter uma caldeira de reserva aquecida, recuperação de vapor *flash* descarregado para a atmosfera, para pré-aquecimento da água de reposição de caldeiras, aumento na recuperação de calor das descargas de fundo das caldeiras, melhorias na manutenção dos purgadores, recuperação de partes do isolamento térmico de tubulações, eliminação de vazamentos de vapor em turbinas de acionamento de um compressor e um ventilador, eliminação de fugas de ar em aquecedor de ar regenerativo e reinstalação de sopradores de fuligem. O período de *payback* estimado para o retorno do investimento necessário para implementar estas melhorias foi de 0,4 anos.

Reduções potenciais de perdas foram encontradas nos fornos de pirólise da nafta através de melhorias na combustão na zona de radiação dos fornos, redução da formação de coque na zona de convecção e redução das infiltrações de ar. Um melhor controle da relação ar/combustível pode propiciar ganhos de eficiência energética nos fornos dos produtos aromáticos. O *payback* dos investimentos estimados para se implantar estas medidas é de 0,7 anos.

A instrumentação dos sistemas de controle das colunas de destilação do processo de produção de propeno analisadas foi considerada adequada. A modelagem das variáveis de processo pelo *software* Aspen revelou a necessidade de se aprimorar o sistema de controle das colunas, sobretudo o controle do inventário na base, e de se otimizar as taxas de refluxo. Não há necessidade de investimentos para a implementação destas medidas.

O investimento previsto nas melhorias identificadas no diagnóstico energético foi de R\$ 20.348.000,00, com um período médio de *payback* de 0,49 anos. O retorno total previsto para este investimento foi de R\$ 41.685.425,00, que correspondia a 4,3% do gasto com energia na

UNIB 3 ABC em 2012; uma redução de 1,7% poderia ser alcançada sem necessidade de investimentos. Do montante total, R\$ 39,95 milhões teriam um período de *payback* inferior a um ano e R\$ 1,73 milhões um *payback* entre um e dois anos.

O potencial de conservação de energia detectado no diagnóstico energético da UNIB ABC é um potencial de mercado, já que não só foi realizada uma avaliação econômica das medidas propostas, como também se levou em conta, na seleção das medidas propostas, o critério de período de *payback* adotado pela direção da central para a realização de investimentos em medidas de conservação de energia.

Das oportunidades de ganhos de eficiência energética identificadas no diagnóstico, as seguintes foram classificadas como de execução prioritária:

- i. Recuperação de energia através do pré-aquecimento da água de reposição das caldeiras da planta de craqueamento a vapor;
- ii. Melhorias nas vedações (infiltração de ar) e no ajuste dos queimadores (combustão) dos fornos de pirólise da nafta;
- iii. Reinstalação dos sopradores de fuligem que haviam sido retirados de algumas caldeiras, pois elas estavam queimando óleo residual e produzindo muita fuligem.
- iv. Aumento da proporção de etano no etileno através da redução da taxa de refluxo em uma das colunas de destilação do sistema de propeno. Esta medida permite uma redução no trabalho do compressor do sistema e um menor consumo de vapor no reboiler.

## **6 Propostas de Avanços no Sistema de Gestão da Energia da UNIB 3 ABC**

A sobrevivência e crescimento de conglomerados industriais como a Braskem frente à competição internacional está diretamente ligada à obtenção de padrões superiores de desempenho associados à:

- i. Gestão sistematizada de custos e redução das despesas;
- ii. Integração e racionalização dos processos industriais;
- iii. Melhor e maior aproveitamento dos ativos industriais;
- iv. Garantia de segurança de processo e preservação ambiental;
- v. Atendimento a requisitos legais;
- vi. Garantia de qualidade, produtividade e confiabilidade nos processos de produção;
- vii. Redução nas emissões de GEE;
- viii. Redução no consumo e do custo das fontes energéticas;
- ix. Formação, capacitação e qualificação dos profissionais;
- x. Investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias;
- xi. Formação de uma cultura de excelência na produção de bens e serviços; e
- xii. Implantação das melhores práticas de gestão empresarial e tecnológica associadas aos processos de produção;

Para se conseguir avanços no sistema de gestão da energia na UNIB 3 ABC é necessário implantar as melhorias preconizadas para a central em um processo contínuo e gradual, envolvendo todas as pessoas da organização. É fundamental se documentar o processo e se compartilhar o aprendizado, os resultados e as melhores práticas desenvolvidas com as outras unidades da empresa.

Ganhos de produtividade e a redução nos custos da energia são conseqüência de uma boa administração dos recursos energéticos, implantação de melhorias e uma gestão de pessoas integradas com o espírito de servir (ambiente de cooperação).

Durante o planejamento e execução do diagnóstico energético na UNIB 3 ABC, os parceiros da Braskem nesta empreitada souberam que a gerência de eficiência energética da empresa tinha como uma de suas metas, a médio prazo, conseguir o credenciamento do SGE das unidades da empresa, inclusive a UNIB 3 ABC, pela norma ISO 50.001.

Neste capítulo da dissertação são apresentados os requisitos que uma instalação deve satisfazer para obter tal credenciamento e se discute a importância de se ter um sistema de gestão integrado, envolvendo vários sistemas de gestão específicos e suas normas. O capítulo é encerrado com algumas recomendações específicas de melhorias no atual sistema de gestão energética da UNIB 3 ABC.

## **6.1 Condições requeridas para o credenciamento de uma instalação pela norma ISO 50.001**

A norma ISO 50.001, que versa sobre sistemas de gestão da energia, é uma das normas da *International Organization for Standardization* (ISO). Ela tem o objetivo de habilitar organizações, não só industriais, a estabelecerem sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo eficiência energética, uso e consumo de energia.

A norma especifica os requisitos de um sistema de gestão da energia (SGE) que uma organização deve desenvolver para implantar a sua política energética, estabelecer objetivos, metas e planos de ação, considerando, quando aplicável, o atendimento a requisitos legais.

