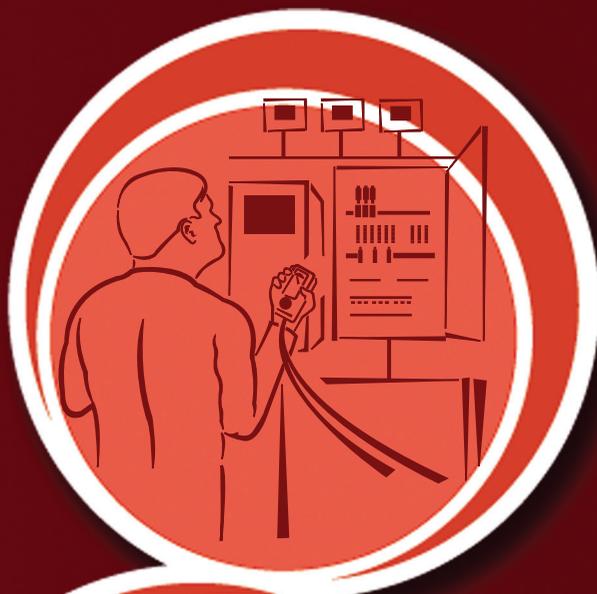


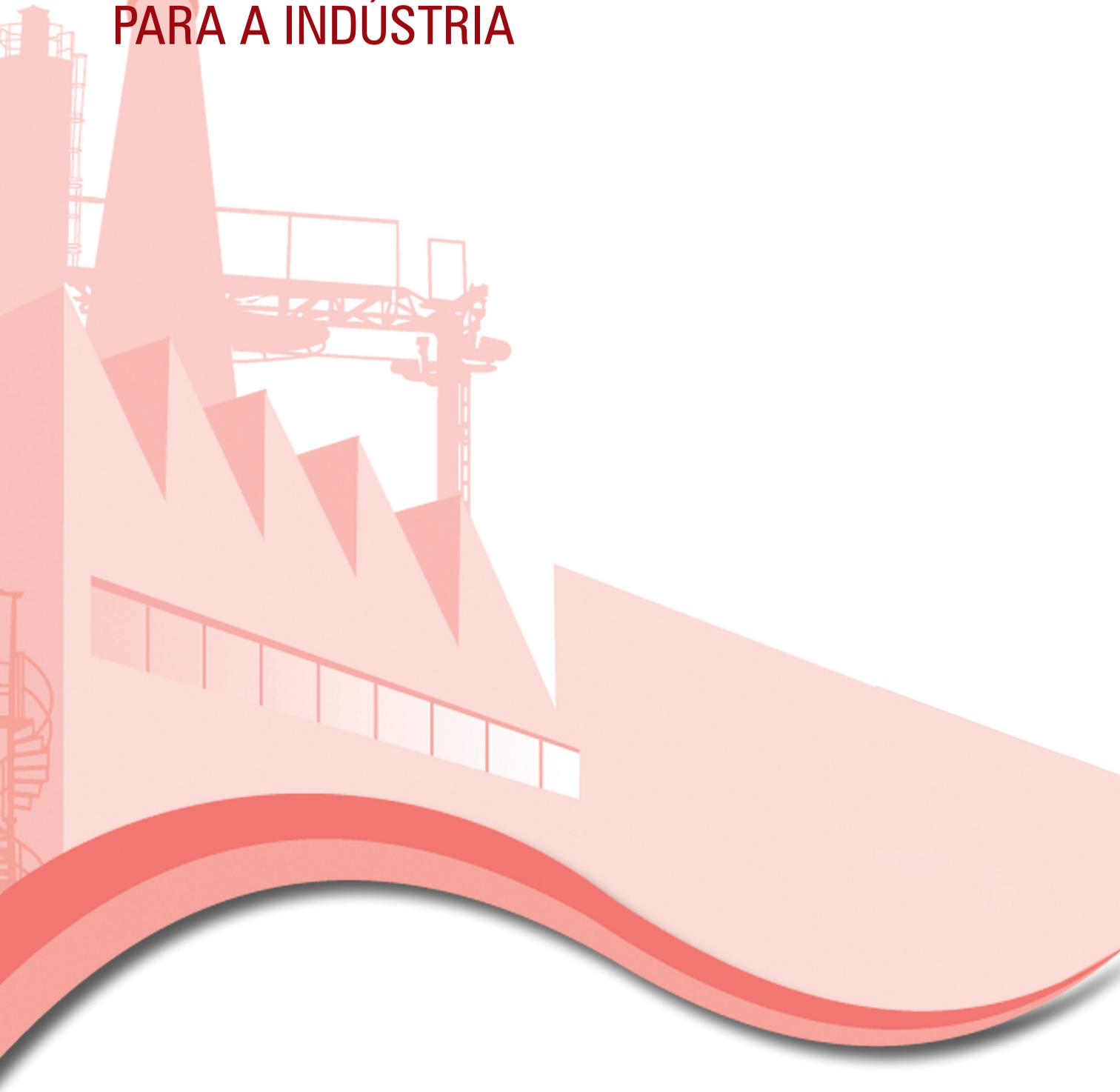
OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
SETOR QUÍMICO

BRASÍLIA – 2010



OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente em Exercício

Diretoria Executiva – DIREX

José Augusto Coelho Fernandes
Diretor

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Operações

Heloísa Regina Guimarães de Menezes
Diretora de Relações Institucionais

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Carlos Roberto Rocha Cavalcante
Superintendente

ELETROBRAS

José Antônio Muniz Lopes
Presidente

Ubirajara Rocha Meira
Diretor de Tecnologia

Fernando Pinto Dias Perrone
Chefe do Departamento de Projetos de Eficiência Energética

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Chefe da Divisão de Eficiência Energética na Indústria e Comércio

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
SETOR QUÍMICO

SÉRGIO VALDIR BAJAY
ANDRÉ BEISSMANN
FILIPE DEBONZI GORLA

BRASÍLIA – 2010

© 2010. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Trabalho elaborado pela CNI em parceria com a Eletrobras, no âmbito do PROCEL INDÚSTRIA.

FICHA CATALOGRÁFICA

B165o

Bajay, Sérgio Valdir

Oportunidades de eficiência energética para indústria: setor químico / Sérgio Valdir Bajay, André Beissmann, Filipe Debonzi Gorla. – Brasília: CNI, 2010.

182 p.

ISBN 978-85-7957-005-6

1. Eficiência Energética 2. Setor Químico I. Beissmann, André II. Gorla, Filipe Debonzi III. Título IV. Título: setor de cal e gesso.

CDU: 336.226.46

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco C, Edifício Roberto Simonsen, 70040-903, Brasília-DF

Tel.: (61) 3317- 9001, Fax: (61) 3317- 9994

<http://www.cni.org.br>

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

sac@cni.org.br

ELETROBRAS

Av. Presidente Vargas, 409, 13º andar, Centro, 20071-003, Rio de Janeiro RJ, Caixa Postal 1639

Tel 21 2514-5151

www.eletrobras.com

eletrobr@eletrobras.com

PROCEL

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Av. Rio Branco, 53, 14º, 15º, 19º e 20º andares, Centro, 20090-004 Rio de Janeiro RJ

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

PROCEL INDÚSTRIA

Eficiência Energética Industrial

Av. Rio Branco, 53, 15º andar, Centro, 20090-004, Rio de Janeiro RJ

Fax: 21 2514-5767

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

LISTA DE FIGURAS

Figura 1

Diagrama simplificado de inúmeros processos produtivos da indústria química **43**

Figura 2

Cadeia produtiva do etileno, incluindo alguns produtos finais **44**

Figura 3

A cadeia produtiva dos fertilizantes **65**

Figura 4

As diretrizes do Programa Atuação Responsável da Abiquim, segundo a abordagem PDCA **85**

Figura 5

Relação de empresas filiadas à Abiquim **86**

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1

Evolução dos consumos específicos de óleo combustível e de carvão, em kg/t produto, nas empresas filiadas à Abiquim **87**

Gráfico 2

Evolução do consumo específico de gás natural, em m³/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim **87**

Gráfico 3

Evolução do consumo específico de combustíveis renováveis, em kg/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim **88**

Gráfico 4

Evolução do consumo específico de energia elétrica, em kWh/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim **88**

Gráfico 5

Evolução do consumo energético específico total, em tep/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim **89**

Gráfico 6

Evolução das emissões específicas de CO₂, em kg/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim **89**

Gráfico 7

Produtos químicos de uso industrial monitorados pela Abiquim: produção de 1990 a 2006, na forma de um número índice **118**

Gráfico 8

Composição do faturamento líquido da indústria química brasileira por segmentos em 2006, em US\$ **119**

Gráfico 9

Evolução, de 1996 a 2006, do faturamento líquido da indústria química brasileira e dos produtos químicos de uso industrial, em US\$ bilhões **120**

Gráfico 10

Participação percentual da indústria química na formação do PIB no Brasil, de 1995 a 2005 **121**

Gráfico 11

Relação entre investimentos, com recursos do BNDES, e valor adicionado nos segmentos industriais químico, farmacêutico e farmacêutico no Brasil, de 1998 a 2005 **122**

Gráfico 12

Consumo, em 10^3 tep, dos energéticos utilizados na indústria química brasileira, de 1970 a 2007 **127**

Gráfico 13

Evolução, em %, de 1970 a 2007, das parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria química brasileira **127**

Gráfico 14

Participações relativas dos energéticos no consumo de energia da indústria química brasileira em 2007 **128**

Gráfico 15

Intensidades elétrica, de energia térmica e energética da indústria química brasileira, em tep/ 10^3 R\$ de 2005, de 1995 a 2005 **129**

Gráfico 16

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético total da indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação do BEU para 2004 **130**

Gráfico 17

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo total de energia útil da indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação e rendimentos de conversão do BEU para 2004 **134**

Gráfico 18

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do etileno em 2006 **136**

Gráfico 19

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do etileno em 2006 **137**

Gráfico 20

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do propileno em 2006 **138**

Gráfico 21

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do propileno em 2006 **139**

Gráfico 22

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do BTX em 2006 **141**

Gráfico 23

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do BTX em 2006 **142**

Gráfico 24

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia dos fertilizantes em 2006 **143**

Gráfico 25

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia dos fertilizantes em 2006 **145**

Gráfico 26

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado para a produção de cloro e soda cáustica em 2006 **146**

Gráfico 27

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para a produção de cloro e soda cáustica em 2006 **147**

Gráfico 28

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado para a fabricação dos “outros produtos químicos” em 2006 **148**

Gráfico 29

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para a fabricação dos “outros produtos químicos” em 2006 **150**

Gráfico 30

Distribuição estimada, por usos finais, do consumo energético da indústria química brasileira em 2006 **152**

Gráfico 31

Consumo e potencial de conservação de energia térmica na indústria química brasileira em 2006 **169**

Gráfico 32

Consumo e potencial de conservação de energia elétrica na indústria química brasileira em 2006 **169**

Gráfico 33

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia na indústria química brasileira estimados com os dados do BEU e neste trabalho **169**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de cloro e álcalis: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **30**

Tabela 2

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para fertilizantes: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **31**

Tabela 3

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **32**

Tabela 4

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos petroquímicos básicos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **33**

Tabela 5

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para plásticos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **34**

Tabela 6

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para plastificantes: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **35**

Tabela 7

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para resinas termofixas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **36**

Tabela 8

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para fibras sintéticas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **37**

Tabela 9

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de solventes industriais: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **37**

Tabela 10

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de outros produtos químicos orgânicos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **38**

Tabela 11

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de resinas termoplásticas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **39**

Tabela 12

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de resinas termofixas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **40**

Tabela 13

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de elastômeros: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas **41**

Tabela 14

Cadeia dos produtos derivados do etileno: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia **45**

Tabela 15

Influência da matéria-prima craqueada no rendimento, em %, de obtenção do etileno e de outros derivados petroquímicos **46**

Tabela 16

Cadeia dos produtos derivados do propileno: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia **54**

Tabela 17

Cadeia petroquímica dos derivados de BTX: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia **59**

Tabela 18

Composição típica de um efluente de um reator de reforma catalítica de nafta para produção de BTX **60**

Tabela 19

Cadeia produtiva dos intermediários para fertilizantes: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia **66**

Tabela 20

Principais fabricantes de produtos químicos industriais no Brasil: localização, principais produtos, capacidade instalada em 2006 e expansões previstas até 2015 **92**

Tabela 21

Importações e exportações brasileiras de produtos químicos, em US\$ 1.000 FOB, de 1990 a 2006 **117**

Tabela 22

Importações e exportações brasileiras de produtos químicos de uso industrial, em US\$ 1.000 FOB, de 1990 a 2006 **118**

Tabela 23

Produtos químicos de uso industrial monitorados pela Abiquim: produção física de 2003 a 2007, em toneladas **119**

Tabela 24

Faturamento líquido da indústria química brasileira, em US\$ bilhões, de 1990 a 2006 **120**

Tabela 25

Valor adicionado da indústria química no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005 **121**

Tabela 26

Empréstimos do BNDES para investimentos dos segmentos industriais químico, farmoquímico e farmacêutico no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1998 a 2005 **121**

Tabela 27

Valor adicionado de uma amostra de fabricantes de produtos químicos de uso industrial como % de sua receita bruta – de 1998 a 2006 **123**

Tabela 28

Investimentos previstos, em US\$ bilhões, no segmento de produtos químicos de uso industrial, por ano de realização **124**

Tabela 29

Consumo final, em 10^3 tep, dos energéticos utilizados na indústria química brasileira em 1970, 1980, 1990, 2000, 2006 e 2007 **126**

Tabela 30

Coefficientes de destinação do BEU para a indústria química brasileira em 2004 **129**

Tabela 31

Distribuição, por usos finais, em 10^3 tep, do consumo dos energéticos empregados na indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação do BEU para 2004 **130**

Tabela 32

Rendimentos de conversão do BEU para a indústria química brasileira em 2004 **131**

Tabela 33

Rendimentos de conversão de referência do BEU para a indústria química brasileira **132**

Tabela 34

Distribuição, por usos finais, em 10^3 tep, do consumo de energia útil dos energéticos empregados na indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação e rendimentos de conversão do BEU para 2004 **133**

Tabela 35

Produtos da cadeia do etileno: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **135**

Tabela 36

Produtos da cadeia do etileno: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo em 2006 por usos finais, em tep **136**

Tabela 37

Produtos da cadeia do propileno: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **138**

Tabela 38

Produtos da cadeia do propileno: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep **139**

Tabela 39

Produtos da cadeia do BTX: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **140**

Tabela 40

Produtos da cadeia do BTX: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep **142**

Tabela 41

Produtos da cadeia dos fertilizantes: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **143**

Tabela 42

Produtos da cadeia dos fertilizantes: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep **144**

Tabela 43

Produção de cloro por vários processos: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **145**

Tabela 44

Produção de cloro por vários processos: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep **146**

Tabela 45

“Outros produtos químicos”: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep **148**

Tabela 46

“Outros produtos químicos”: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep **149**

Tabela 47

Consumos de energia térmica, elétrica e total nas cadeias produtivas consideradas neste trabalho e no resto da indústria química brasileira em 2006 **150**

Tabela 48

Distribuição, por usos finais, dos consumos de energia térmica e de energia elétrica, em tep, das cadeias produtivas consideradas neste trabalho e do resto da indústria química brasileira em 2006 **151**

Tabela 49

Consumo de energia elétrica e sua desagregação em energia adquirida e autoproduzida, na indústria química brasileira, de 1994 a 2007 **153**

Tabela 50

Centrais autoprodutoras de energia elétrica na indústria química brasileira **153**

Tabela 51

Principais produtos da indústria química brasileira e respectivos coeficientes de distribuição do consumo de energia, por usos finais **161**

Tabela 52

Consumo total de energia em 2006, em tep e como % do consumo energético da indústria química, e potencial técnico de conservação de energia também em 2006, em tep e como % do consumo energético, dos produtos químicos analisados neste trabalho **164**

Tabela 53

Potenciais técnicos de conservação de energia na indústria química no Brasil, em 2006 **167**

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Abiplast: Associação Brasileira da Indústria de Plástico

Abiquim: Associação Brasileira da Indústria Química

ANDA: Associação Nacional para Difusão de Adubos

Anfab: Associação Nacional dos Fabricantes de Artefatos de Borracha

BEN: Balanço Energético Nacional

BEU: Balanço de Energia Útil

BTX: benzeno-tolueno-xileno

Compostos C2: designação genérica de hidrocarbonetos cuja molécula possui dois átomos de carbono

Compostos C4: designação genérica de hidrocarbonetos cuja molécula possui quatro átomos de carbono

CNAE: Classificação Nacional de Atividades Econômicas

Comperj: Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro

CSTR: continuous stirred tank reactor

DBP: ftalato de dibutila

DCE: 1,2-Dicloroetano

DIBP: ftalato de diisobutila

DIDP: ftalato de diisodécila

DMT: tereftalato de dimetila

DOE: Department of Energy

DOP: ftalato de dioctila

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

ESCO: empresa especializada na prestação de serviços de eficiência energética (Energy Service Company)

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

HMDA: hexametilenodiamina

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICCA: Conselho Internacional das Associações da Indústria Química

IEA: International Energy Agency

INPEV: Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias

ISIC: International Standard Industry Classification

MCT: Ministério da Ciência e Tecnologia

MDI: Diisocianato de difenilmetano

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MME: Ministério de Minas e Energia

MTBE: éter metil-terc-butílico

MVC: cloreto de vinila

OIT: Office of Industrial Technologies

ONU: Organização das Nações Unidas

PDCA: Plan – Do – Check – Act

PEAD: polietileno de alta densidade

PEBD: polietileno de baixa densidade

PEBDL: polietileno de baixa densidade linear

PET: tereftalato de polietileno

PHB: polihidroxibutirato

PPSA: Petroquímica Paulínia S.A.