Com sede em Genebra, na Suíça, a ISO é uma federação mundial não-governamental, composta por organismos nacionais de normalização de mais de 100 países. Ela tem por objetivo elaborar e propor normas que representem e traduzam o consenso de todos os países membros na uniformização de procedimentos e práticas. O Brasil é representado na ISO pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Inmetro é o órgão nacional de acreditação das normas ISO. A acreditação é uma ferramenta estabelecida em escala internacional para gerar confiança na atuação de organizações que executam atividades de avaliação da conformidade.

Através da acreditação há o reconhecimento formal, por um organismo de acreditação, de que um Organismo de Avaliação da Conformidade - OAC (laboratório, organismo de certificação ou organismo de inspeção) atende a requisitos previamente definidos e demonstra ser competente para realizar as suas atividades com confiança. Um sistema concebido para acreditar serviços de avaliação da conformidade dos OAC deve transmitir confiança para as atividades comerciais e para a autoridade regulamentadora.

A ISO publicou a norma ISO 50.001 em 2011 e, em julho do mesmo ano, a ABNT publicou a norma brasileira ABNT NBR ISO 50.001 - Sistema de Gestão da Energia.

A Tabela 6.1 apresenta o volume das certificações dos sistemas de gestão da energia por continente, a partir de 2011 até o final de 2012. Entre os continentes, o destaque foi o continente europeu.

**Tabela 6.1 - Número das certificações por continente pela ISO 50.001**

	2011	2012
<b>África</b>	0	13
<b>América Central / América do Sul</b>	11	7
<b>América do Norte</b>	1	4
<b>Europa</b>	364	1758
<b>Leste da Ásia e Pacífico</b>	49	134
<b>Sul da Ásia Central</b>	26	47
<b>Oriente Médio</b>	8	18
<b>TOTAL</b>	<b>459</b>	<b>1981</b>

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ISO (2013)

Segundo a ISO (2013), a Alemanha foi o país líder na certificação do sistema de gestão da energia pela norma ISO 50.001 em 2012, conforme indicado na Tabela 6.2.

De acordo com os organismos de avaliação da conformidade acreditados pelo Inmetro, até o ano de 2012 foram certificados no Brasil quatro sistemas de gestão da energia pela norma ISO 50.001 em indústrias de transformação. As empresas certificadas estão indicadas a seguir:

- WEG: Sistema de gestão de unidade de fabricação de motores elétricos (BVQI);
- Metalplan: Sistema de gestão de unidade de fabricação de compressores (SGS);

- Teksid: Sistema de gestão de unidade de fundição de alumínio (DNV); e
- Comau Ind. e Com. Ltda: Sistema de gestão da empresa de serviços de projeto e manutenção (BSI)

**Tabela 6.2 - Países que se destacaram na certificação pela ISO 50.001 em 2012**

<b>País</b>	<b>Nº de certificações</b>
Alemanha	1115
Espanha	120
Dinamarca	85
Suécia	72
Itália	66
Romênia	54
Índia	45
Tailândia	41
Taipei, China	37
França	35

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ISO (2013)

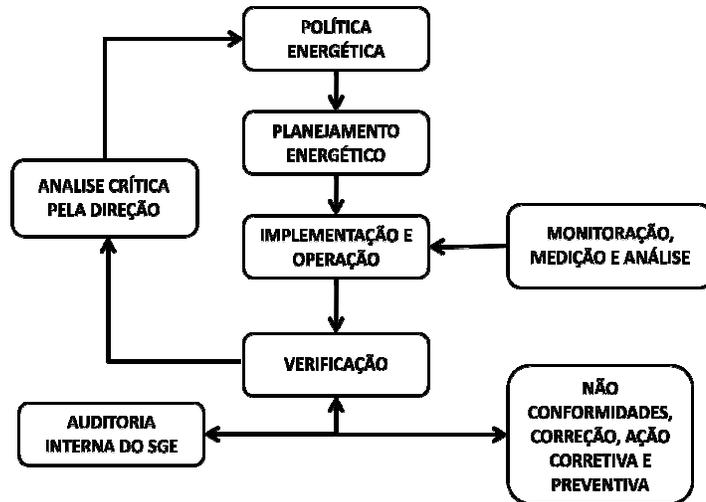
De uma forma semelhante ao que é requerido pelas normas de gestão da qualidade e gestão ambiental da ISO, a ISO 50.001 exige que um SGE consolide as responsabilidades macro indicadas na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3 - Requisitos do SGE pela ISO 50.001**

<b>Requisitos</b>	<b>Ações macro</b>
Organização	A organização deve estabelecer, documentar, implantar e melhorar o SGE de acordo com os requisitos da norma.
Direção	A alta direção deve demonstrar o seu comprometimento em apoiar o SGE através de ações que possibilitem: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer, implantar e manter uma política energética;</li> <li>• Designar um representante da direção e montar uma equipe de gestão da energia.</li> </ul>
Representante da Direção	Garantir que o SGE seja estabelecido, implantado, mantido e continuamente melhorado.

Fonte: Elaboração própria a partir da norma ABNT NBR ISO 50.001:2011

A norma assume que haja um processo de melhoria contínua, conforme ilustrado na Figura 6.1.



Fonte: Elaboração própria a partir da norma ABNT NBR ISO 50.001:2011, p. vii

**Figura 6.1 - Modelo de sistema de gestão da energia, segundo a norma ISO 50.001**

As fases do processo PDCA para um SGE, propostas pela ISO 50.001, estão descritas na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4- Fases do processo PDCA para um SGE pela ISO 50.001**

Processo	Descrição do SGE
<b>Planejar (Plan)</b>	Fazer uma avaliação energética e estabelecer uma referência quantitativa como base para a comparação do desempenho energético. Criar indicadores de desempenho energético, objetivos, metas e planos de ação necessários para obter os resultados de desempenho conforme a política energética da organização.
<b>Fazer (Do)</b>	Implantar planos de ação da gestão da energia.
<b>Verificar (Check)</b>	Monitorar e medir os processos consumidores de energia e as características principais de operação que determinam o desempenho energético da organização e divulgar os resultados.
<b>Agir (Act)</b>	O desempenho energético de uma organização inclui o uso da energia, o consumo de energia, a eficiência energética, a intensidade energética, entre outras variáveis. Implantar ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o SGE.