PqU: Petroquímica União

Procel: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PVC: cloreto de polivinila

Reach: Register, Evaluation, Authorization and Chemicals

Recap: Refinaria de Capuava

Replan: Refinaria do Planalto

Revap: Refinaria Henrique Lage

SBR: stirene-butadiene rubber

Sindag: Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Agrícola

TDI: diisocianato de tolueno

TPA: ácido tereftálico

VerificAR: avaliação externa, por terceiros, dos programas de gestão ambiental dos associados da Abiquim

SUMÁRIO

1 CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA 19

- 1.1 Delimitação da indústria química no Brasil 20
- 1.2 Produtos 21
- 1.3 Capacidade instalada, produção, importação, exportação e destino aproximado das vendas internas 29
- 1.4 Cadeias produtivas 30
- 1.5 Matérias-primas 32
- 1.6 Processo de fabricação 43
 - 1.6.1 Cadeia de produção de derivados do etileno 43
 - 1.6.2 Cadeia de produção de derivados do propileno 53
 - 1.6.3 Cadeia de produção de derivados do BTX (benzeno – tolueno – xilenos) 57
 - 1.6.4 Cadeia de produção de intermediários para fertilizantes 64
 - 1.6.5 Cadeia de produção de cloro-álcalis 71
 - 1.6.6 Outros produtos químicos com consumos energéticos elevados 74

2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL 83

- 2.1 Introdução 84
- 2.2 O Programa Atuação Responsável, da Abiquim 84
- 2.3 Legislação que disciplina o recolhimento e destinação final das embalagens de produtos fitossanitários 89

3 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA 91

- 3.1 Principais produtores 92
- 3.2 Formação da indústria e competitividade 105
 - 3.2.1 Introdução 105
 - 3.2.2 A indústria petroquímica 105
 - 3.2.3 A indústria de soda-cloro 113
 - 3.2.4 Química fina – fármacos e defensivos 114
- 3.3 Importações e exportações 117
- 3.4 Indicadores macroeconômicos 118
 - 3.4.1 Evolução da produção de produtos químicos de uso industrial 118
 - 3.4.2 Faturamento 119
 - 3.4.3 Valor adicionado 120
 - 3.4.4 Investimentos previstos no segmento de produtos químicos de uso industrial 123

4 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA 125

- 4.1 Consumo energético da indústria química brasileira como um todo 126
- 4.2 Consumo energético das principais cadeias produtivas 134
 - 4.2.1 A cadeia do etileno 135
 - 4.2.2 A cadeia do propileno 137
 - 4.2.3 A cadeia do BTX 140
 - 4.2.4 A cadeia dos fertilizantes 141
 - 4.2.5 A cadeia do cloro-álcalis 145

4.2.6 *Outros produtos químicos com consumos energéticos elevados* **147**

4.2.7 *Um quadro geral e uma distribuição estimada do consumo energético da indústria química por usos finais* **149**

4.3 *Autoprodução de energia elétrica na indústria química brasileira* **152**

5 CÁLCULO DE POTENCIAIS TÉCNICOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA 159

5.1 *Metodologia empregada* **160**

5.2 *Resultados obtidos* **164**

5.3 *Potencial de conservação de energia segundo o BEU* **167**

6 POTENCIAIS TÉCNICOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA QUÍMICA ENCONTRADOS NA LITERATURA TÉCNICA CONSULTADA 171

7 BARREIRAS AO USO RACIONAL DE ENERGIA 173

8 CONCLUSÕES 175

REFERÊNCIAS 179

1 Caracterização Técnica



1 Caracterização Técnica

1.1 Delimitação da indústria química no Brasil

A indústria química é o segundo maior contribuinte do valor adicionado pela indústria brasileira e um dos mais dinâmicos e complexos segmentos da indústria de transformação no país. Ela é intensiva em capital, matérias-primas e tecnologia. Devido aos seus fortes efeitos de encadeamento para frente, é um dos setores de base da economia, ligando os demais setores, fornecendo-lhes uma diversificada gama de insumos e produtos.

A indústria química é energia-intensiva. O custo da energia pode, em geral, representar até 60% do custo da produção de produtos químicos básicos. No caso da amônia, esta porcentagem atinge 80% (IEA, 2007).

Tradicionalmente, a indústria química tem sido dividida em dois grandes grupos (TOLMASQUIM; SZKLO, 2000): o grupo dos produtos inorgânicos, formado por mais de 100 produtos, que incluem ácidos, óxidos, silicatos e sais inorgânicos, entre outros; e o grupo de produtos orgânicos, no qual se destaca a indústria petroquímica, grande fornecedora de insumos para a indústria de transformação.

Controvérsias, no entanto, têm sido comuns quanto a uma delimitação precisa da indústria química, tanto no Brasil como no exterior.

Com o objetivo de eliminar estas divergências, a Organização das Nações Unidas - ONU, há alguns anos, aprovou uma nova classificação internacional para a indústria química, incluindo-a na Revisão nº 3 da ISIC (International Standard Industry Classification) e, recentemente, na Revisão nº 4.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, com o apoio da Associação Brasileira da Indústria Química - Abiquim, definiu, com base nos critérios aprovados pela ONU, uma nova Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e promoveu o enquadramento de todos os produtos químicos nessa classificação.

Durante o ano de 2006, o IBGE redefiniu toda a estrutura da CNAE, adaptando-a a Revisão nº 4 da ISIC. Após a conclusão dessa revisão, os segmentos que compõem as atividades da indústria química passaram a ser contemplados, a partir de janeiro de 2007, nas Divisões 20 e 21 da CNAE 2.0 (ABIQUIM, 2007).

A Divisão 20 – Fabricação de Produtos Químicos - da CNAE 2.0 compreende:

20.1 Fabricação de produtos químicos inorgânicos

- 20.11-8 Fabricação de cloro e álcalis;
- 20.12-6 Fabricação de intermediários para fertilizantes;
- 20.13-4 Fabricação de adubos e fertilizantes;
- 20.14-2 Fabricação de gases industriais;
- 20.19-3 Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente.

20.2 Fabricação de produtos químicos orgânicos

- 20.21-5 Fabricação de produtos petroquímicos básicos;
- 20.22-3 Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras;
- 20.29-1 Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente.

20.3 Fabricação de resinas e elastômeros

- 20.31-2 Fabricação de resinas termoplásticas;
- 20.32-1 Fabricação de resinas termofixas;
- 20.33-9 Fabricação de elastômeros.

20.4 Fabricação de fibras artificiais e sintéticas

- 20.40-1 Fabricação de fibras artificiais e sintéticas.

20.5 Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários

- 20.51-7 Fabricação de defensivos agrícolas;
- 20.52-5 Fabricação de desinfetantes domissanitários.

20.6 Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de

- perfumaria e de higiene pessoal;
- 20.61-4 Fabricação de sabões e detergentes sintéticos;
- 20.62-2 Fabricação de produtos de limpeza e polimento;
- 20.63-1 Fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal.

20.7 Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacs e produtos afins

- 20.71-1 Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacs;
- 20.72-0 Fabricação de tintas de impressão;
- 20.73-8 Fabricação de impermeabilizantes, solventes e produtos afins.

20.9 Fabricação de produtos e preparados químicos diversos

- 20.91-6 Fabricação de adesivos e selantes;
- 20.92-4 Fabricação de explosivos;
- 20.93-2 Fabricação de aditivos de uso industrial;
- 20.94-1 Fabricação de catalisadores;
- 20.99-1 Fabricação de produtos químicos não especificados anteriormente.

A Divisão 21 – Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos - da CNAE 2.0 compreende:

21.1 Fabricação de produtos farmoquímicos

- 21.10-6 Fabricação de produtos farmoquímicos.

21.2 Fabricação de produtos farmacêuticos

- 21.21-1 Fabricação de medicamentos para uso humano;
- 21.22-0 Fabricação de medicamentos para uso veterinário;
- 21.23-8 Fabricação de preparações farmacêuticas.

1.2 Produtos

A Associação Brasileira da Indústria Química - Abiquim não acompanha estatisticamente todos esses segmentos. Com algumas exceções, concentra-se no segmento de produtos químicos de uso industrial. Esse segmento abrange aproximadamente 3 mil produtos, utilizados no âmbito de outros setores industriais ou da própria indústria química, fabricados por cerca de 800 empresas, associadas ou não à entidade, que figuram no cadastro da Abiquim e no Guia da Indústria Química Brasileira. Para um acompanhamento estatístico mais detalhado do desempenho do setor, a Abiquim toma como base um painel formado por cerca de 200 produtos químicos de uso industrial. Essa amostra obedece, a partir de 1998, a classificação do IBGE, mas objetivando maior precisão nos levantamentos setoriais, a Abiquim subdividiu alguns itens, o que resultou no seguinte âmbito setorial, com seus respectivos produtos (ABIQUIM, 2007):

Fabricação de Produtos Químicos Inorgânicos

Fabricação de cloro e álcalis

- Ácido clorídrico;
- Carbonato neutro de sódio (barrilha) *,***

- Cloro^{*,**,***}
- Hidróxido de potássio (escamas e líquido)
- Hidróxido de sódio (escamas) (soda cáustica em escamas) *
- Hidróxido de sódio (líquido) (soda cáustica líquida) ^{*,**,***}
- Hipoclorito de sódio

Fabricação de intermediários para fertilizantes

- Ácido fosfórico^{*,**}
- Ácido nítrico^{**}
- Ácido sulfúrico^{*,**}
- Ácido sulfúrico fumegante^{*,**}
- Amônia^{*,**,***}
- Fosfato de diamônio
- Fosfato de monoamônio^{*,**}
- Nitrato de amônio^{**}
- Sulfato de amônio^{**}
- Uréia^{**}

Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente

- Ácido arsênico
- Ácido cianídrico*
- Ácido fluorídrico
- Ácido fluossilícico
- Ácido fosfórico com teor de ferro menor que 750 ppm
- Aluminato de sódio
- Argila organofílica
- Bentonita cálcica
- Bentonita sódica ativada
- Bicarbonato de amônio
- Bissulfito de sódio
- Carbonato de cálcio
- Carbonato de lítio
- Carbonato de magnésio
- Carbonato de potássio
- Cianeto de sódio
- Clorato de sódio
- Cloreto de alumínio
- Cloreto de amônio
- Cloreto de cálcio
- Cloreto de magnésio
- Cloreto de zinco
- Clorito de sódio
- Dióxido de cloro
- Dióxido de manganês
- Dióxido de silício obtido por precipitação química
- Dióxido de titânio^{*,***}
- Dissulfeto de carbono
- Fluoreto de alumínio
- Fluossilicato de magnésio
- Flussilicato de sódio
- Fofato bicálcico (hidrogeno-ortofosfato de cálcio)
- Fosfeto de alumínio
- Hidróxido de alumínio (grau farmacêutico)
- Hidróxido de lítio
- Hidróxido de magnésio
- Hipoclorito de cálcio
- Metabissulfito de sódio

- Molibdato de sódio
- Nitrato de chumbo
- Óxidos de ferro (óxido férrico)
- Óxidos de magnésio
- Óxidos manganosos
- Óxido de zinco*
- Peróxido de hidrogênio (água oxigenada)
- Pó de zinco
- Sílica gel (gel de sílica)
- Silicato de sódio
- Silicato de zircônio
- Sílico-aluminato de sódio (silicato duplo de alumínio e sódio)
- Sulfato de alumínio
- Sulfato de cobalto
- Sulfatos de cobre (sulfato cuproso)
- Sulfato ferroso
- Sulfatos de magnésio
- Sulfatos de manganês
- Sulfato de níquel
- Sulfato de sódio
- Sulfatos de zinco
- Sulfeto de sódio
- Trióxido de antimônio

Fabricação de Produtos Químicos Orgânicos

Fabricação de produtos petroquímicos básicos

- Benzeno^{** , ***}
- Butadieno^{***}
- Eteno (etileno) ^{*, **, ***}
- Metanol (álcool metílico) ^{*, ***}
- Propeno grau polímero (propileno, grau polímero) ^{**, ***}
- Propeno grau químico (propileno, grau químico) ^{***}
- Tolueno^{** , ***}
- o-Xileno^{** , ***}
- p-Xileno^{** , ***}
- Xilenos mistos^{** , ***}

Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras

Intermediários para plásticos

- Acetato de vinila
- Alfametilestireno
- Cianidrina de acetona
- Cloreto de vinila (MVC)^{***}
- 1,2-Dicloroetano (DCE)^{** , ***}
- Estireno ^{*, **, ***}
- Etilbenzeno (feniletano) ^{*, **, ***}
- Metacrilato de etila^{***}
- Metacrilato de metila^{***}

Intermediários para plastificantes

- Anidrido ftálico^{***}
- Butanol-iso^{***}
- Butanol-n^{***}

Intermediários para resinas termofixas

- Anidrido maléico^{** , ***}

- Bisfenol A
- Diisocianato de difenilmetano (MDI)
- Diisocianato de tolueno (TDI)
- Fenol*, **, ***
- Formaldeído (37%) (aldeído fórmico)*, ***,
- Hexametilenoctetramina (urotropina, metenamina)
- Pentaeritritol
- Polipropilenoglicol

Intermediários para fibras sintéticas

- Ácido adípico**
- Ácido tereftálico**, ***
- Acrilonitrila**, ***
- Adipato de hexametilendiamina
- Caprolactama**
- Ciclohexanol
- Hexametilendiamina (1,2-Diamino hexano)
- Tereftalato de dimetila (DMT)

Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente

Corantes e pigmentos orgânicos

- Agentes de branqueamento óptico
- Corantes e pigmentos orgânicos

Solventes industriais

- Acetato de n-butila / isobutila
- Acetatos de éteres glicólicos
- Acetato de etila
- Acetato de isoamila
- Acetofenona
- Acetona**, ***
- Diacetona álcool
- Éter etílico
- Éteres glicólicos
- Hexilenoglicol
- Isopropanol (álcool isopropílico)***,
- Metilisobutilcetona
- Percloroetileno
- Terebintina
- Tetracloroeto de carbono

Intermediários para detergentes

- Ácido sulfônico linear
- Alquilbenzeno linear
- Tripolifosfato de sódio (g.t.) (trifosfato de sódio (g.t.))

Intermediários para plastificantes

- Isotridecanol
- Octanol

Plastificantes

- Ftalato de dibutila (DBP)
- Ftalato de diisobutila (DIBP)
- Ftalato de diisodécila (DIDP)
- Ftalato de dioctila (DOP)

Outros produtos químicos orgânicos

- Acetato de sódio
- Ácido acético**, ***
- Ácido o-acetilsalicílico
- Ácido esteárico
- Ácido fumárico
- Ácido glutâmico
- Ácido oléico
- Ácido salicílico
- Ácido p-toluenossulfônico
- Acrilamida
- Acrilato de etila
- Acrilato de metila
- Aldeído acético
- Benzeno carboquímico
- Buteno-1 (butileno)***
- Carboximetilamido
- Ciclohexano*, **
- Ciclohexanona
- Cloreto de etila
- Cloreto de metila
- Colofônia
- Coque de petróleo calcinado
- Cumeno*, **, ***
- N,N-Dimetilformamida
- Dióxido de carbono
- Etanolaminas
- Éter metil-terc-butílico (MTBE)***
- Etilenoglicóis**, ***
- Formiato de sódio
- Glicerina
- Hidroperóxido de cumeno
- Hidroxietilcelulose
- Isoparafinas
- Lanolina
- Metilaminas
- Naftaleno carboquímico (naftaleno)
- Negro de carbono (negro de fumo)***
- Nitrocelulose (nitrato de celulose)
- Nonilfenol
- Óleo mineral branco (óleos de parafina)
- Óleo de pinho
- Óxido de eteno**, ***
- Óxido de propeno**
- Polietilenoglicol
- Propilenoglicóis (monopropilenoglicol, dipropilenoglicol)
- Tensoativos aniônicos (exclusive ácido sulfônico linear)
- Tensoativos não iônicos
- Tolueno carboquímico
- Triacetina (triacetato de glicerina)
- Trimetilamina, cloridrato de
- Vaselina
- Xilenos mistos carboquímicos

Fabricação de Resinas e Elastômeros

Fabricação de resinas termoplásticas

- Cloretos de polivinila (PVC)*, **, ***
- Compostos de cloretos de polivinila (compostos de PVC)
- Copolímero de etileno e acetato de vinila
- Policarbonato***
- Poliestireno*, **, ***
- Poliestireno expansível
- Polietileno de alta densidade (PEAD)*, **, ***
- Polietileno de baixa densidade (PEBD)**, ***
- Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)**, ***
- Polipropileno*, **, ***
- Resinas de petróleo
- Tereftalato de polietileno (PET)*, **, ***

Fabricação de resinas termofixas

- Resinas alquídicas
- Resinas fenólicas (resinas de fenol formaldeído)***
- Resinas melamínicas (resinas melamina-formol)***
- Resina poliéster insaturada
- Resina poliéster saturada (em pó)
- Resinas uréicas (resinas de uréia-formaldeído)***

Fabricação de elastômeros

- Borracha de estireno-butadieno*
- Borrachas EPM/EPDM
- Borrachas nitrílicas
- Copolímero de estireno-butadieno
- Polibutadieno*
- SBR, látices de (SBR, latex)*, ***

Fabricação de Produtos e Preparados Químicos Diversos

Fabricação de adesivos e selantes

- Colas, adesivos e selantes

Fabricação de aditivos de uso industrial

- Ácido cítrico
- Glutamato monossódico
- Lactato de cálcio
- Lecitina
- Lisina

* Produtos para cujos processos de fabricação se encontraram balanços de massa e de energia (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985)

** Produtos para cujos processos de fabricação se encontraram, na literatura técnica, valores de consumos específicos médios e mínimos para energia térmica e energia elétrica (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003)

*** Produtos para cujos processos de fabricação se encontraram, na literatura técnica, valores médios e típicos de consumo energético específico além de valores correspondentes às tecnologias que constituem o atual “estado da arte” (IEA, 2007)

A Abiquim coleta, anualmente, estatísticas de capacidade instalada, produção, vendas internas e seu destino aproximado, importações e exportações destes 200 produtos químicos de uso industrial.

A Drexel University, nos EUA, selecionou, na década de 1970, 108 processos que representavam, na época, 72% do consumo energético industrial daquele país. Para cada um destes processos uma equipe desta universidade realizou balanços de massa e de energia, o que permitiu a desagregação do seu consumo energético, elétrico e térmico, pelos diversos usos finais (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985). Os produtos resultantes dos processos da indústria química analisados neste trabalho estão indicados por * na relação de produtos químicos monitorados pela Abiquim e apresentados nesta seção do relatório.

Tolmasquim, Szklo e Soares analisaram o mercado de gás natural na indústria química brasileira no início desta década, para estimar os potenciais técnico e econômico de penetração deste energético nesta indústria, tanto em usos térmicos (geração de vapor e fornos) como na cogeração. Com esta finalidade, eles avaliaram cinco cadeias produtivas mais duas divisões industriais, envolvendo 41 produtos, que eram responsáveis por 78% do consumo energético da indústria química brasileira em 2000 (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Estes produtos estão indicados por ** na relação de produtos químicos apresentada nesta seção.

Em um estudo comparativo bem recente sobre o consumo energético e as emissões de CO₂ em segmentos industriais energia-intensivos, uma equipe da Agência Internacional de Energia analisou 49 produtos que são responsáveis por 95% do consumo de energia da indústria química no mundo (IEA, 2007). Eles estão indicados por *** na relação de produtos químicos apresentada nesta seção.

Logo, neste projeto se decidiu analisar individualmente o consumo energético dos seguintes 63 produtos químicos monitorados pela Abiquim, para os quais se dispõem de dados de produção e de consumos energéticos específicos, fornecidos por um ou mais dos três estudos mencionados acima:

Fabricação de Produtos Químicos Inorgânicos

Fabricação de cloro e álcalis

- Cloro
- Hidróxido de sódio (escamas) (soda cáustica em escamas)
- Hidróxido de sódio (líquido) (soda cáustica líquida)

Fabricação de intermediários para fertilizantes

- Ácido fosfórico
- Ácido nítrico
- Ácido sulfúrico
- Ácido sulfúrico fumegante
- Amônia
- Fosfato de monoamônio
- Nitrato de amônio
- Sulfato de amônio
- Uréia

Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente

- Ácido cianídrico
- Dióxido de titânio
- Óxido de zinco

Fabricação de Produtos Químicos Orgânicos

Fabricação de produtos petroquímicos básicos

- Benzeno
- Butadieno
- Eteno (etileno)
- Metanol (álcool metílico)
- Propeno grau polímero (propileno, grau polímero)
- Propeno grau químico (propileno, grau químico)

- Tolueno
- o-Xileno
- p-Xileno
- Xilenos mistos

Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras

Intermediários para plásticos

- Cloreto de vinila (MVC)
- 1,2-Dicloroetano (DCE)
- Estireno
- Etilbenzeno (feniletano)
- Metacrilato de etila
- Metacrilato de metila

Intermediários para plastificantes

- Anidrido ftálico
- Butanol-iso (butanol isobutílico)
- Butanol-n

Intermediários para resinas termofixas

- Anidrido maléico
- Fenol
- Formaldeído (37%) (aldeído fórmico)

Intermediários para fibras sintéticas

- Ácido adípico
- Ácido tereftálico
- Acrilonitrila
- Caprolactama

Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente

Solventes industriais

- Acetona
- Isopropanol (álcool isopropílico)

Outros produtos químicos orgânicos

- Buteno-1 (butileno)
- Ciclohexano
- Cumeno
- Éter metil-terc-butílico (MTBE)
- Etilenoglicóis
- Negro de carbono (negro de fumo)
- Óxido de eteno
- Óxido de propeno (metiloxirano)

Fabricação de Resinas e Elastômeros

Fabricação de resinas termoplásticas

- Cloretos de polivinila (PVC)
- Policarbonato
- Poliestireno
- Polietileno de alta densidade (PEAD)

- Polietileno de baixa densidade (PEBD)
- Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)
- Polipropileno
- Tereftalato de polietileno (PET)

Fabricação de resinas termofixas

- Resinas fenólicas (resinas de fenol formaldeído)
- Resinas melamínicas (resinas melamina-formol)
- Resinas uréicas (resinas de uréia-formaldeído)

Fabricação de elastômeros

- Borracha de estireno-butadieno
- Polibutadieno
- SBR, látices de (SBR, latex)

Além disso, avalia-se, também, neste relatório, os consumos energéticos envolvidos na fabricação de Nylon 6, Nylon 6.6, fibras de polipropileno, fibras acrílicas e acetonitrila (subprodutos da produção de acrilonitrila), importantes produtos químicos de elevado consumo energético. Suas produções no país são estimadas a partir das produções de suas principais matérias-primas, registradas pela Abiquim, e mais os superfosfatos, fertilizantes cuja produção é registrada pela Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA.

1.3 Capacidade instalada, produção, importação, exportação e destino aproximado das vendas internas

As Tabelas 1 a 13 apresentam as estatísticas publicadas pela Abiquim sobre capacidade instalada, produção, importação, exportação e destino aproximado das vendas dos produtos químicos de elevado consumo energético, selecionados na seção anterior deste relatório.

A Tabela 1 revela volumes expressivos e, em geral, crescentes da produção tanto de cloro como de soda cáustica e das importações deste último, nos últimos anos. As importações e exportações de cloro têm sido pequenas. O cloro e a soda cáustica são insumos básicos em diversos segmentos industriais e no tratamento de água.

Dos produtos intermediários de elevado consumo energético para fertilizantes, os que são mais produzidos no Brasil, segundo a Tabela 10, são o ácido sulfúrico, a uréia, a amônia, o ácido fosfórico e o fosfato de monoamônio, nesta ordem, todos com produções acima de 1.000.000 t em 2006. O país é um grande importador de uréia, sulfato de amônio e fosfato de monoamônio, com volumes que têm superado a produção local. As exportações de qualquer um dos produtos da Tabela 2 têm sido modestas.

A produção de óxido de zinco cresceu bastante de 2002 a 2006, conforme se pode verificar na Tabela 3.

Os maiores volumes de produção de produtos petroquímicos básicos no Brasil têm sido de eteno, propeno grau polímero, benzeno, propeno grau químico e butadieno (Tabela 4). Destacam-se, na Tabela 4, as importações de metanol e p-Xileno e as exportações de benzeno e propeno.

Segundo a Tabela 5, o Brasil produz grandes quantidades dos seguintes produtos intermediários de elevado consumo energético para plásticos: DCE, estireno, MVC e etilbenzeno. Uma parcela significativa (27% em 2006) da produção de DCE é exportada. Há uma importação substancial de estireno.

Tabela 1

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de cloro e álcalis: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Cloro	2002		1.063.545	2.292	38,5	DCE (36,7); óxido de propeno (21,5); hipoclorito de sódio (5,2); tratamento de água (3,6); solventes clorados (2,7%); papel e celulose (1,6); revenda (1,7);
	2003		1.099.661	2.808	9,3	
	2004		1.174.018	3.402	25,9	
	2005		1.226.774	3.456	1,5	
	2006	1.381.349	1.222.975	3.945	63,8	
Hidróxido de sódio (soda cáustica) (em escamas)	2002		40.799,0	15.364,9	4.093,6	n.d.
	2003		42.820,0	16.046,0	3.290,1	
	2004		39.084,0	17.159,9	1.835,3	
	2005		37.644,2	26.404,0	2,8	
	2006	93.000	31.217,0	36.174,3	0,4	
Hidróxido de sódio (soda cáustica) (líquido)	2002		1.164.859	484.460,0	28.357,0	Química/petroquímica (23,6); papel e celulose (23,1); metalurgia/siderurgia (18); sabões e detergentes (8,4); alimentício (3,3); têxtil (3,1); bebidas (2); minerais não-metálicos (0,4); tratamento
	2003		1.212.089	436.913,2	37.385,8	
	2004		1.298.607	474.606,1	45.825,2	
	2005		1.340.987	469.329,9	51.622,6	
	2006	1.497.305	1.325.231	677.529,0	47.905,0	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

O anidrido ftálico é o principal produto intermediário de elevado consumo energético para plastificantes produzido no Brasil (Tabela 6).

Segundo a Tabela 7, o formaldeído é o principal produto intermediário de elevado consumo energético para resinas termofixas produzido no país, seguido pelo fenol. O fator de capacidade das plantas de fabricação de formaldeído foi bastante baixo em 2006, só 50%.

A acetona é o principal solvente industrial produzido no Brasil; as importações crescentes deste produto são substanciais (Tabela 9).

Na categoria dos outros produtos químicos orgânicos de elevado consumo energético, destacam-se, na Tabela 10, as produções de MTBE, óxido de eteno, etilenoglicóis, óxido de propeno e cumeno, as importações de negro de fumo e etilenoglicóis e as exportações de MTBE, etilenoglicóis (superiores às importações), óxido de propeno e butileno.

O Brasil é um grande produtor e exportador das seguintes resinas termoplásticas de elevado consumo energético: polipropileno, PEAD, PEBD, PVC, PEBDL, poliestireno e PET (Tabela 11). As importações destes produtos também são significativas, sendo maiores que as exportações no caso do PVC e PET.

Pode-se observar, na Tabela 12, as produções elevadas das resinas uréicas e resinas fenólicas.

A Tabela 13 mostra que os principais elastômeros de elevado consumo energético produzidos no Brasil são a borracha de estireno-butadieno, seguida pelos látices de SBR.

1.4 Cadeias produtivas

A indústria química não se presta à sua desagregação em segmentos homogêneos, tal qual está sendo feito para muitos dos segmentos industriais analisados neste projeto.