Fonte: Elaboração própria a partir da ABNT NBR ISO 50.001:2011

De acordo com a ISO 50.001, uma organização deve ter a intenção de obter melhorias de desempenho energético através da análise crítica e avaliações periódicas do SGE para identificar e implantar melhorias. A Figura 6.2 é uma representação conceitual de desempenho energético preconizado pela norma.



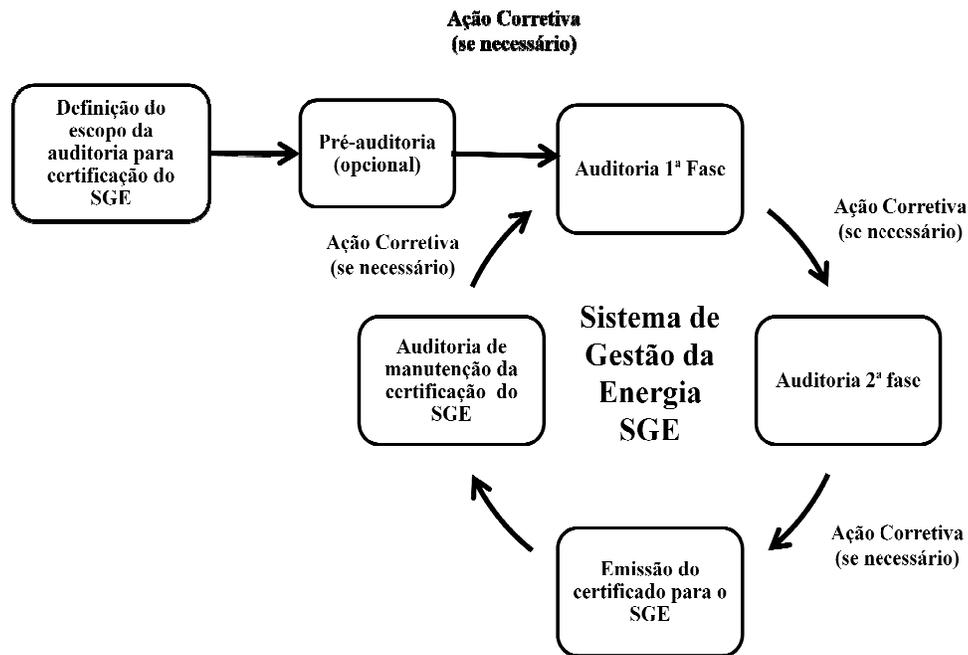
Fonte: Elaboração própria a partir da ABNT NBR ISO 50.001:2011 (figura A.1)

**Figura 6.2- Representação conceitual de desempenho energético**

Segundo o Bureau Veritas (2013), o processo de certificação pela norma ISO 50.001 segue as etapas descritas a seguir, representadas na Figura 6.3:

- Definição, com o representante da direção da organização que deseja ser certificada, o escopo da auditoria de certificação. A auditoria é realizada em duas fases:
  - 1ª Fase: revisão, para verificar se a organização está pronta para a certificação;
  - 2ª Fase: avaliação da implantação.
- Para um SGE que atende aos requisitos da norma, mediante os resultados da 2ª fase da auditoria, é emitido um certificado que é válido por três anos;
- São programadas auditorias de manutenção da certificação para verificar se o SGE continua cumprindo com os requisitos da norma;
- A recertificação do SGE para um novo ciclo de três anos pode ser feita após a realização de uma nova auditoria que novamente ateste a conformidade e a eficácia do SGE da organização como um todo.

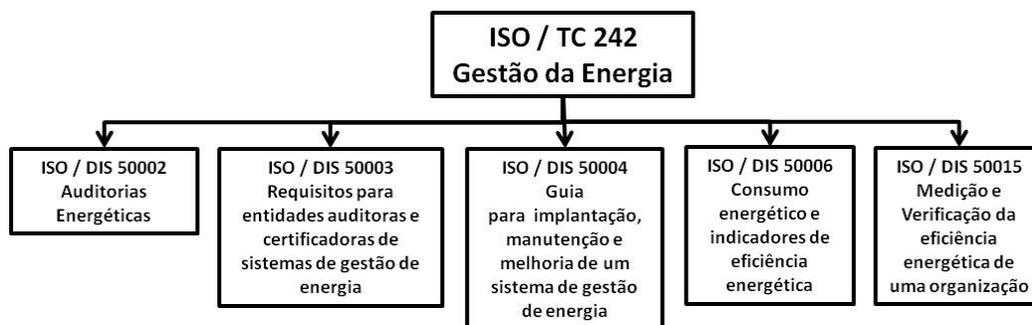
- São programadas novas auditorias de manutenção da certificação para verificar se o SGE está em um processo de melhoria contínua.



Fonte: Elaboração própria a partir de Bureau Veritas (2013)

**Figura 6.3 - Processo de certificação do SGE pela ISO 50.001**

A ISO (2013) está desenvolvendo um conjunto de normas complementares da série 50.000, com a finalidade de possibilitar uma melhor compreensão na implantação do processo de gestão da energia pela ISO 50.001. Estas normas complementares estão indicadas na Figura 6.4.