Tabela 2

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para fertilizantes: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Ácido fosfórico	2002	1.285.000	921.321	377.298,2	69,5	Fertilizantes (91); alimentação animal (8,3); processos químicos (0,7)
	2003		1.115.010	378.723,1	11,1	
	2004		1.093.718	439.195,4	16,3	
	2005		1.070.157	432.233,8	14,5	
	2006		1.207.086	320.488,1	6,9	
Ácido nítrico	2002	630.300	641.626,0	12,4	525,1	Processos químicos (100)
	2003		539.844,0	13,1	374,7	
	2004		559.918,0	22,0	2.769,3	
	2005		612.617,5	10,7	821,6	
	2006		601.617,5	26,3	1.309,1	
Ácido sulfúrico	2002	6.621.670	5.491.896,2	306.797,6	1,1	Fertilizantes (78,1); processos químicos (8,5); tratamento de metais e metalurgia (5,1); papel e celulose (1,6); alimentício (1,0); açúcar e álcool (1,0); tratamento de água (0,8); têxtil (0,6); micronutrientes (0,2); sabões e detergentes (0,2); auxiliar têxtil (0,1);
	2003		5.957.026,8	420.177,7	7,0	
	2004		6.237.968,3	519.570,4	228,5	
	2005		5.781.109,7	475.311,0	281,4	
	2006		6.114.363,4	477.491,6	72,1	
Ácido sulfúrico fumegante	2002	143.000	93.948,0	0,0	0,0	Defensivos agrícolas (71,1); processos químicos (28,9)
	2003		89.680,0	0,0	0,0	
	2004		84.719,7	2.497,7	0,0	
	2005		86.719,9	2.308,5	0,0	
	2006		85.443,0	637,2	28,6	
Amônia	2002	1.549.660	1.073.161,3	267.514,3	81.152,0	Fertilizantes (60,2); processos químicos (35,5); intermediários químicos (4,3)
	2003		1.157.574,8	287.954,0	56.208,1	
	2004		1.324.479,4	228.742,9	117.391,4	
	2005		1.316.154,2	252.267,0	69.550,1	
	2006		1.347.747,6	254.162,6	59.262,2	
Fosfato de monoamônio	2002		904.239,0	1.395.627,6	341,0	Fertilizantes (99,8); processos químicos (0,2)
	2003		1.005.216,0	1.769.051,0	804,0	
	2004		996.979,0	2.234.825,5	5.186,8	
	2005		922.742,0	1.286.737,4	238,4	
	2006					
Nitrato de amônio	2002	559.002	537.473,0	564.611,5	31.377,4	Fertilizantes (70,7); processos químicos (29,3)
	2003		413.875,0	477.506,3	28.555,8	
	2004		412.139,0	269.022,9	32.364,1	
	2005		506.285,0	244.101,9	32.967,7	
	2006		470.544,0	339.036,7	19.469,6	
Sulfato de amônio	2002	305.850	219.040,0	1.145.132,0	2.435,7	Fertilizantes (98,8); processos químicos (1,2)
	2003		226.452,0	1.639.322,6	2.463,9	
	2004		260.384,0	1.695.995,1	1.437,3	
	2005		225.861,9	1.314.582,2	3.531,1	
	2006		236.480,8	1.635.602,4	4.345,3	
Uréia	2002	1.719.000	1.238.896,0	1.103.264,2	99.189,0	Fertilizantes (69,3); intermediários químicos (14,9); alimentação animal (10,4); processos químicos (5,4)
	2003		1.194.581,0	1.702.104,8	45.200,6	
	2004		1.209.187,0	1.861.216,3	26.477,5	
	2005		1.302.839,0	1.558.039,1	62.324,6	
	2006		1.419.188,0	1.587.725,5	9.511,0	

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 3

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Ácido cianídrico	2002		10.700,0	0	0	Intermediário químico (100)
	2003		10.565,9	0	0	
	2004		11.927,0	0	0	
	2005		10.590,0	0	0	
	2006	13.000	12.063,2	0	0	
Dióxido de titânio	2002		78.735,9	34.255,4	9.388,6	Tintas e vernizes (76,5); plásticos (13,2); papel e celulose (0,7); outras (9,6)
	2003		78.467,9	36.985,8	5.375,3	
	2004		80.120,3	49.304,3	5.458,1	
	2005		76.713,0	58.568,5	5.523,8	
	2006	96.000	79.427,0	64.192,0	12.621,8	
Óxido de zinco	2002		48.075,7	2.218,9	270,1	Intermediários químicos (71,2); galvanoplastia (23,1); borrachas (2,6); cerâmica (1,4); alimentação animal (1,0); fertilizantes (0,4); corantes e pigmentos (0,1); fitas metálicas (0,1); plásticos (0,1)
	2003		49.069,2	3.796,9	260,6	
	2004		175.834,9	4.927,8	291,2	
	2005		137.437,0	5.489,4	641,1	
	2006	337.940	202.253,7	7.301,8	1.920,2	

Fonte: Abiquim, 2007

Seguindo a prática da Divisão de Tecnologias Industriais do Departamento de Energia do governo americano¹, Tolmasquim, Szklo e Soares (2003) dividem a indústria química nas seguintes cinco grandes cadeias produtivas:

- Etileno ou eteno,
- Propileno,
- BTX (benzeno-tolueno-xileno),
- Fertilizantes,
- Cloro-álcalis.

Neste relatório, acrescenta-se a estas cadeias um grupamento heterogêneo de produtos químicos com consumos energéticos elevados para os quais se dispõem de estatísticas de produção e consumos energéticos específicos médio e/ou mínimo (processos de produção que constituem o atual “estado da arte”). Este grupamento é denominado “outros produtos químicos com consumos energéticos elevados”.

1.5 Matérias-primas

De uma forma geral, a indústria química tem utilizado três substâncias como base de suas matérias-primas: (i) o cloreto de sódio – sal (na forma de salmoura de poço de salgema, ou sal sólido), que permite a produção de soda cáustica e cloro, a partir dos quais se tem toda uma linha de produtos derivados; (ii) o enxofre, que permite a produção de ácido sulfúrico e de seus produtos derivados; e, no caso do segmento petroquímico, (iii) o petróleo – na realidade frações deste, derivadas do refino – e o gás natural, a partir dos quais, através de operações de transformação em cadeia, tem-se todo um conjunto de produtos derivados (BAJAY et al., 1995).

¹ Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy.

Tabela 4

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos petroquímicos básicos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Benzeno	2002		813.291,0	0,8	231.352,4	Intermediários químicos (84,2); borrachas (15,8)
	2003		898.869,0	1,4	317.180,3	
	2004		957.588,0	1,2	290.382,0	
	2005		944.760,0	0,4	393.326,6	
	2006	922.076	934.215,1	4,1	291.669,4	
Butadieno	2002		281.625,0	0,4	39.113,5	Intermediários químicos (66,1); borrachas (33,9)
	2003		308.998,0	10.541,9	42.581,2	
	2004		329.623,0	6.600,6	43.146,5	
	2005		330.590,6	5.153,2	46.548,8	
	2006	360.000	328.126,3	3.152,3	48.876,2	
Eteno (etileno)	2002		2.414.222,0	9.127,1	0,4	Plásticos (51,7); intermediários químicos (47,7); borrachas (0,6)
	2003		2.575.893,0	13.423,3	1,1	
	2004		2.702.525,0	5.329,6	0,5	
	2005		2.699.830,6	6.022,4	1,0	
	2006	3.435.000	3.135.114,4	1,4	14.614,1	
Metanol (álcool metílico)	2002		240.094,5	260.471,7	1,9	Formaldeído (61,8); intermediários químicos (5,9); metilamina (5,2); éter-metil-ter-butílico (4,8); metacrilato de metila (3,6); farmacêutico (0,6); outras (18,1)
	2003		240.870,8	262.524,4	1,2	
	2004		273.595,9	272.307,0	0,5	
	2005		240.360,3	251.296,4	78,7	
	2006	273.460	276.788,6	296.071,7	0,2	
Propeno grau polímero (propileno grau polímero)	2002		1.125.856,0	2.702,6*	56.453,9**	Plásticos (98,9); borrachas (1,1)
	2003		1.226.915,0	0,5*	85.197,5**	
	2004		1.383.195,0	7.947,5*	78.393,5**	
	2005		1.409.971,2	7.351,1*	74.429,4**	
	2006	1.631.000	1.489.295,1	8,7*	107.794,2**	
Propeno grau químico (propileno grau químico)	2002		263.675,0	2.702,6*	56.453,9**	Intermediários químicos (100)
	2003		332.184,0	0,5*	85.197,5**	
	2004		363.652,0	7.947,5*	78.393,5**	
	2005		321.456,7	7.351,1*	74.429,4**	
	2006	605.000	345.124,4	8,7*	107.794,2**	
Tolueno	2002		316.832,4	13.847,9	62.795,8	Tintas e vernizes (66,6); solventes (17,0); colas e adesivos (11,5); intermediários químicos (2,7); combustíveis (1,0); outras (1,2)
	2003		215.420,2	8.488,9	17.737,7	
	2004		218.698,7	2.574,3	18.956,0	
	2005		191.060,0	4,0	37.041,1	
	2006	296.250	209.752,8	3.175,6	41.807,2	
o-Xileno	2002		78.782,0	6.219,4	1.016,4	Intermediários químicos (100)
	2003		87.272,0	4.281,8	5.606,5	
	2004		93.017,0	1.031,9	0,4	
	2005		88.669,9	0,1	13.873,8	
	2006	112.000	105.720,7	0,1	13.826,4	

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
p-Xileno	2002	203.000	101.426,0	106.830,2	0,6	Intermediários químicos (100)
	2003		116.640,0	89.866,5	4.464,1	
	2004		124.456,0	97.780,2	2.889,7	
	2005		158.460,7	47.586,5	0,0	
	2006		129.006,3	87.543,1	38.570,2	
Xilenos mistos	2002	208.000	154.659,0	3,1	456,7	Solventes (82,8); intermediários químicos (17,2)
	2003		157.207,0	2.604,9	553,3	
	2004		168.655,0	2,1	5.592,9	
	2005		127.845,0	20,4	9.604,0	
	2006		152.357,1	8,5	24.539,4	

* Importação de propeno tanto de grau polímero quanto de grau químico

** Exportação de propeno tanto de grau polímero quanto de grau químico

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 5

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para plásticos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Cloreto de vinila (MVC)	2002	810.000	389.005,0	60.051,9	0,0	Cloretos de polivinila (100)
	2003		412.768,0	57.620,0	0,0	
	2004		420.257,0	40.370,2	0,0	
	2005		456.364,0	38.136,7	0,0	
	2006		456.839,9	0,6	0,0	
1,2-Dicloroetano (DCE)	2002	660.000	492.583,0	19.200,5	129.682,9	Cloreto de vinila (100)
	2003		540.194,0	22.521,9	213.076,2	
	2004		566.711,0	10.526,2	169.598,9	
	2005		581.366,0	16.724,0	180.031,1	
	2006		547.721,0	27.427,6	147.213,9	
Estireno	2002	530.000	399.529,0	88.509,5	49,3	Plásticos (73,5); resinas sintéticas (15,8); borrachas (4,9); tintas e vernizes (1,4); outras (4,4)
	2003		388.047,0	86.990,3	940,5	
	2004		445.390,3	94.592,4	1.608,3	
	2005		405.205,3	133.333,8	9.179,5	
	2006		459.838,5	116.372,6	24.321,4	
Etilbenzeno (feniletano)	2002	486.000	421.737	6.695,6	0,0	Estireno (100)
	2003		428.002	951,0	0,0	
	2004		467.902	12.494,5	15,7	
	2005		395.024	41.565,4	12,7	
	2006		446.132	51.109,5	15,0	
Metacrilato de etila	2002	5.000	2.135,0	6,9	1.440,8	Tintas e vernizes (100)
	2003		1.808,5	3,9	1.770,5	
	2004		1.368,0	19,0	1.285,2	
	2005		2.210,0	4,8	1.928,7	
	2006		2.495,0	3,6	2.449,0	

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Metacrilato de metila	2002		16.420,0	1.076,0	3.591,8	Chapas acrílicas (73,5); resinas sintéticas (23,5); odontológico (3,0)
	2003		22.259,0	1.336,8	7.493,7	
	2004		25.772,3	1.088,5	9.082,6	
	2005		22.895,0	1.119,8	7.218,8	
	2006	45.000	27.789,0	1.120,4	8.026,0	

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 6

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para plastificantes: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Anidrido ftálico	2002		95.312	194,0	11.306,5	Plastificantes (44,1); resinas sintéticas (42,4); poliéster insaturado (9,5); outras (4,0)
	2003		97.888	1.004,5	19.789,0	
	2004		103.162	2.098,0	10.139,0	
	2005		84.579	2.306,0	8.293,5	
	2006	148.600	103.491	4.927,2	2.813,0	
Butanol-iso (butanol isobutílico)	2002		17.057,0	1.480,7	5.944,1	Plastificantes (78,0); solventes (20,0); aditivos para lubrificantes (1,0); outras (1,0)
	2003		20.290,8	1.262,2	5.257,4	
	2004		20.812,0	1.512,0	7.901,1	
	2005		14.970,8	927,5	4.099,5	
	2006	28.400	18.991,3	463,3	12.772,7	
Butanol-n	2002		22.360	24.318,4	5.125,9	Solventes (52,0); plastificantes (8,0); outras (40,0)
			20.324	25.914,4	4.508,1	
			23.827	31.580,2	4.560,0	
	2003		21.659	35.169,0	2.623,3	
	2005		40.000	26.137	32.143,6	

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 7

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para resinas termofixas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Anidrido maléico	2002		16.433	4.732,6	2.200,5	Resinas sintéticas (62,5); alimentício (15,0); plastificantes (9,5); aditivos para lubrificantes (4,0); outras (9,0)
	2003		15.677	6.423,5	3.445,9	
	2004		18.185	5.649,3	5.851,5	
	2005		15.520	6.645,6	4.889,2	
	2006	30.000	15.879	9.207,0	4.242,3	
Fenol	2002		131.831,0	26.330,0	4.520,9	n.d.
	2003		133.980,0	10.987,7	2.910,0	
	2004		155.924,0	13.740,5	3.507,0	
	2005		170.023,6	11.325,5	6.924,3	
	2006	196.400	178.809,0	13.195,4	11.005,4	
Formaldeído (37%) (aldeído fórmico)	2002		353.103,7	50,3	669,2	Resinas sintéticas (76,3); defensivos agrícolas (9,5); sabões e detergentes (1,7); auxiliar têxtil (0,1); outras (12,4)
	2003		501.160,9	15,7	1.495,7	
	2004		539.846,0	198,3	431,6	
	2005		508.680,3	195,1	421,1	
	2006	895.768	447.342,9	5,7	267,3	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 8

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de produtos intermediários para fibras sintéticas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Ácido adípico	2002		65.931,0	3.095,3	18.369,2	n.d.
	2003		59.979,0	2.426,8	11.126,2	
	2004		86.958,0	2.491,3	13.610,3	
	2005		75.147,0	2.793,2	17.428,1	
	2006	87.000	82.614,2	961,1	14.280,5	
Ácido tereftálico	2002		237.252	3.432,0	48,0	Poliéster saturado (100)
	2003		248.651	10.822,9	0,0	
	2004		255.712	204,0	0,0	
	2005		245.498	11.429,1	16,3	
	2006	250.000	206.240	31.160,0	13,0	
Acrlonitrila	2002		78.362,0	0,0	44.281,6	Fibras sintéticas (58,0); borrachas (24,0); acrilato de etila (7,0); plásticos (7,0); outras (4,0)
	2003		76.196,0	9,4	35.200,2	
	2004		83.537,9	0,0	42.509,0	
	2005		76.780,0	0,0	31.810,4	
	2006	90.000	84.811,0	0,0	36.037,5	
Caprolactama	2002		57.519,0	4.412,0	9.249,5	Nylon 6 (100)
	2003		48.847,0	4.896,8	8.114,4	
	2004		50.472,0	6.390,1	7.608,5	
	2005		49.655,3	4.128,4	16.242,1	
	2006	62.000	44.906,0	6.662,9	17.751,2	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 9

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de solventes industriais: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Acetona	2002		88.515,0	22.613,3	389,0	n.d.
	2003		82.146,0	16.523,5	899,4	
	2004		95.253,0	24.733,7	701,6	
	2005		102.782,0	36.229,9	1.258,6	
	2006	115.000	108.225,7	42.598,3	1.121,7	
Isopropanol (álcool isopropílico)	2002		9.087	28.660,8	53,9	n.d.
	2003		8.777	43.351,4	188,9	
	2004		10.823	43.999,7	811,4	
	2005		12.367	29.088,9	2.256,7	
	2006	17.000	12.878	16.918,5	612,6	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 10

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de outros produtos químicos orgânicos: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Buteno-1 (butileno)	2002	75.000	42.266,0	182,6	17.248,7	Plásticos (100)
	2003		57.755,0	348,6	22.375,0	
	2004		61.685,0	304,9	27.707,8	
	2005		58.128,9	381,1	16.006,0	
	2006		68.297,5	525,9	20.761,0	
Ciclohexano	2002	98.300	67.793,3	752,0	4,0	Intermediários químicos (50,0); solventes (50,0)
	2003		64.059,0	1.014,0	21,3	
	2004		66.606,0	2.333,9	43,5	
	2005		65.295,7	2.063,4	6,2	
	2006		58.252,1	2.457,6	11,2	
Cumeno	2002	210.000	163.200	4.117,4	0,0	n.d.
	2003		178.000	0,0	0,0	
	2004		n.d.	7.220,1	0,0	
	2005		n.d.	16.557,7	0,0	
	2006		n.d.	27.048,8	0,0	
Éter metil-terc-butílico (MTBE)	2002	525.000	330.971,0	1,4	379.675,6	Aditivo para combustível
	2003		408.641,0	0,1	424.217,1	
	2004		327.118,0	0,5	311.688,8	
	2005		321.585,6	1,5	332.893,1	
	2006		328.514,9	0,3	310.600,3	
Etilenoglicóis	2002	325.000	220.261,0	79.575,5	91.156,8	n.d.
	2003		253.216,8	73.128,4	125.892,0	
	2004		255.764,5	60.261,4	85.819,5	
	2005		234.569,9	45.190,1	77.425,8	
	2006		203.971,7	48.721,9	61.512,2	
Óxido de eteno	2002	312.000	251.345	144,4	18,8	n.d.
	2003		280.729	183,4	16,0	
	2004		296.643	0,7	31,0	
	2005		297.183	20,5	9,6	
	2006		289.724	60,0	17,0	
Óxido de propeno (metiloxirano)	2002	235.000	154.226	90,6	30.181,7	Intermediários químicos (100)
			186.810	2.017,4	58.094,6	
			189.453	6,6	26.589,4	
	2004		181.732	304,8	22.126,9	
	2006		195.637	4.437,3	23.328,5	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 11