Fonte: Elaboração própria a partir da ISO (2013)

**Figura 6.4 - Normas complementares da série ISO 50.000**

A Braskem possui um elaborado programa de sustentabilidade e as preocupações da empresa com eficiência energética estão resumidas em um dos seus pilares, conforme apresentado no capítulo 3. A importância relativa dos demais pilares, no entanto, acaba tolhendo uma abordagem mais abrangente desta área. Um exemplo disto é que a empresa só tem adotado um indicador de desempenho energético, com metas associadas: o consumo energético específico total. A atual abordagem da empresa em relação à área de energia tem que ser ampliada e diversificada se ela quiser que suas plantas sejam credenciadas pela norma ISO 50.001.

Na maior parte das empresas industriais brasileiras que possuem programas de eficiência energética, incluindo a Braskem, ações visando melhorias do seu desempenho energético são associadas basicamente às áreas de operação e manutenção. Empresas no exterior que têm conseguido mais sucesso com tais programas, em termos de ganhos de produtividade, eficiência energética e redução de impactos ambientais negativos, têm ampliado a abrangência destes programas para incluir outras áreas, como as de projeto, P&D, compras, etc.

## 6.2 Integração da gestão da energia com outros sistemas de gestão

Os procedimentos de uma organização, para serem realmente eficientes, precisam ser conduzidos dentro de um sistema estruturado de gestão. As empresas precisam demonstrar para a sociedade e o mercado que a organização não existe apenas para explorar os recursos naturais e ter lucro, mas também para contribuir com o desenvolvimento de uma maneira integrada.

A adoção das normas da série ISO e a certificação dos sistemas de gestão em empresas industriais tem sido crescentes no Brasil a partir dos anos 1990, em virtude dos ganhos nas relações comerciais associados com os processos de melhoria na qualidade e produtividade destas empresas.

Conforme ilustrado na Figura 6.5, a norma ISO 50.001 pode atuar de forma integrada com os outros sistemas de gestão da série de normas ISO adotadas por empresas industriais, tais como:

- Qualidade (normas da série ISO 9.000);
- Ambiental (normas da série ISO 14.000);
- Gases de efeito estufa (norma ISO 14.064);
- Saúde e segurança ocupacional (norma ISO 18.000); e
- Ativos (norma ISO 55.000).



Fonte: Elaboração própria

**Figura 6.5 - Um sistema integrado de gestão**

A Braskem já possui sistemas de gestão em várias das áreas mencionadas nesta seção, a maior parte delas inserida no programa de sustentabilidade da empresa. Conforme proposto na seção anterior deste capítulo, a empresa precisa tornar mais abrangente o seu atual sistema de gestão da energia e, se houver uma boa integração com os outros sistemas de gestão, aqui mencionados, os macros objetivos do programa de sustentabilidade da empresa serão mais rapidamente atingidos, com plenitude.

### **6.3 Recomendações de melhorias no atual sistema de gestão da energia na UNIB 3 ABC**

O diagnóstico energético realizado na UNIB 3 ABC em 2012, cuja organização, execução e resultados estão sintetizados na seção 5.4 desta dissertação, foi exemplar e refletiu bem a longa experiência mundial, neste tipo de atividade, dos técnicos do US Department of Energy que ajudaram a organizar e realizar o evento.

Este bem organizado diagnóstico foi um dos produtos inovadores da nova direção, na época, da gerência de eficiência energética da Braskem. Diagnósticos energéticos amplos como este, ou mais simplificados, também foram realizados em outras plantas da Braskem entre 2012 e 2013, mas o da UNIB 3 ABC foi o primeiro deles. Conforme mencionado na seção 4.2.2, as razões para esta escolha foram o menor desempenho energético desta central em 2012, em relação às outras centrais petroquímicas de 1ª geração da Braskem no País, e a forte elevação do consumo energético específico desta central entre 2011 e 2012.

Diz o ditado popular: “Uma única andorinha não traz o verão”. Da mesma forma, um único, ou ocasionais diagnósticos energéticos, com motivações conjunturais, não garantem a busca de melhorias contínuas de desempenho energético conforme requerido pela norma ISO 50.001. Um sistema de gestão energética que satisfaça a esta norma precisa contemplar diagnósticos energéticos regulares e periódicos, talvez mais simples do que o realizado em 2012.

O diagnóstico realizado em 2012 na UNIB 3 ABC revelou algumas práticas e equipamentos que constituem o “estado da arte”, em termos de desempenho energético, convivendo, lado a lado, com problemas típicos de instalações antigas e, ao menos parcialmente, desatualizadas e/ou com desempenho energético inferior.

Conforme mencionado na seção 3.4 desta dissertação, a UNIB 3 ABC possui diversos equipamentos importantes, como caldeiras e compressores, com 45 anos de idade. A última grande reforma (*revamp*)<sup>3</sup>, realizada em 2008, modernizou alguns equipamentos da planta, mas muitos deles ainda são da época da instalação da central e tem contribuído para um desempenho energético inferior ao verificado em outras plantas, mais novas, da Braskem. É importante que, na próxima parada geral da central para manutenção, que deve ocorrer em breve, ocorra uma novo *revamp*, envolvendo sobretudo os equipamentos que não foram substituídos ou modernizados em 2008.

O critério adotado no diagnóstico da UNIB 3 ABC de só considerar medidas que possibilitam ganhos de eficiência energética que tenham períodos de retorno de até 1 ano, ou, no máximo, 2 anos é conservador. Este critério é usualmente adotado na indústria quando se tem a visão de que tais ganhos só estão associados a relativamente pequenas economias nos custos de operação e manutenção e requerendo investimentos não muito elevados; alguns exemplos de medidas que normalmente atendem a este critério são a eliminação de vazamentos de vapor, ou de ar comprimido, manutenção de purgadores danificados, restauração de isolamento térmico deteriorado, substituições de motores elétricos ou bombas de baixa capacidade, monitoramento dos gases de combustão em chaminés e, com base nisto, otimização da eficiência de combustão em queimadores, e *upgrades* em sistemas de monitoramento e controle de equipamentos que consomem energia térmica, ou energia elétrica.

Investimentos mais vultosos, em medidas tais como a substituição de caldeiras, fornos, motores elétricos, turbinas, bombas, ventiladores, ou compressores de elevada capacidade, e,

---

<sup>3</sup> O principal objetivo deste *revamp*, conforme mencionado na seção 3.4, foi a ampliação da capacidade de produção de etileno na central.

principalmente, medidas inovadoras como, por exemplo, a instalação de baterias de trocadores de calor que permitem uma maior integração das unidades produtivas, ou a integração do sistema de alimentação de ar para combustão, em fornos de pirólise, com turbinas a gás, envolve usualmente períodos de *payback* de alguns anos, mas, em geral, propiciam ganhos substanciais de produtividade industrial, economias de energia e economias no custo dos energéticos. Estes tipos de medidas precisam ser considerados no próximo *revamp* da UNIB ABC e vão exigir parcerias entre a equipe responsável por eficiência energética na central, projetistas de equipamentos, especialistas em processos petroquímicos e técnicos do departamento de compras.

A Figura 4.1 da dissertação mostra que, segundo levantamentos da Agência Internacional de Energia, 5,5% do consumo de combustíveis, 12% do consumo de eletricidade e 12,2% do consumo de vapor de uma planta química ocorrem em atividades de apoio à produção, tais como transporte e manuseio internos à planta, oficinas de manutenção, armazéns, laboratórios, salas de controle, prédios administrativos e restaurantes industriais. Na maioria das instalações industriais, inclusive na UNIB 3 ABC, estas atividades ainda não são incluídas nos diagnósticos energéticos e sistemas de gestão da energia. É importante que estas áreas de apoio e o pessoal que nelas trabalha, ou delas faz uso, também sejam incluídas no sistema de gestão da energia da planta, não tanto por expectativas de grandes impactos que elas possam ter em eventuais reduções de consumos energéticos específicos, mas principalmente para motivar e capacitar este pessoal no uso eficiente da energia, bem no espírito preconizado pela norma ISO 50.001.

## 7 Conclusões e recomendações

### 7.1 Conclusões

Potenciais para a melhoria da eficiência energética industrial devem ser avaliados periodicamente, levando à implantação de medidas eficazes para a redução do consumo específico de energia e dos custos de produção e à minimização de impactos ambientais negativos decorrentes do processo de produção, em uma estrutura sustentável de gestão industrial.

O segmento da indústria petroquímica que agrega as centrais de 1ª geração é energia e capital intensiva, está sujeita a fortes ganhos de escala e o custo de seus produtos depende muito do custo da principal matéria-prima utilizada - nafta ou gás natural, do custo dos energéticos adquiridos no mercado, sobretudo gás natural e eletricidade, da produtividade industrial das centrais e da eficiência energética dos processos e equipamentos utilizados. Vários estudos, alguns dos quais referidos nesta dissertação, indicam elevados potenciais de ganhos de eficiência energética neste tipo de planta petroquímica.

Atualmente, os menores custos dos insumos petroquímicos básicos produzidos por estas centrais são observados em países onde se dispõe de gás natural abundante e barato, como na Arábia Saudita e, mais recentemente, nos Estados Unidos.

O Brasil está perdendo esta competição para estes países, já que o País ainda não dispõe de gás natural abundante e barato. Como o preço da energia elétrica adquirida pelas centrais petroquímicas nacionais, seja no mercado cativo, seja no mercado livre, não tem sido, via de regra, mais favorável do que o encontrado nos principais países competidores do Brasil, resta a este ramo industrial apostar suas fichas em possíveis ganhos de produtividade e de eficiência energética.

Conforme relatado na dissertação, a Braskem é hoje a maior empresa petroquímica da América Latina, sendo proprietária das quatro centrais de 1ª geração que produzem insumos

petroquímicos básicos no Brasil. A central localizada na região do ABC, no Estado de São Paulo, a UNIB 3 ABC, é a unidade mais antiga, adquirida em 2010. Seu potencial técnico de conservação de energia, segundo cálculos indicados no capítulo 5 deste trabalho, é o segundo maior entre as quatro centrais da Braskem. Esta central foi escolhida como estudo de caso da dissertação e seu autor participou de um amplo diagnóstico energético realizado nesta planta em 2012.

Uma das contribuições originais da dissertação, na realidade brasileira, é enumerar um grande número de medidas que podem propiciar ganhos de eficiência energética nos diversos tipos de equipamentos das centrais petroquímicas de primeira geração, com indicações, na forma de faixas de valores, das economias de energia que podem ser obtidas. A fundamental importância que economias de escala junto com inovações tecnológicas detêm na competição envolvendo este tipo de central, é devidamente enfatizada e as principais inovações são mencionadas.

No trabalho também há a conceituação e discussões sobre diagnósticos energéticos, *benchmarking* e potenciais de conservação de energia na indústria. Outra contribuição original da dissertação é a aplicação destes conceitos à UNIB 3 ABC, incluindo uma descrição sucinta do planejamento, execução e principais resultados obtidos no diagnóstico energético realizado em 2012 nesta planta.

Sistemas de gestão da energia em instalações industriais constitui outro tema tratado na dissertação e a terceira e última contribuição original do trabalho consiste na apresentação e análise crítica do atual sistema de gestão da energia na Braskem, com algumas propostas de avanços neste sistema e, particularmente, na sua aplicação na UNIB 3 ABC, visando o futuro credenciamento do SGE desta central pela norma ISO 50.001.

A melhoria contínua do desempenho energético das unidades industriais e a confiabilidade na operação durante a vida útil dos equipamentos estão associadas a uma melhor gestão dos ativos. É necessário integrar a gestão da energia na indústria em todas as fases do ciclo de vida das unidades, ou seja, a partir do início, quando da seleção da tecnologia para a produção, especificação e detalhamentos de projeto, seleção dos fornecedores de equipamentos e instalações, operação e manutenção, desativação e substituição dos ativos estratégicos.