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de resinas termoplásticas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Cloretos de polivinila (PVC)	2002		602.458,0	141.852,0	58.635,4	Tubos (37,4); perfis (14,0); laminados (12,1); calçados (7,8); conexões (6,8); embalagens (5,7); fios e cabos (4,7); mangueiras (2,6); brinquedos (0,5); pisos (0,4); outras (8,0)
	2003		604.088,0	86.397,3	75.721,8	
	2004		629.747,0	94.521,1	44.133,2	
	2005		640.319,3	119.490,8	77.529,6	
	2006	786.000	676.262,8	126.646,5	50.868,6	
Policarbonato	2002		10.298	12.913,1	5.606,0	Automobilístico (27,0); construção civil (17,0); plásticos (16,0); eletroeletrônico (15,0); peças técnicas (13,0); embalagens (7,0); mamadeiras (5,0)
	2003		11.914	13.761,8	7.848,8	
	2004		12.557	15.937,7	6.699,6	
	2005		11.446	19.846,3	5.755,7	
	2006	15.000	11.619	21.104,7	4.484,8	
Poliéstereno	2002		314.388,1	42.235,1	52.691,5	Embalagens (35,0); eletrodomésticos (32,0); descartáveis (7,3); construção civil (1,4); calçados (0,5); brinquedos (0,3); outras (23,5)
	2003		292.295,9	16.845,6	44.512,8	
	2004		318.662,0	28.705,7	43.088,5	
	2005		317.434,3	18.347,4	46.348,6	
	2006	635.000	360.956,6	16.346,9	55.761,5	
Polietileno de alta densidade (PEAD)	2002		810.650,0	108.309,7	223.168,8	Higiene / limpeza (16,4); alimentício (12,2); construção civil (10,0); automobilístico (5,7); químico (4,9); agrícola (4,0); cosméticos (3,7); revenda (34,1); outras (9,0)
	2003		811.181,0	106.491,3	262.855,1	
	2004		832.861,0	113.902,5	215.712,5	
	2005		812.160,0	118.840,0	239.225,5	
	2006	1.772.000*	1.018.455,6	111.284,6	353.671,1	
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	2002		608.307,0	45.646,8	137.789,8	Alimentício (51,1); higiene / limpeza (12,0); agrícola (11,4); construção civil (5,6); outras (19,9)
	2003		672.231,0	25.053,3	169.338,6	
	2004		672.645,0	8.786,1	138.649,1	
	2005		681.686,0	10.838,5	147.257,8	
	2006	785.000**	681.083,1	10.627,9	149.661,1	
Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)	2002		313.070,0	100.954,9	76.730,8	Alimentício (59,7); industrial / construção civil (13,3); higiene / limpeza (12,2); agrícola (3,5); revenda (4,4); outras (6,9)
	2003		359.468,0	109.843,0	129.370,0	
	2004		407.021,0	167.272,5	138.829,7	
	2005		442.274,0	164.613,0	218.838,0	
	2006	1.200.000***	635.151,8	174.592,7	295.320,0	

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Polipropileno	2002		890.979	80.713,5	63.942,2	Alimentício (36,9); bens de consumo (35,2); higiene pessoal (6,1); agrícola (5,7); cosmético e farmacêutico (5,6); industrial (4,3); construção civil (2,9); automobilístico (1,2); outras (2,1)
	2003		1.011.523	82.976,9	156.069,8	
	2004		1.130.186	64.477,8	158.179,1	
	2005		1.212.200	85.578,9	227.756,2	
	2006	1.425.000	1.234.977	104.996,6	233.156,9	
Tereftalato de polietileno (PET)	2002		334.115,0	147.232,7	55.770,7	Vasilhames (71,1); fibras sintéticas (28,9)
	2003		338.977,4	136.190,7	44.530,1	
	2004		357.623,0	137.091,5	62.018,5	
	2005		352.580,1	178.354,9	35.620,1	
	2006	380.000	307.351,0	172.452,4	30.574,1	

* 1.090.000 t/ano correspondem a unidades multipropósito com PEBDL

** 290.000 t/ano correspondem a unidades multipropósito com copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA)

*** 690.000 t/ano correspondem a unidades multipropósito com PEAD

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 12

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de resinas termofixas: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Resinas fenólicas (resinas de fenol formaldeído)	2002		209.431,6	1.548,3	9.378,8	Colas e adesivos (46,2); madeireiro (23,6); fundição (14,4); automobilístico (3,9); abrasivos (3,0); refratários (2,1); fricção (1,9); tintas e vernizes (1,8); outras (3,1)
	2003		220.580,0	1.937,8	12.197,0	
	2004		191.585,3	3.031,1	15.164,5	
	2005		178.159,0	3.674,4	14.106,7	
	2006	430.698*	155.989,2	3.814,2	17.062,2	
Resinas melamínicas (resinas melamina-formol)	2002		8.140,6	2.512,6	195,0	Papel e celulose (55,1); construção civil (22,2); tintas e vernizes (11,0); auxiliar têxtil (8,6); tratamento de água (3,1)
	2003		8.253,3	2.912,3	892,1	
	2004		8.240,9	3.482,0	524,2	
	2005		7.423,5	3.567,2	562,7	
	2006	88.300**	6.979,3	4.729,5	634,4	
Resinas uréicas (resinas de uréia-formaldeído)	2002		347.360,9	1.391,5	17.389,0	Colas e adesivos (63,4); madeireiro (36,3); couro (0,2); papel e celulose (0,1)
	2003		386.941,4	5.729,3	30.936,8	
	2004		432.748,8	1.706,7	30.562,7	
	2005		439.342,6	1.921,8	31.511,7	
	2006	875.995***	476.970,8	1.706,7	31.297,5	

* 109.000 t/ano correspondem a unidades multipropósito

** 64.670 t/ano correspondem a unidades multipropósito

*** 159.490 t/ano correspondem a unidades multipropósito

Fonte: Abiquim, 2007

Tabela 13

Produtos de elevado consumo energético do segmento de fabricação de elastômeros: capacidade instalada em 2006, em t/ano, produção, importação e exportação, em t, de 2002 a 2006, e destino das vendas internas

Produto	Ano	Capacidade instalada (t)	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)	Destino das vendas internas (%)
Borracha de estireno-butadieno	2002		233.217,0	29.817,0	81.723,8	Pneumáticos (49,0); <i>camelback</i> (28,0); calçados (10,0); peças técnicas (7,0); fios e cabos (2,0); colas e adesivos (1,0); revenda (3,0)
	2003		245.980,0	41.865,5	98.752,2	
	2004		261.193,0	40.354,4	79.582,5	
	2005		212.205,0	56.028,4	82.303,9	
	2006	266.000	207.629,0	57.469,4	68.706,0	
Polibutadieno	2002		63.966,0	19.862,1	11.299,1	Pneumáticos (66,0); plásticos (16,0); <i>camelback</i> (13,0); calçados (2,0); peças técnicas (2,0); colas e adesivos (1,0)
	2003		69.296,0	29.504,7	16.904,7	
	2004		67.796,0	45.155,9	18.973,6	
	2005		74.421,0	41.193,4	30.575,6	
	2006	93.000	83.522,0	43.495,2	36.886,3	
SBR, látices de (SBR, látex)	2002		65.410,0	1.830,0	6.297,7	Papel e celulose (59,5); auxiliar têxtil (20,8); tapeçaria (6,0); peças técnicas (5,3); calçados (3,7); pneumáticos (0,8); tintas e vernizes (0,3); outras (3,6)
	2003		81.120,6	2.268,3	9.596,5	
	2004		96.163,0	2.381,0	9.545,3	
	2005		87.258,0	2.549,1	10.104,7	
	2006	127.700	90.691,0	2.273,0	15.179,7	

n.d.: informação não disponível

Fonte: Abiquim, 2007

O gás de refinaria – subproduto dos processos de reforma e craqueamento - e as frações líquidas são os insumos básicos dentre as frações de petróleo. Entre as frações líquidas deve ser destacada a nafta²; mas com o aumento de seus preços, fruto do aumento do consumo, as frações mais pesadas, como o gasóleo, passaram a ser empregadas. Estes derivados de petróleo são utilizados na produção de produtos petroquímicos básicos como as olefinas (etileno e propileno) e os aromáticos (benzeno, tolueno e xilenos); estes últimos, por sua vez, são transformados em uma ampla gama de plásticos, borrachas sintéticas (elastômeros), resinas, solventes e outros produtos petroquímicos.

O gás natural, por sua vez, na condição de matéria-prima direta, é de grande importância para a petroquímica por permitir a dissociação física desse segmento industrial da atividade de refino de petróleo. Entretanto, essa vantagem é compensada e, eventualmente, pode ser anulada, pela baixa flexibilidade quanto à localização do complexo industrial, quanto à composição química do insumo e à capacidade da jazida. O gás natural é usado para produzir amônia, metanol e outros produtos. A amônia é usada principalmente na produção de fertilizantes. Etano, propano e butano são componentes do gás natural empregados na produção de olefinas.

Para um dado país, a escolha de uma dessas matérias-primas, ou ainda a escolha da composição do mix das várias matérias-primas, é função de um certo número de fatores de ordem técnica, econômica, de mercado e, evidentemente, geológica, no que concerne à disponibilidade dos insumos.

No Brasil, os insumos básicos da petroquímica têm sido a nafta e o gás natural, os dois são supridos pela Petrobrás.

² A nafta é uma fração leve oriunda da destilação do óleo cru, sendo retirada entre 50 e 200°C. Esta fração compreende compostos entre seis e dez átomos de carbono.

Observa-se, atualmente, duas fortes tendências na indústria petroquímica nacional relacionadas entre si: a integração com o refino e a busca de alternativas para a nafta, como matéria-prima cada vez mais cara e escassa no Brasil e no exterior (VIGLIANO, 2008).

Em 2008/2009, a capacidade de produção de eteno da Petroquímica União (PqU) deverá aumentar em 230.000 t/ano. A nova unidade sairá do papel junto com uma unidade de tratamento de gás de refinaria na refinaria Henrique Lage (Revap), em São Paulo, de onde sairá 80% do suprimento destinado à fábrica. Os 20% restantes virão da refinaria de Capuava (Recap). Das 230.000 t/ano, 130.000 t/ano serão produzidas a partir de gás de refinaria e as outras 100.000 t/ano a partir da nafta.

Um outro grande projeto petroquímico no forno, a fábrica de polipropileno da Petroquímica Paulínia S.A. (PPSA), pertencente à Braskem, também será inaugurada a partir do casamento com plantas de refino. Nesse caso, a integração será com unidades de propeno na refinaria de Paulínia (Replan) e na Revap. A dobradinha não só viabilizará a produção de 350.000 t/ano de polipropileno, como evitará a construção de mais uma grande central de primeira geração baseada no suprimento de nafta.

Culminando com esta tendência, planeja-se a entrada em operação do Comperj, em 2014, onde refinaria e petroquímicas de 1ª e 2ª gerações estarão fundidas em uma única planta: os produtos serão fabricados diretamente a partir do petróleo, sem a necessidade de se craquear a nafta e o etano (no caso do gás natural). O complexo, que está em fase de projeto básico, deverá produzir 3,3 milhões de t/ano de resinas termoplásticas.

Um estudo da Associação Brasileira da Indústria Química – Abiquim revela que é possível alimentar o enorme salto previsto para a demanda de resinas plásticas no país até 2023 – de 4 milhões de t/ano para 9,8 milhões de t/ano – com a diversificação de matérias-primas. Até 2014, das 3,7 milhões de t/ano de expansão de capacidade previstas em eteno e propeno - base das resinas e cuja produção atual é de 5,5 milhões de t/ano –, 3,6 milhões de t/ano serão supridas com fontes alternativas à nafta, com gás de refinaria, propano e até álcool.

A Braskem, líder latino-americana em produção de resinas, investiu R\$ 5 milhões em pesquisa e desenvolvimento para chegar a um polietileno certificado a partir de álcool da cana, chamado de polímero verde (ERENO, 2007). Em uma planta piloto, que começou a funcionar em junho de 2007, é feita a transformação do etanol em etileno. A conversão ocorre por meio de um processo de desidratação, no qual são adicionados catalisadores ao etanol aquecido, que permitem a sua transformação em gás etileno. A partir daí, para chegar ao polietileno, o processo de fabricação é igual ao empregado para as matérias-primas provenientes de fontes fósseis, ou seja, o etileno polimerizado resulta no polietileno.

A Dow Química também se prepara para produzir polietileno a partir do etanol. Em julho de 2007, a empresa anunciou uma joint-venture com a Crystalsev, trading brasileira de açúcar e álcool controlada pelas usinas Vale do Rosário e Santa Elisa, ambas no interior paulista, para criação de um pólo álcoolquímico integrado, que deverá iniciar suas operações em 2011 e terá capacidade para produzir 350.000 t/ano de polietileno de baixa densidade. O pólo deverá ser auto-suficiente do ponto de vista energético, gerando, inclusive, excedentes de energia elétrica suficientes para atender a uma cidade de 500.000 habitantes (ERENO, 2007).

A Oxiteno, do Grupo Ultra, tem um projeto similar ao da Dow Química para construir uma biorefinaria que produzirá açúcar e álcool a partir de bagaço, palha e pontas de cana de açúcar, por meio de hidrólise ácida. A futura unidade vai fabricar também produtos álcoolquímicos a partir de tecnologias não-convencionais.

Enquanto as petroquímicas apostam nos plásticos a partir do etanol, a PHB Industrial, pertencente ao Grupo Pedra Agroindustrial e ao Grupo Balbo, ambos no interior paulista, tem fabricado em uma planta piloto, desde dezembro de 2000, um plástico biodegradável produzido por bactérias, que está sendo vendido em pequenas quantidades para os EUA, Japão e países da Europa. A planta industrial para produção em grande escala (10.000 a 30.000 t/ano), prevista para ficar pronta em 2010, será instalada na região de Ribeirão Preto. A produção do polímero é feita pelo cultivo da bactéria *Alcaligenes eutrophus*, em um meio de cultura com a sacarose presente no açúcar. A sacarose é transformada em glicose para alimentar as bactérias. A cadeia de carbono da glicose é transformada pela bactéria no polihidroxibutirato (PHB). Suas propriedades

³ Segundo a Abiquim, um ponto percentual no PIB equivale a mais 0,8% de resinas (Vigliano, 2008).

termoplásticas permitem que, depois de extraídos do interior da célula produtora com o uso de solventes orgânicos, sejam purificados e processados, gerando um produto biodegradável, compostável e biocompatível. Esses polímeros podem ter aplicações diversas, como produção de filmes ou estruturas rígidas, além de usos médicos e veterinários, como confecção de suturas, suportes para cultura de tecidos, implantes, encapsulação de fármacos para liberação controlada e outras, utilizando-se da nanotecnologia (ERENO, 2007).

1.6 Processos de fabricação

A maior parte dos processos produtivos da indústria química pode ser resumida de acordo com o seguinte diagrama da Figura 1.

A unidade de reação (operação química) é precedida de operações físicas de purificação da matéria-prima e seguida de outras operações físicas de separação e purificação dos produtos.

Estas operações físicas e químicas são interligadas por sistemas de transporte das matérias-primas e produtos puros, ou contidos em soluções ou misturas nas fases sólidas, líquidas e gasosas. Entre estes sistemas de transporte destacam-se as tubulações e acessórios para o deslocamento de fluidos e os transportadores hidráulicos e pneumáticos para os sólidos. Associados a estes, estão as máquinas de fluxo para o fornecimento da altura de elevação necessária aos escoamentos. Equipamentos para troca de calor também estão presentes, assim como dispositivos de controle e automação das unidades. Este conjunto de equipamentos e acessórios, quando interligados na sequência lógica da produção, dá origem às plantas industriais. De uma maneira geral, estas plantas apresentam grandes semelhanças, mas com variações de equipamentos, a depender do objetivo de produção. No entanto, em função do processo produtivo, verificam-se diferenças nas matérias-primas, produtos e nas condições operacionais dos equipamentos, notadamente temperatura e pressão.

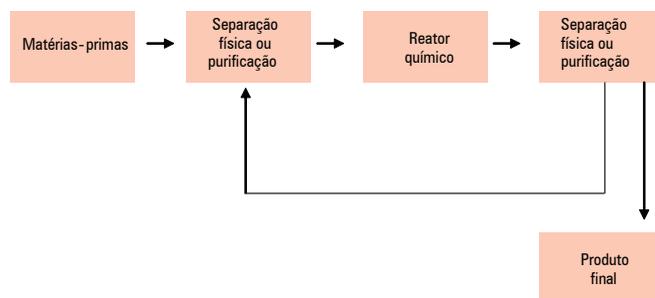


Figura 1

Diagrama simplificado de inúmeros processos produtivos da indústria química

Analisa-se, nas seções a seguir, os processos de fabricação envolvidos nas cadeias produtivas da indústria química selecionadas neste projeto.

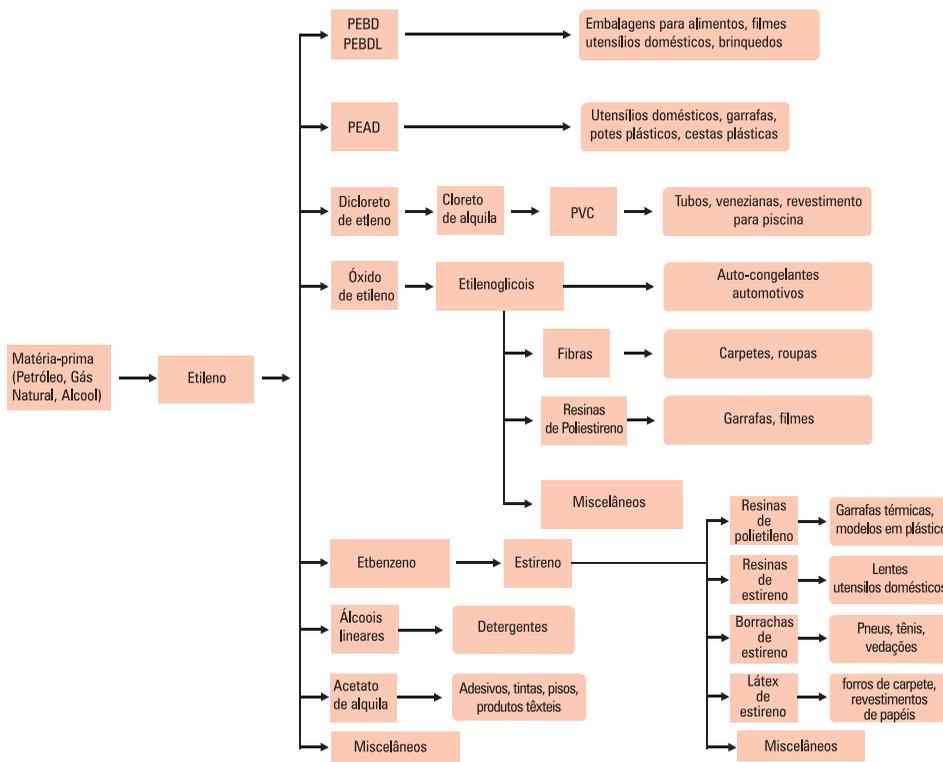
1.6.1 Cadeia de produção de derivados do etileno

O etileno é um produto relativamente barato com uma alta reatividade química, sendo utilizado, por conseguinte, na produção de inúmeros derivados. Ele é uma importante matéria-prima para a produção do plástico mais usado no mundo, o polietileno. A aplicação de polietileno é bastante variada, dirigindo-se à fabricação de filmes plásticos, embalagens, componentes automotivos, isolamento de cabos, tubos e roupas. A Figura 2 ilustra a cadeia produtiva do etileno, desde a matéria-prima para a sua produção até alguns produtos finais.

A Tabela 14 apresenta a produção e capacidade instalada em 2006 da cadeia dos produtos químicos derivados do etileno, sem incluir produtos finais ou acabados. De acordo com esta tabela, onze produtos (etileno, polietileno, cloreto de polivinila (PVC), dicloreto de etileno, estireno, cloreto de vinila, etilbenzeno, poliestireno, poliésteres (PET), óxido de etileno e etilenoglicóis) responderam por 98,4% da produção física total desta cadeia em 2006. Descrevem-se, a seguir, de uma forma simplificada, os processos de produção destes produtos.

1.6.1.1 Produção de etileno

O etileno ou eteno é o produto petroquímico básico mais utilizado no mundo (IEA, 2007), cuja produção pode derivar de uma diversidade de matérias-primas, tais como etano, nafta, gásóleo, propano/butano, gás de refinaria, entre outros. Por questões ligadas à logística de suprimento, a maioria das centrais petroquímicas produtoras de etileno localiza-se nas proximidades de refinarias, que são as fornecedoras das matérias-primas necessárias à sua manufatura. Logo, a matéria-prima utilizada pela indústria local de etileno guarda relação com a estrutura tecnológica das refinarias daquela localidade (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).



Fonte: IEA, 2007

Figura 2
Cadeia produtiva do etileno, incluindo alguns produtos finais

O processo de obtenção do etileno envolve a pirólise⁴ das matérias-primas. A matéria-prima utilizada influencia o consumo energético e o custo do processo. A corrente de processo contendo a matéria-prima, junto com uma corrente de vapor, entra em um forno tubular de pirólise, onde a temperatura de craqueamento (entre 760 e 870°) deve ser atingida. Quanto menor for o peso molecular do hidrocarboneto utilizado (por exemplo, etano, C₂), maior será o percentual de etileno obtido (Tabela 15). Por outro lado, matérias-primas de maior peso molecular (como a nafta, C₆H₁₀) geram um percentual maior de propileno e derivados mais pesados e requerem maiores temperaturas de craqueamento, consumindo mais energia por tonelada de etileno obtido. Para produzir uma tonelada de etileno é necessário 1,25 toneladas de etano, 2,2 toneladas de propano, ou 3,2 toneladas de nafta (IEA, 2007). Quando se dispõe de gás natural abundante e relativamente barato, a sua utilização permite obter etileno a um custo reduzido, o que ainda não é caso do Brasil, de uma forma geral.

Uma característica importante com relação à matéria-prima empregada diz respeito ao desempenho energético do processo. Quando o etano é a matéria-prima utilizada, requer-se um pequeno consumo líquido de energia, enquanto que, empregando-se matérias-primas de maior peso molecular, como a nafta, o processo tende a auto-suprir suas necessidades de energia, ou, até mesmo, produzir excedentes. O efluente gasoso resultante do craqueamento precisa ser resfriado, o que é realizado de uma forma abrupta, para minimizar a ocorrência de reações adicionais, sendo o conteúdo térmico utilizado para a geração de vapor.

Tabela 14
Cadeia dos produtos derivados do etileno: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia

Produto	Produção em 2006		Capacidade instalada em 2006	
	t/ano	% do total	t/ano	% do total
Etileno	3.135.114,4	33,9	3.435.000,0	27,3
Polietileno	2.224.690,5	24,1	3.757.000,0*	29,9
Dicloreto de etileno	547.721,0	5,9	660.000,0	5,3
Cloreto de etila	678,4	0,0	840,0	0,0
Cloreto de vinila	456.839,9	4,9	810.000,0	6,4
Cloretos de polivinila (PVC)	676.262,8	7,3	786.000,0	6,3
Óxido de etileno	289.724,0	3,1	312.000,0	2,5
Etanolaminas	54.549,6	0,6	45.000,0	0,4
Etilenoglicóis	203.971,7	2,2	325.000,0	2,6
Poliésteres (PET)	307.351,0	3,3	380.000,0	3,4
Acetaldeído	n.d.	-	n.d.	-
Ácido acético	n.d.	-	62.000	0,5
Acetato de sódio	491,0	0,0	3.432,0	0,0
Anidrido acético	n.d.	-	n.d.	-
Álcool butílico	26.137,0	0,3	40.000,0	0,3
Acetato de vinila	42.269,0	0,5	80.000,0	0,6
Etilbenzeno	446.132,0	4,8	486.000,0	3,9
Alfametilestireno	1.130,0	0,0	7.500,0	0,1
Estireno	459.838,5	5,0	530.000,0	4,2
Poliestireno	360.956,6	3,9	635.000,0	5,1
Polietilenoglicol	14.447,1	0,2	155.000,0	1,2
Total	9.248.304,5	100,0	12.577.272,0	100,0

* 2.070.000 t/ano correspondem a unidades multipropósito
n.d.: informação indisponível no anuário da Abiquim de 2007
Fonte: (Abiquim, 2007; Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

⁴ “Quebra”, através do uso de calor, de moléculas maiores em moléculas menores. O processo também é conhecido como “craqueamento térmico”.

Tabela 15

Influência da matéria-prima craqueada no rendimento, em %, de obtenção do etileno e de outros derivados petroquímicos

Produto	Matéria-prima			
	Etano	Propano	Nafta	Gasóleo
Etileno	76	42	31	23
Propileno	3	16	16	14
Compostos C4 ⁵	2	5	9	9
Hidrogênio	9	2	2	1
Metano	6	28	17	11

Fonte: (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003)

Segundo um levantamento publicado pela Agência Internacional de Energia (2007), 66% do etileno produzido na América Latina provém do etano, 24% da nafta e os restantes 10% de propano e butano.

Além da função de fornecer energia para a reação de craqueamento térmico, o vapor também reduz a formação/deposição de coque na superfície do forno e contribui para a inibição de reações que levariam à formação de subprodutos não desejáveis. Quanto maior for o peso e a complexidade da matéria-prima, maior é a tendência de formação de coque (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O vapor é produzido em uma caldeira de recuperação (538°C) e em uma caldeira convencional (149°C). O vapor de alta pressão e temperatura, produzido na caldeira de recuperação, e parte do vapor de baixa entalpia são empregados para produzir trabalho mecânico em turbinas, que, por seu turno, acionam compressores, no processo principal e em um chiller (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

Após passar pela caldeira de recuperação, o efluente gasoso oriundo do reator de craqueamento precisa ser resfriado e comprimido em vários estágios para a remoção de gases ácidos, como o ácido sulfídrico (H₂S), hidrogênio, metano, etano, acetileno, propileno, propano, butadieno e outros subprodutos, de modo a se obter etileno com elevado grau de pureza, para a produção de polímeros.

O processo de produção do etileno é intensivo no uso de calor. Isto se deve, principalmente, à demanda de energia térmica para o forno de craqueamento (cerca de 65% do consumo total de combustíveis do processo, quando se usa nafta como matéria-prima e em torno de 47% no caso do etano). Grande parte da demanda térmica destas plantas é atendida a partir do aproveitamento de subprodutos do processo, que permitem suprir cerca de 95% das necessidades energéticas de um forno moderno de craqueamento em plantas de produção de etileno a partir da nafta e 85% a partir do etano (IEA, 2007). Entre as correntes de processo aproveitáveis do ponto de vista energético, destacam-se (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007):

- (I) o efluente do reator de craqueamento, que permite a recuperação de parte de seu calor em uma caldeira de recuperação;
- (II) o óleo combustível pesado usado em colunas de resfriamento do efluente do reator, que, embora seja recuperado no processo, por vezes é consumido na geração adicional de vapor;
- (III) a corrente gasosa contendo metano e hidrogênio, oriunda da operação de demetização do efluente do reator, que é utilizada para suprir a demanda de energia no forno de craqueamento;
- (IV) a corrente gasosa de etano, proveniente das colunas de deetanização.

Além de ser injetado na corrente de alimentação do reator de craqueamento térmico com a finalidade de reduzir a formação de coque durante esta reação, o vapor também é utilizado em operações de compressão

⁵ Inclui o butano, isobutano, buteno, isobuteno, butadieno, cis-2-buteno e trans-2-buteno.

e refrigeração. Segundo dados da OIT/DOE, compilados por Tolmasquim, Szklo e Soares (2003), as demandas por refrigeração e compressão em uma planta de produção de etileno podem responder, juntas, por algo em torno de 30 a 40% de toda a demanda de energia da planta. O sistema de refrigeração / resfriamento empregado em uma planta de produção de etileno normalmente envolve a integração de diversas correntes, o que ocorre na forma de cascata, utilizando uma rede complexa de trocadores de calor para a recuperação do conteúdo energético disponível em várias correntes do processo.

O uso de eletricidade é bastante reduzido neste processo e destina-se, basicamente, ao bombeamento de água e óleo e ao acionamento dos compressores de metano, que são de pequeno porte.

Desde a década de 1970, o consumo energético específico do processo de produção de etileno diminuiu quase pela metade, graças a avanços tecnológicos como uma maior recuperação de calor dos vários efluentes do processo, uso integrado de super-aquecedores do vapor, emprego de máquinas rotativas de maior rendimento, bombas de calor e esquemas de refrigeração em múltiplos estágios e utilização dos gases efluentes de turbinas a gás como ar de combustão no reator de pirólise. Só esta última técnica tem produzido reduções no consumo energético total das plantas entre 10 e 20% (IEA, 2007). Ainda segundo a IEA, o emprego destas tecnologias que constituem o atual “estado da arte” pode propiciar, hoje, em média, cerca de 20% de economia na seção de pirólise e mais 15% nas seções de compressão e separação.

1.6.1.2 Produção de polietileno

O polietileno é um produto obtido pela polimerização do etileno, sendo inerte e altamente resistente ao ataque de produtos químicos. Por esta razão, é um dos polímeros mais empregados no mundo inteiro e o mais usado para a confecção de embalagens. Os três tipos de polietileno mais comumente empregados são o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno linear de baixa densidade (PELBD).

Estas variações são obtidas em função da pressão empregada na reação. A aplicação de alta pressão no processo resulta no PEBD, cuja gravidade específica é menor do que 0,925. Por outro lado, a produção de PELBD e PEAD (gravidade específica entre 0,917 e 0,945, e maior que 0,94) ocorre à baixa pressão e na presença de catalisadores.

O reflexo desta característica é o menor consumo específico de energia na produção de PEAD ou PELBD em relação aquele observado na obtenção de PEBD, sendo este último 83% maior⁶. Por outro lado, a produção de PEBD permite gerar entre 0,3 e 0,8 t de vapor para cada t de polietileno produzido (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo de obtenção de PEBD pode ocorrer em uma autoclave com agitação ou em um reator tubular. Neste processo, o etileno é submetido a pressões variando entre 1.000 e 3.400 atmosferas e na presença de um iniciador (peróxido de benzoíla), o que promove a reação de polimerização por adição do etileno. Como a reação é fortemente exotérmica, existe a necessidade de um cuidadoso controle de temperatura do meio reacional de modo a evitar a decomposição do etileno em carbono, hidrogênio e metano. Quando se emprega reatores tubulares, o etileno passa através de tubos que recebem calor para aquecimento do etileno entre 93 e 199°C e que, a medida em que a reação de polimerização ocorre, aumenta, sendo necessária a presença de jaquetas de resfriamento ao longo destes tubos. O polímero fundido é encaminhado para uma máquina extrusora e resfriado com um banho de água, sendo posteriormente cortado em pellets pelo uso de uma máquina cortadora. Uma outra parcela da demanda de energia ocorre sob a forma de ar quente para a secagem destes pellets (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). A energia térmica neste processo é usada essencialmente para a geração de vapor, que, por seu turno, é empregado no reator químico (216°C), nos separadores (254°C), nos secadores (188°C) e nas máquinas de extrusão (146°F) (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

⁶ Em um levantamento de plantas europeias publicado pela IEA (2007), o incremento encontrado foi de 57%, na média, e de 90% na melhor tecnologia da amostra de plantas.