A tendência atual na indústria moderna, no mundo, é a busca de uma gestão integrada de ativos, da qualidade, da energia, do meio ambiente, da saúde e segurança, e da responsabilidade social, tarefa esta que evidentemente não é nada fácil, mas que tem encontrado balizadores importantes nas famílias de normas ISO relacionadas a estes temas. Estas normas têm sido concebidas para serem compatíveis entre si.

## **7.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Os seguintes temas poderiam ser pesquisados em trabalhos futuros, como desdobramentos das questões tratadas nesta dissertação:

### **(i) Inovações tecnológicas na indústria petroquímica**

Conforme indicado no capítulo 5 desta dissertação, as principais inovações que têm possibilitado recentemente ganhos de eficiência energética na indústria petroquímica envolvem a integração de processos de produção, implantação de sistemas de cogeração, reciclagem e recuperação de calor. É importante se pesquisar as tendências tecnológicas que possam vir a ocorrer a médio e longo prazo associadas com a busca de redução do consumo específico de energia e das emissões de gases de efeito estufa em unidades petroquímicas de insumos básicos.

### **(ii) Gestão integrada das normas ISO**

A tendência que se tem observado em diversos segmentos industriais no exterior, inclusive o químico, é a busca de uma gestão integrada da qualidade, meio ambiente, saúde e segurança operacional, responsabilidade social, energia e ativos, balizadas pelas normas ISO correspondentes. Uma avaliação dos ganhos de desempenho que esta abordagem pode propiciar

para as centrais petroquímicas de primeira geração no Brasil é certamente um desdobramento interessante desta dissertação.

## Referências

ABIQUIM, **Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 2.0**. Disponível em <<http://www.ABIQUIM.org.br/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-Conceitos.pdf>>. Acesso em: 29/07/2012.

ABIQUIM. **Programa de atuação responsável – Requisitos do sistema de gestão**. Disponível em: <<http://canais.ABIQUIM.org.br/atuacaoresponsavel/pdf/Programa-AR-2012-manual-de-requisitos-de-gestao.pdf>>. Acesso em: 04/09/13.

ABIQUIM, **Apresentação do setor: ENAIQ 2013**. Disponível em: <<http://www.ABIQUIM.org.br/enaiq2013/apresentacao/>>. Acesso em: 18/12/13.

ABIQUIM, **O desempenho da indústria química em 2013**. Disponível em: <[http://www.ABIQUIM.org.br/download/comunicacao/apresentacao/desempenho da Industria Quimica.pdf](http://www.ABIQUIM.org.br/download/comunicacao/apresentacao/desempenho_da_Industria_Quimica.pdf)>. Acesso em: 18/12/13.

ALTVATER, E. **Introdução: Porque o desenvolvimento é contrário ao meio ambiente. O Preço da Riqueza**. São Paulo: UNESP, 1995. p. 11 - 41.

Análise Gestão Ambiental: Anuário 2010/2011. Disponível em: <<http://issuu.com/analiseeditorial/docs/gestao?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fli>>. **Análise Editorial**. p. 47-48, 2011.

Análise Gestão Ambiental: Rio+20. Disponível em: <[http://issuu.com/analiseeditorial/docs/especial\\_rio20\\_2012?e=1807243/2647631](http://issuu.com/analiseeditorial/docs/especial_rio20_2012?e=1807243/2647631)>. **Análise Editorial**. p. 32-79, 2012.

Análise Gestão Ambiental: 2013/2014. **Análise Editorial**. p. 35-48, 2014.

BAJAY, S. V.; SANTANA, P. H. M. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria.** Brasília: CNI, 2010. p. 78-80.

BAJAY, S. V. **Conservação de energia - Conceitos (apresentação de slides em Aula no primeiro semestre de 2011 no curso PE103 - "Demanda e Conservação de Energéticos" do programa de Mestrado de Planejamento de Sistemas Energéticos).** Campinas: Universidade Estadual de Campinas: 2011.

BAJAY, S. V.; BEISSMANN, A.; GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética para indústria: setor químico.** Brasília: CNI, 2010, Figura 30, p. 152.

BARROS, B. F.; BORELLI, R. ; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado de energia elétrica.** São Paulo: Érica, 2010. p. 28-30.

BNDES. **Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO).** Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_Atualizacao/Meio\\_Ambiente/proesco.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atualizacao/Meio_Ambiente/proesco.html)>. Acesso em: 30/10/2013.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. D.; SOUZA, E. C. M.. **Processamento de petróleo e gás: petróleo e seus derivados, processamento primário, processos de refino, petroquímica, meio ambiente,** Rio de Janeiro: LTC, 2011. p. 223-234.

BRASIL, N. I. **Fornos de Refinarias de Petróleo e Petroquímicas.** Salvador: CEMANT/CENEQ/UFBA, 1988. p. 36.

BRASKEM. **Catálogo de produtos da Braskem UNIB: unidade petroquímicos básicos.** Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/catalogo2013outubro/>>. Acesso em: 10/11/2013.

BRASKEM. **O setor petroquímico: perfil dos crackers.** Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/show.aspx?idCanal=YIvXIS7BgoLxL7WvVwvP5A==>>. Acesso em: 10/11/2013.

BRASKEM. **Histórico e trajetória da empresa.** Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/historico>>. Acesso em: 10/11/2013.

BRASKEM. **Macros objetivos para o gerenciamento sustentável na Braskem.** Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/objetivos-iniciativas>>. Acesso em: 10/11/2013.

BRASKEM. **Relação com os investidores.** Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/Default.aspx>>. Acesso em: 10/11/2013.

BUREAU VERITAS. **ISO-50001: Sistema de gestão de energia.** Disponível em: <<http://www.bvqi.com.br/media/49245/010 - iso 50001.pdf>>. Acesso em: 22/11/13.