A eletricidade corresponde, em média, a 75% da demanda de energia de uma planta de produção de PEBD, sendo empregada em operações como a compressão e resfriamento do etileno, centrifugação, agitação do meio reacional, extrusão e peletização do produto final (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003).

Por sua vez, a produção de PEAD pode ser realizada através de quatro processos distintos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003):

- Polimerização em solução;
- Reação na fase gasosa em leito fluidizado;
- Polimerização em lama;
- Processo em alta pressão modificado.

A reação em reatores de leito fluidizado emprega catalisadores à base de metais de transição⁷, operando a pressões menores do que 20 atmosferas. Outros catalisadores, como aqueles à base de cromo, também são utilizados em outros processos e, em função do tipo utilizado, são produzidos polímeros de diferentes pesos moleculares.

A polimerização em lama é um outro processo empregado para a obtenção de PELBD e PEAD, ocorrendo em um reator a temperaturas menores que 100°C, onde é formada uma “lama” constituída por etileno, comonômeros⁸, catalisadores de alta atividade e um solvente, utilizado como diluente da mistura reacional. Esta última é separada através da passagem em um equipamento de separação do tipo flash, sendo o solvente usualmente reciclado e reintroduzido no reator, frequentemente sem a necessidade de purificação. A corrente contendo polietileno é, então, purgada com o auxílio de nitrogênio e, posteriormente, conduzida a máquinas de extrusão e peletização. A energia térmica é usada no processo para gerar vapor, que, por seu turno, é empregado no reator (146°C), em um stripper (146°C), em uma coluna de destilação (quando utilizada), nos secadores (188°C) e nas máquinas de extrusão (146°C). O consumo de eletricidade ocorre no misturador que precede o reator no processo, nas centrífugas, na máquina que mistura os aditivos ao polímero seco, no peletizador e no empacotador. Bem diferente do que ocorre na produção de PEBD, neste processo, no início da década de 1980, a relação energia elétrica / consumo de combustível era só de 0,19 (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

A polimerização em solução envolve a mistura de etileno com nafta antes da entrada no reator. A recuperação da nafta, para ser reciclada no reator, ocorre em três separadores. A geração de vapor demanda toda a energia térmica utilizada no processo. O vapor é consumido em dois dos três separadores (215°C), na máquina de extrusão (143°C) e no secador (188°C). O consumo de eletricidade ocorre no reator, em um dos separadores, na máquina que mistura os aditivos ao polímero, no peletizador, no empacotador e em um chiller que produz o fluido que refrigera a mistura etileno/nafta, antes de sua entrada no reator. Tal qual ocorre com a polimerização em lama, neste processo também a relação energia elétrica/consumo de combustível era baixa no início da década de 1980: 0,24 (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

A Union Carbide, a Dow Chemical e a BP são os líderes mundiais no desenvolvimento de tecnologias de reatores para a produção de polietileno. O processo Unipol, da Union Carbide, no qual o etileno fica no estado gasoso durante a polimerização, é o processo mais licenciado e empregado no mundo para se produzir polietileno. O processo Innovene, da BP, que também opera com o etileno na fase gasosa, é o único processo amplamente licenciado para a produção de PELBD. A Dow Chemical não licencia sua tecnologia de reatores para a produção de polietileno, na qual o etileno é polimerizado em solução. A produção de PELBD com o etileno na fase gasosa, em geral, é mais barata do que com a polimerização em solução (IEA, 2007).

1.6.1.3 Produção de dicloreto de etileno e de cloreto de vinila

O dicloreto de etileno é um importante produto intermediário para a produção de policloreto de vinila (PVC), sendo obtido através da reação entre etileno e cloro, normalmente na presença de um catalisador

⁷ Ziegler-Natta, em homenagem aos seus desenvolvedores.

⁸ Utilizados, neste caso, para o controle da densidade do produto.

à base de cloreto metálico. A reação é exotérmica, requerendo a remoção do calor gerado. O efluente é destilado com o auxílio de vapor, obtendo-se dicloreto de etileno com uma pureza superior a 99%.

Um processo alternativo para a obtenção de dicloreto de etileno baseia-se na oxihidrocloração do etileno, o que se faz a partir de etileno, ar e ácido clorídrico, em um reator de leito fixo usando cobre como catalisador ou em um reator de leito fluidizado. O produto obtido possui um grau de pureza menor do que o processo através de cloro gasoso (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A obtenção do monômero para a produção de PVC se dá a partir do craqueamento térmico do dicloreto de etileno, resultando em cloreto de vinila, ácido clorídrico e dicloreto de etileno não craqueado, sendo este último purificado e reciclado ao reator de craqueamento térmico. A corrente efluente deste reator é neutralizada e enviada ao reator de polimerização, para a produção de PVC. O forno de craqueamento requer tanto a queima de um combustível como a injeção de vapor (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.1.4 Produção de policloreto de vinila (PVC)

O policloreto de vinila (PVC) é um material similar ao polietileno⁹. Ele é rígido, relativamente denso (gravidade específica igual a 1,4), e que se torna um material mais flexível na presença de agentes plastificantes. Suas propriedades de inércia química a sais, ácidos e derivados de petróleo, resistência a fungos, impermeabilidade e possibilidade de produção em várias cores contribuem para que seus usos sejam bastante variados, mas sua aplicação mais ampla é na construção civil. Entretanto, materiais feitos à base de PVC não são resistentes a hidrocarbonetos aromáticos (por exemplo, benzeno e tolueno) e compostos clorados, entre outros compostos orgânicos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo mais empregado para a produção de PVC é a polimerização em suspensão, no qual gotas de cloreto de vinila suspensas em água são polimerizadas na presença de iniciadores e outros aditivos. Uma configuração típica de produção é através de várias bateladas conduzidas em diversos reatores agitados e dotados de jaqueta externa, dispostos em paralelo. A reação demanda aquecimento do meio reacional até 70°C, o que é realizado através da circulação de água quente na jaqueta do reator. Durante 10 a 12 horas, o reator é resfriado para a remoção do calor de reação, uma vez que a reação de polimerização é exotérmica. O processo é interrompido quando a conversão atinge 90%, pois, acima deste valor, propriedades tais como a cor e a porosidade do material formado podem ser afetadas. Uma outra observação importante no caso deste produto é a exigência da redução do teor de cloreto de vinila para menos de 1 parte por milhão, uma vez que este composto foi identificado como carcinogênico ao ser humano, e sua remoção é uma exigência para não oferecer riscos à saúde do consumidor final (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O uso do vapor se dá nas operações de polimerização (121°C), separação (121°C), destilação (121°C), nos tanques de mistura e na secagem (188°C), enquanto que a eletricidade é empregada para o acionamento de agitadores de reação e dos tanques de mistura, nas centrífugas, nos separadores, na peletização e na embalagem do material final (Brown, Hamel and Hedman, 1985).

1.6.1.5 Produção de óxido de etileno

O óxido de etileno é um importante intermediário na produção de etilenoglicol. Seu processo de produção emprega a oxidação¹⁰ do etileno na presença de um catalizador de óxido de prata. O agente oxidante utilizado é o ar e, apesar de implicar em um menor rendimento do produto final, tem evidentes

⁹ Difere do polietileno pela presença de um átomo de cloro em substituição a um átomo de hidrogênio presente na molécula do polietileno.

¹⁰ Termo empregado para referir-se a reações nas quais um ou mais átomos de oxigênio são adicionados a um composto.

vantagens sobre o uso de oxigênio puro. O uso do ar como agente oxidante, no entanto, demanda a instalação de um purgador e um absorvedor de nitrogênio (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Neste processo de produção, a corrente de alimentação contendo etileno e ar é pré-aquecida entre 260 e 288°C, através de uma troca de calor com o efluente do reator, antes de ser introduzida no mesmo, que é constituído por uma série de tubos por onde circula o meio reacional. A reação de oxidação é exotérmica, de modo que há a necessidade de remoção do calor liberado, feito através da circulação de um fluido refrigerante entre os tubos do reator. É fundamental a manutenção da temperatura em níveis adequados, para evitar a combustão do etileno com o oxigênio do ar, o que resultaria na formação de dióxido de carbono e água. Além de evitar a queda de rendimento na formação do produto de interesse, como a reação de combustão libera cerca de 15 vezes mais calor do que a reação de oxidação, o controle de temperatura é primordial por razões de segurança.

A taxa de conversão em óxido de etileno é baixa. O efluente do reator é conduzido para uma corrente gasosa, que simultaneamente desempenha duas funções: (1) resfriar o efluente; e (2) absorver o óxido de etileno e conduzi-lo, primeiro, a uma coluna de esgotamento, para remoção dos gases leves presentes na corrente e, a seguir, a uma coluna de destilação, onde se obtém o grau de pureza desejado. A maior parte do vapor demandado pelo processo é utilizado nas colunas de destilação e de esgotamento.

1.6.1.6 Produção de etilenoglicol

O etilenoglicol encontra aplicação como anticongelante e fluido para aviação, devido ao seu baixo ponto de fusão e suas propriedades anticorrosivas. Ele também é um produto intermediário na produção de fibras de poliéster.

O processo de produção mais empregado para a sua obtenção é a hidratação do etileno, catalizada através do uso de calor, ou por meio de ácidos. Normalmente, o rendimento deste processo é superior a 95%. O efluente do reator é enviado a um evaporador de múltiplos estágios, alimentado por uma corrente de vapor a alta pressão, e a remoção da água é completada através de sucessivas operações a vácuo. A solução contendo a mistura de etilenoglicóis é purificada subsequentemente em torres de destilação, fracionando os etilenoglicóis de acordo com o seu peso molecular.

Um processo de produção alternativo utiliza a catálise por ação de calor. Neste processo, a corrente de entrada do reator, contendo água e óxido de etileno, demanda um pré-aquecimento, o que pode ser feito através de vapor ou água quente. A reação deste óxido com a água produz o derivado monoetilenoglicol; os demais derivados são obtidos através de reações sucessivas deste derivado com o óxido de etileno. O emprego de catalisadores permite realizar a reação em condições mais brandas. De fato, neste caso, é empregada pressão atmosférica e temperaturas entre 49 e 99°C. Por sua vez, o emprego de processos não catalíticos demanda pressões superiores a 13 atmosferas e temperaturas na faixa de 140-199°C, tendo, porém a vantagem de não ter que lidar com misturas corrosivas e a separação de misturas ácidas; por esta razão é normalmente preferido (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.1.7 Produção de poliésteres

Poliésteres são polímeros contendo um grupamento éster na cadeia. Entre as propriedades mais importantes dos poliésteres, destaca-se a sua resistência a agentes microbiológicos (bactérias e fungos), solventes orgânicos, ácidos fracos e bases. O poliéster mais utilizado é o tereftalato de polietileno (PET), um plástico muito utilizado na confecção de garrafas descartáveis, filmes, fibras e resinas. Segundo o

Anuário de 2007 da Abiquim, 71,1% do PET produzido no Brasil tem sido utilizado na confecção de vasilhames e 28,9% na produção de fibras sintéticas.

O PET é produzido a partir da reação do etilenoglicol e tereftato de dimetila (DMT), ou ácido tereftálico (TPA), por reação de polimerização por condensação. O processo que utiliza DMT como matéria-prima apresenta o inconveniente de formação de metanol, o que exige operações de purificação e recuperação do metanol. A rota química que emprega o TPA como matéria-prima, por sua vez, apresenta a vantagem de ser mais simples e menos intensiva no consumo de energia (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo de produção baseado no TPA inicia-se com a mistura do ácido tereftálico e etilenoglicol em um tanque, na presença de um catalisador, gerando uma pasta, pela dissolução do TPA no etilenoglicol. Este processo demanda condições de temperatura e pressão moderadas: entre 199 e 204°C e 2-10 atm. Esta corrente é purificada, antes de seguir para o reator de polimerização. A polimerização, por sua vez, ocorre a temperaturas entre 260 e 299°C e à baixa pressão (aproximadamente 0,001 atm), variando-se, porém, estas condições conforme a densidade desejada do produto final. O processo todo dura entre 6 e 8 h, sendo a corrente efluente do reator um polímero fundido de cor amarelo pálido, que é resfriado e cortado em pedaços.

Em muitas plantas de produção de PET, a corrente efluente do reator é bombeada a alta pressão para máquinas extrusoras, com a finalidade de se produzir fibras de poliéster. Este processo demanda calor para manter a viscosidade do polímero em um valor apropriado para a operação de extrusão. A solidificação dos filamentos formados é terminada com um sopro de ar frio (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A produção de PET é intensiva no uso de energia térmica, por conta das altas demandas de aquecimento dos reatores de esterificação e de polimerização. Isto já não ocorre na fabricação de fibras de poliéster, a partir do PET, que só requer calor para a manutenção da viscosidade do polímero, durante a extrusão. Esta energia térmica está associada ao uso final aquecimento direto (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

A eletricidade é utilizada em operações de bombeamento, filtração e cristalização e, no caso da produção de fibras de poliéster, acionamento de máquinas de corte e sopro de ar, entre outras.

1.6.1.8 Produção de etilbenzeno, estireno e poliestireno

O poliestireno é uma resina termoplástica empregada na fabricação de embalagens, eletrodomésticos, produtos descartáveis, calçados e brinquedos, entre outras aplicações. O estireno, além de ser matéria-prima para a produção de poliestireno (principal utilização), também é empregado na fabricação de resinas sintéticas, borrachas, tintas e vernizes, entre outros usos (ABIQUIM, 2007).

O etilbenzeno é usualmente obtido a partir da alquilação do benzeno com etileno, em um reator de leito fixo contendo catalizador à base de zeólitas. A reação de alquilação é exotérmica e o calor removido do meio reacional é aproveitado para a geração de vapor de baixa pressão, que fornece calor para operações de destilação dos produtos obtidos. O efluente do reator, contendo etilbenzeno e uma menor quantidade de polietilbenzeno, passa por um reator catalítico para trans-alquilação, sendo que os efluentes dos reatores de alquilação e trans-alquilação são conduzidos a uma coluna de fracionamento para separação do etilbenzeno e do benzeno, que é reciclado para o processo. A pureza do produto obtido a partir deste processo é quase igual a 100%, mesmo partindo de benzeno com grau de pureza moderado. As demandas energéticas do processo são modestas, com um forte domínio da energia térmica, na forma de vapor de processo (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O estireno pode ser obtido tanto a partir da desidrogenação do etilbenzeno, quanto como subproduto da produção de óxido de propileno. O rendimento na obtenção de estireno através deste último processo pode ser duas vezes superior àquele obtido pela desidrogenação do etilbenzeno. Apesar disto, o processo mais utilizado é o primeiro, pois permite o aproveitamento do vapor gerado na produção de etilbenzeno a partir do resfriamento do reator de alquilação.