CAMPANARIO, M. de A.; FURTADO, J.; FLEURY, A; FLEURY, M. T. L. **Política Industrial 1.** São Paulo: Publifolha, 2004. p. 20-25.

CAMPELLI, A. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais.** São Paulo: Érica, 2013. p. 172.

CLARKE, J. **Overview Process Heating Systems.** Santo André: DOE, 2012.

CLEVELAND, C. J. Encyclopedia of Energy. In: HARMAN, C. R.; ALSOP, W. R.; ANDRESON, P.D. **Ecological risk assesement applied to energy development.** California: Elsevier Science, 2004, vol. 2, p. 13-14.

CLEVELAND, C. J. Encyclopedia of Energy. In: EICHHAMMER, W. **Industrial Energy Efficiency.** California: Elsevier Science, 2004, vol. 3, p. 383-393.

DOE. **Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry.** Disponível em: <<http://industrial-energy.lbl.gov/files/industrial-energy/active/0/Steam%20Sourcebook.pdf>>. 2004. Acesso em: 22/01/13.

DOE. *Improving pumping system performance: a sourcebook for industry*. Disponível em: <[https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/pump.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/pump.pdf)>. 2006. Acesso em: 22/01/13.

DOE. *Improving process heating system performance: a sourcebook for industry*. Disponível em: <[http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/process\\_heating\\_sourcebook2.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/process_heating_sourcebook2.pdf)>. 2007. Acesso em: 22/01/13.

DOE. *Manufacturing energy and carbon footprint chemicals 2012*. Disponível em: <[http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/pdfs/chemicals\\_footprint\\_2012.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/pdfs/chemicals_footprint_2012.pdf)>. Acesso em: 07/08/13.

EIA. *International Energy Outlook 2013*. Washington: EIA, 2013. Disponível em: <<http://www.eia.gov/forecasts/ieo/>>. Acesso em: 01/11/2013.

EPE/MME. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014-2023)**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/EPEpublicaestudosobeproje%C3%A7%C3%A3odadeemandadeenergiael%C3%A9tricanospr%C3%B3ximos10anos.aspx>>. Acesso em: 27/01/14.

EPE/MME. **Plano Nacional de Energia (PNE) 2030**. (MME), M. D. M. E. E. Brasília. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>>. Acesso em: 27/08/2013.

EPE/MME. **“Balanço Energético Nacional 2013- Ano base 2012: Relatório Final”**. Rio de Janeiro, Empresa de Pesquisa Energética: EPE, 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>>. Acesso em: 27/08/2013.

FADIGAS, C. **O Futuro da Indústria Química** (ABIQUIM, ENAIQ 2013). Disponível em: <[http://www.ABIQUIM.org.br/enaiq2013/pdf/apresentacao/Carlos\\_Fadigas.pdf](http://www.ABIQUIM.org.br/enaiq2013/pdf/apresentacao/Carlos_Fadigas.pdf)>. Acesso em: 18/12/13.

FALCO, R.; MATTOS, E. E. **Bombas Industriais**. Rio de Janeiro: Macklausen Editora, 1992, p. 388-393.

FIGUEIREDO, F. **Desempenho da Indústria Química – 2013 e Indicadores de Atuação Responsável – 2012** (ABIQUIM, ENAIQ 2013). Disponível em: <[http://www.ABIQUIM.org.br/enaiq2013/pdf/apresentacao/Fernando\\_Figueiredo.pdf](http://www.ABIQUIM.org.br/enaiq2013/pdf/apresentacao/Fernando_Figueiredo.pdf)>. Acesso em: 18/12/13.

GARCIA, D. M. **Fornos Tubulares Sujeitos à Chama**. Cosmópolis: CETRIL, 2009. p. 26.

Global top 50. Disponível em: <<http://cen.acs.org/content/dam/cen/91/30/09130-globaltop50.pdf>>. **Chemical & Engineering News**. p. 15, Acesso em: 16/12/2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2008. p. 46-50, 215-223.

GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Blucher, 2010. p. 13, 47-50.

GORLA, F. D. **Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira**. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M., REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. Cap. 1, p. 1-31.

IBP - Comissão de Inspeção de Equipamentos. **GUIA N° 07 - Inspeção de Caldeiras**. IBP: Rio de Janeiro, 2004. p. 7-12.

ICCA. **Chemical industry contributions to energy efficiency and mitigating climate change - 2013**. Disponível em: <<http://www.icca-chem.org/ICCADocs/ICCA%20Roadmap%20Summary.pdf>>. p. 4. Acesso em: 18/12//2013.

IEA. **Key world energy statistics 2013**. Paris: IEA, 2013. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/>>. Acesso em: 01/11/2013.

IEA. **Energy balance 2011**. Disponível em <<https://www.iea.org/sankey/>>. Acesso em: 01/11/13.

IEA. **Tracking industrial energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions 2007**. Disponível em: <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking\\_emissions.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking_emissions.pdf)>. Acesso em: 23/01/14.

IEA. **Energy Efficiency Governance Handbook 2010**. Disponível em: <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/gov\\_handbook.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/gov_handbook.pdf)>. Acesso em: 10/06/2013.

ISO, **The ISO Survey of Management System Standard Certifications-2012**. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/iso\\_survey\\_executive-summary.pdf](http://www.iso.org/iso/iso_survey_executive-summary.pdf)>. Acesso em: 22/11/2013.

ISO. **Standards catalogue: ISO/TC 242 - Energy Management**. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=558632&development=on](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=558632&development=on)>. Acesso em: 04/12/13.

JANNUZZI, G. de M. **Políticas pblicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Campinas: Autores Associados, 2000. p. 88-104.

LEITE, L. F. **Olefinas leves: tecnologia, mercado e aspectos econômicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. p. 21-71, 157-174.

LIEBERMAN, N.; LIEBERMAN, E. **A work guide to process equipment**. New York: The Mcgraw-Hill Companies, 2008. p. 37-87.

LUDWIG, E. E. **Applied process design for chemical and petrochemical plants**. Houston, 1964, vol. 2, p. 2.

MARQUES, M. C. S.; HADAD, J.; MARTINS, A. R. S. (Coordenadores), **Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá: Eletrobrás/Procel Educação e Universidade Federal de Itajubá/FUPAI, 2006. p.129-147.

MARQUES, M. C. S.; HADAD, J. GUARDIA, E. C. (Coordenadores), **Eficiência energética: teoria & prática**. Itajubá: Eletrobrás/Procel Educação e Universidade Federal de Itajubá/FUPAI, 2007. p. 01-02.

MARTINHO, E. **Distúrbios da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2012. p.22-36.

MATAR, S.; HATCH, L. F. **Chemistry of petrochemical processes**. Houston: Gulf Publishing Company, 2000. p. 100.

MIERZWA, j. C., HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 74 e 83.

MONTEIRO, M. A. G.; ROCHA, L. R. R. **Gestão energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.p.23-32.

NEELIS, M.; WORRELL, E.; MASANET, E. **Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Petrochemical industry**. Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory / University of California: 2008. p. 95-99. Disponível em: <[https://www.energystar.gov/ia/business/industry/Petrochemical\\_Industry.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/industry/Petrochemical_Industry.pdf)>. Acesso em: 26/07/13.

NOGUEIRA, L. A. H., ROCHA, C. A., NOGUEIRA, F. J. H. e MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência Energética no Uso do Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás / Procel, 2005. p. 15.

PAYNE, G. A. **Managing energy in commerce and industry**. London: Butterworth & Co, 1984. p. 31-38.

PETROBRAS. **Guia de Oportunidades em eficiência energética na Petrobras**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. p.13.

PETROBRAS. **Apresentação do Plano de Negócios e Gestão da Petrobras 2012**. Disponível em: < <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/apresentacoes/apresentacao-do-pn-2012-2016-rio-de-janeiro.htm>> Acesso em: 30/07/2012.

PINTO JUNIOR, H. Q.; ALMEIDA, E. F.; BOMTEMPO, J. V.; IOOTTY, M.; BICALHO, R. G. **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução, história e organização social**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. p. 72-82, 321.

PIRES, A.; FERNÁNDEZ, E. F.; BUENO, J. C. C. **Política energética para o Brasil: propostas para o crescimento sustentável**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006. p. 38-44.

PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – Classe industrial de alta tensão, Relatório setorial: produtos químicos**. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B37E8F41C%2DCAD9%2D44BD%2D8C7C%2D287E0C4FF82A%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7D>>. Eletrobrás, 2005. Acesso em: 11/12/13.

REN, T.; PATEL, M.; BLOK, K. **Energy efficiency and innovative emerging technologies for olefin production**. Disponível em: <<http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/21674/NWS-E-2006-3.pdf?sequence=1>> Acesso em: 26/07/13.

RIBEIRO, L. B. **Direito do Petróleo, Gás e Energia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 104 – 109.

ROCHA, C. R., MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido: manual prático**. Rio de Janeiro: Procel / Eletrobrás, 2005. p. 15.

SÁ, A. F. R. **Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética**. Porto: Publindústria, 2010. p.19-21, 153-314.

SARKAR, A.; SINGH, J. Financing energy efficiency in developing countries - lessons learned and remaining challenges. **Energy Policy**, v. 38, p. 5560-5571, 2010.

SILVA, R. R. **Modelos para Análises de Sistemas Energéticos Industriais Aplicados a estudos de Eficiência Energética**. 2013. 239p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, O. A. **Geração de Vapor**. Salvador, CEMANT/CENEQ/UFBA: 1988. Parte I p. 66-68.

SPEEGLE, M. **Process Technology Systems**. New York: Cengage Learning, 2007. p.322.

TECHNIP. **Ethylene production 2013**. Disponível em: <<http://www.technip.com/en/our-business/onshore/ethylene>>. Acesso em: 21/02/14.

UNIDO. **Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking 2010**, Disponível em: <[http://www.unido.org/fileadmin/user\\_media/Services/Energy and Climate Change/Energy Efficiency/Benchmarking %20Energy %20Policy Tool.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy%20and%20Climate%20Change/Energy%20Efficiency/Benchmarking%20Energy%20Policy%20Tool.pdf)>. Acesso em 09/11/2013.

WONGTSCHOWSKI, P. **Indústria química: riscos e oportunidades**. São Paulo, Editora Blucher: 2002. p. 132-186 e 232-283.

WORRELL, E.; ANGELINI, T.; MASANET, E. **Guide for identifying energy savings in manufacturing plants**. Berkeley: University of California, 2010. p. 04. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Managing Your Energy Final LB NL-3714E.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Managing%20Your%20Energy%20Final%20NL-3714E.pdf)> Acesso em 06/09/13.

WORRELL, E.; PRICE, L.; NEELIS, M.; GALITSKY, C.; ZHOU, N.. **World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors**. Berkeley: University of California, 2008. Disponível em: <<http://ies.lbl.gov/publications/world-best-practice-energy-intensity-values-selected-industrial-sectors>> Acesso em 26/07/13.

WORRELL, E.; PRICE, L.; NEELIS, M.; MASSANET, E. **Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Petrochemical Industry**. Berkeley: University of California, 2008. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/business/industry/Petrochemical Industry.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/industry/Petrochemical%20Industry.pdf)>. Acesso em: 26/07/13.

WORRELL, E.; PHYLIPSEN, D.; EINSTEIN, D.; MARTIN, N. **Energy use and energy intensity of the U.S. chemical industry**. Berkeley: University of California, 2000. p. 14-16. <[http://www.energystar.gov/ia/business/industry/industrial\\_LBNL-44314.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/industry/industrial_LBNL-44314.pdf)>. Acesso em: 26/07/2013.