Neste processo de produção, o etilbenzeno é cataliticamente desidrogenado na presença de vapor superaquecido, gerando estireno. As condições de reação são normalmente agressivas, acima de 2.100°C e sob vácuo, o que requer um grande consumo de calor neste processo. Os efluentes do reator são resfriados, o que condensa os hidrocarbonetos e o vapor utilizado. A corrente de hidrocarbonetos é conduzida a colunas de fracionamento, onde o estireno com alto grau de pureza é recuperado. Normalmente, o rendimento em estireno situa-se na faixa entre 80 e 90%. Ao término do processo, há a necessidade de adição de um inibidor, uma vez que o estireno tem tendência a polimerizar (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Como o etilbenzeno, no Brasil, é 100% utilizado na produção de estireno (Abiquim, 2007), sua obtenção normalmente ocorre na mesma linha de fabricação do estireno. Esta linha envolve as seguintes operações unitárias/equipamentos (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985): alquilação do benzeno (reação exotérmica), em um reator no qual também participam como insumos, etileno, polietilbenzeno e $AlCl_3$; resfriamento, lavagem e filtração; destilação do benzeno; secagem e reciclagem do benzeno; destilação do etilbenzeno; pré-aquecimento do etilbenzeno; aquecimento do etilbenzeno; desidrogenação, com o uso de vapor superaquecido; pré-aquecimento do vapor; resfriamento; condensação; separação da mistura benzeno/tolueno; separação do benzeno e do tolueno; destilação e reciclagem do etilbenzeno; e destilação do estireno.

Trata-se de um processo intensivo no uso de energia térmica, toda ela na forma de vapor. Este último é consumido na destilação do benzeno (160°C), na secagem do benzeno (177°C), na destilação do etilbenzeno (204°C), no pré-aquecimento do etilbenzeno (177°C); no reator de desidrogenação (649°C), no pré-aquecimento do vapor (193°C), na coluna de separação da mistura benzeno/tolueno (110°C); na coluna de separação de benzeno e tolueno (149°C), na destilação do etilbenzeno (110°C) e na destilação do estireno (110°C). A utilização de energia elétrica no processo é restrita à operação de resfriamento, lavagem e filtração (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O poliestireno é produzido através da polimerização de estireno, o que pode ocorrer a temperatura ambiente, sem a presença de um iniciador de reação. Entretanto, nestas condições, a reação é bastante lenta, podendo levar meses para se completar. Na presença de um iniciador adequado e com aquecimento a 149°C, a reação de polimerização se completa em menos de uma hora.

O processo pode ser conduzido tanto em regime contínuo, ou em batelada (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Um processo contínuo típico inclui a alimentação de estireno em um reator onde ocorre a polimerização parcial do estireno, sendo esta mistura pré-polimerizada enviada para um reator tipo CSTR, onde é colocada na presença de iniciadores. As condições de reação são cuidadosamente controladas e a temperatura fica na faixa entre 110 e 177°C, o que permite manter a reação de polimerização nas taxas de conversão desejadas. O peso molecular e a distribuição dos produtos são controlados através do ajuste das condições de reação e dos aditivos empregados. A mistura reacional é, então, aquecida a 260°C, e o polímero, em estado de fusão, é bombeado para um equipamento dotado de pequenos orifícios, destinados a formar feixes de fibras, que são, enfim, resfriados e cortados em pedaços para armazenamento.

No processo em batelada, o rendimento da conversão em poliestireno tende a ser maior. De forma similar ao processo contínuo, o estireno é enviado a um reator de pré-polimerização, sendo o efluente deste bombeado para um reator de batelada. Ali, promove-se o aquecimento da mistura e adiciona-se um iniciador adequado para que a polimerização se inicie. Ao término da polimerização, o efluente, constituído de polímero fundido, é enviado a um equipamento para a remoção do estireno não reagido, etilbenzeno e polímeros de peso molecular inferior ao desejado. No final desta etapa, este efluente é aquecido e sofre extrusão, imersão em banho de água fria e peletização, sendo, então, armazenado.

Um último processo de obtenção de poliestireno é a partir da polimerização em suspensão. Neste caso, promove-se a mistura de iniciador, estireno e água¹¹ em reatores agitados, o que permite a obtenção de rendimentos entre 90 e 93% em estireno. O efluente do reator é, então, destinado à etapas de centrifugação, secagem e armazenamento.

¹¹ Sua função, neste caso, é a remoção de calor do meio reacional.

A demanda térmica, que é muito maior do que a de energia elétrica, é ocasionada, principalmente, pelo aquecimento de óleo usado para operações de transferência de calor durante o processo. Uma pequena parcela da demanda térmica ocorre na forma de vapor de processo. A eletricidade é consumida na extrusão, mistura de reagentes e acabamento final do produto (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.2 Cadeia de produção de derivados do propileno

O propileno grau polímero é a segunda matéria-prima mais importante no mundo para a produção de plásticos, como o polipropileno, e fibras acrílicas (IEA, 2007). O polipropileno é um dos plásticos mais consumidos, com uma gama de aplicações bem variada, que engloba peças para automóveis, revestimentos, vasilhames, bobinas, garrafas, fitas para embalagens, entre outros usos. Há, ainda, o propileno grau químico, que é um importante intermediário químico.

A Tabela 16 apresenta a produção e capacidade instalada em 2006 da cadeia dos produtos químicos derivados do propileno. Conforme se pode verificar nesta tabela, cinco produtos (propileno, polipropileno, óxido de propileno, fenol, acetona e acrilonitrila) responderam por 97,1% da produção física total desta cadeia em 2006. Descrevem-se, a seguir, de uma forma simplificada, os processos de produção destes produtos mais os das fibras de polipropileno, fibras acrílicas, acetonitrila e ácido cianídrico (estes dois últimos são subprodutos da produção de acrilonitrila).

1.6.2.1 Produção de propileno

A obtenção do propileno se dá a partir do craqueamento térmico de hidrocarbonetos com vapor, ou, ainda, como subproduto de diversos processos em refinarias de petróleo. O principal processo, responsável por mais de dois terços da produção mundial (IEA, 2007), é a reforma, ou craqueamento, a vapor, utilizando como matérias-primas hidrocarbonetos tais como o etano, propano, nafta e gasóleo. Resultam desta reforma vários produtos, como o etileno, propileno, compostos C4, etc., conforme indicado na Tabela 15. Pode-se verificar, nesta tabela, que o uso do propano e da nafta favorece a produção de propileno.

Tabela 16

Cadeia dos produtos derivados do propileno: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia

Produto	Produção em 2006		Capacidade instalada em 2006	
	t/ano	% do total	t/ano	% do total
Propileno*	1.834.419,5	48,9	2.236.000	47,8
Óxido de propileno	195.637,0	5,2	235.000	5,0
Propilenoglicol	78.333,0	2,1	86.000	1,8
Acrlonitrila	84.811,0	2,3	90.000	1,9
Acrilatos**	3.492,0	0,1	15.000***	0,3
Álcool isopropílico	12.878,0	0,3	17.000	0,4
Polipropileno	1.234.977,0	33,0	1.425.000	30,5
Acetona	108.225,7	2,9	115.000	2,5
Fenol	178.809,0	4,8	196.400	4,2
Nonilfenol	497,0	0,0	17.000	0,4
Cumeno ¹²	n.d.	-	210.000	4,5
Hidroperóxido de cumeno	32,5	0,0	1.000	0,0
Glicerol	14.422,9	0,4	31.857	0,7
Total	3.746.534,6	100,0	4.675.257	100,0

* Propileno grau polímero mais propileno grau químico

** Acrilato de etila mais acrilato de metila

*** Multipropósito

n.d.: informação indisponível no anuário da Abiquim de 2007

Fonte: (Abiquim, 2007; Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

Além do processo de reforma do vapor, o propileno também pode ser obtido através de reações de desproporcionamento de olefinas, onde n-butenos reagem na presença de etileno, gerando o propileno. Neste processo, uma corrente de matéria-prima contendo etileno e butenos é introduzida em um reator catalítico. O efluente do reator é fracionado, separando-se o propileno com grau de pureza apropriado para a produção de polímeros. Normalmente, o rendimento na conversão neste processo é maior do que 98% (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Outra rota alternativa para a obtenção de propileno é através da desidrogenação catalítica do propano. O efluente proveniente do reator é comprimido e resfriado criogenicamente para a separação do hidrogênio, que é recuperado e reciclado. O efluente após este processo contém, além do propileno (produto de interesse), propano não convertido e alguns subprodutos. A purificação desta corrente ocorre através de hidrogenação seletiva, para conversão destes subprodutos em etileno e propileno. Após esta etapa, separa-se o propileno do propano, sendo este último reciclado para o processo (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Segundo Tolmasquim, Szklo e Soares (2003), as duas rotas alternativas de produção do propileno possuem altos custos operacionais e são mais energo-intensivos do que o processo de reforma a vapor.

1.6.2.2 Produção de polipropileno e de fibras de polipropileno

O polipropileno é produzido pela polimerização do propileno na presença de tetracloreto de titânio e trietil-alumínio, conhecidos como catalisadores Ziegler-Natta. Outro processo possível é a utilização de

metalocenos como catalisadores. A diferença, neste caso, consiste na estrutura molecular do polipropileno formado. Utilizando-se catalisadores Ziegler-Natta, obtém-se um grande rendimento de polipropileno na forma isotática, e pequenas quantidades da forma atática e sindiotática. Por sua vez, a utilização de metalocenos gera, principalmente a forma sindiotática, caracterizada pela alternância na sequência da cadeia. Outra diferença importante diz respeito ao custo do catalizador, bem maior no caso dos metalocenos; por conta disto, a sua utilização tem sido reduzida (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Independente do catalizador empregado, a reação de polimerização do propileno pode se dar tanto na fase líquida quanto gasosa, sendo esta última a mais empregada. A alimentação da matéria-prima deve conter propileno com grau de pureza maior do que 99,5%. O efluente do reator, misturado a uma corrente de etileno, propileno e hidrogênio, pode ser destinado à produção de copolímeros com alta resistência ao impacto.

O efluente do reator normalmente é composto por um pó contendo polipropileno, cloreto de alumínio e tetracloreto de titânio. Em muitos processos, não há remoção de resíduos de catalizador. Em outros casos, porém, este pó é submetido a um tratamento para remoção de resíduos de cloro, que podem causar alterações nas propriedades finais do produto. Este processo normalmente é conduzido em um reator de leito fluidizado, reagindo com uma mistura de nitrogênio, óxido de propileno e água. Após este tratamento, o pó é enviado para outro reator, para mistura com um anti-oxidante, o que evita a degradação do produto quando exposto à ação do ar ou à temperaturas elevadas. Este produto é, então, finalmente, fundido e enviado para máquinas extrusoras e a corrente de saída é resfriada com água, sendo cortada para formar grânulos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Outra apresentação do produto é na forma de fibras. Em 2006, 14,1% da produção brasileira total de polipropileno destinaram-se à produção de fibras (ABIQUIM, 2007).

O consumo de energia na fabricação de fibras de polipropileno é maior do que no processo de polimerização do propileno. 47% da energia térmica requerida no processo é consumida na forma de aquecimento direto em um equipamento de extrusão secundária e em secadores; o resto é utilizado para gerar vapor, que, por seu turno, é empregado na fusão e extrusão do polipropileno (121 °C). A demanda de eletricidade ocorre nas operações de centrifugação, lavagem, fusão e extrusão, corte, extrusão secundária, forjamento (spinneret), conformação e enrolamento das fibras (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.2.3 Produção de óxido de propileno

O óxido de propileno é um importante intermediário químico, sendo que uma de suas aplicações é a produção de propilenoglicol, de grande importância para a produção de produtos farmacêuticos, cosméticos e lentes bloqueadoras solares.

Um dos processos de produção de óxido de propileno envolve a reação entre propileno, cloro e água. O maior inconveniente deste processo é a demanda de grandes volumes de cloro, aumentando o custo de produção de óxido de propileno e suscitando o problema de disposição de resíduos de cloreto de cálcio gerados no processo. Neste processo, propileno, água e cloro alimentam uma torre, mantida a aproximadamente 49°C. O ácido clorídrico formado pela dissolução do cloro na água reage com o propileno, gerando 1-hidroxi-2-cloro-propano. Este composto é, então, aquecido através de uma corrente de vapor e reage com uma “lama” de carbonato de cálcio, gerando óxido de propileno gasoso e cloreto de cálcio. O gás obtido é condensado e destilado para a obtenção do produto purificado (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Outro processo de produção é a peroxidação do propileno, que utiliza a oxidação de um hidrocarboneto a um hidroperóxido secundário ou terciário. Este hidroperóxido reage com o propileno, obtendo-se óxido de propileno, em rendimentos variando entre 80 e 90%. Em ambas as etapas exige-se um catalizador, homogêneo ou heterogêneo. Durante este processo, são formados alguns subprodutos de valor comercial, como é o caso do álcool terc-butílico ou do álcool metilbenzílico, que podem ser usados como aditivos à gasolina, ou em reações de alquilação. O álcool metilbenzílico também pode ser desidratado para gerar estireno – aproximadamente 2,5 kg de estireno são produzidos para cada quilo de óxido de propileno produzido (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.2.4 *Produção de fenol e acetona*

O fenol e a acetona são co-produzidos a partir da oxidação do cumeno e posterior decomposição do hidróxido de cumeno formado. Portanto os níveis de produção destes dois compostos interrelacionam-se.

O processo de produção envolve, em uma primeira etapa, a oxidação do cumeno empregando ar, com uma temperatura do meio reacional em torno de 110°C, formando hidroperóxido de cumeno. Por conta da atuação de um catalisador ácido, o hidroperóxido se decompõe através de um rearranjo molecular, gerando fenol e acetona. Após a recuperação do catalisador, o efluente é conduzido a colunas de fracionamento e operações subsequentes de purificação (destilação extrativa, tratamento catalítico e extração cáustica) para a obtenção dos produtos de interesse em elevado grau de pureza, usualmente em torno de 99,99% em peso (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo de obtenção de fenol e acetona é bastante intensivo no consumo de energia, sobretudo térmica, e a integração energética com plantas de produção de cumeno é comum, para aproveitar o potencial exportador de energia que estas plantas possuem. A demanda de calor é preponderantemente empregada nas colunas de destilação, para purificação dos produtos, enquanto que o consumo de eletricidade é devido às operações de compressão e concentração dos produtos.

Um processo integrado de produção de cumeno e produção de fenol e acetona começa com o aquecimento de uma corrente contendo propileno e benzeno, através de aquecimento direto. Esta corrente alimenta um reator de alquilação, onde se processa uma reação exotérmica, que requer resfriamento, e se produz uma mistura de cumeno e benzeno. Esta mistura passa por um retificador, uma coluna de benzeno e uma coluna de cumeno, da qual se extrai este último produto. Os vapores que emergem do retificador são despropanizados com o auxílio de benzeno e vapor de água (115,5 °C), reciclando-se o benzeno, que também é recuperado e reciclado na coluna de benzeno, graças ao aquecimento com vapor (237,8 °C). Da coluna do cumeno emerge, além deste produto, diisopropil benzeno; o aquecimento da coluna é feito com vapor a 260 °C (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

Cumeno, hidrogênio e ar comprimido reagem em um reator de oxidação, onde se produz uma reação exotérmica. O efluente deste reator passa por um separador de gases e um concentrador, que requer vapor a 121°C. No concentrador se recupera e se recicla o cumeno, que é misturado com o hidrogênio na operação de hidrogenação, antes desta mistura seguir para o reator de oxidação. O produto principal do concentrador é misturado com ácido sulfúrico, produzindo uma reação exotérmica, antes de seguir para um separador, onde se recupera e se recicla o ácido. Ele segue para uma coluna de acetona, onde vapor a 121 °C possibilita a separação de acetona e alguns resíduos leves. O próximo equipamento na sequência do processo é uma coluna a vácuo, que permite a recuperação e reciclagem de cumeno (que é direcionado para o tanque de hidrogenação); o aquecimento da coluna é feito com vapor a 121°C. O último equipamento utilizado no processo é a coluna de fenol, onde se obtém este produto com a pureza desejada, além de alguns subprodutos; a temperatura do vapor de aquecimento também é 121°C.

A maior parte da energia elétrica é consumida na estação de compressão do ar, antes deste ser inserido no reator de oxidação (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.2.5 *Produção de acrilonitrila*

Majoritariamente, a obtenção de acrilonitrila se dá através da reação de amoxidação do propileno, reação que emprega amônia e propileno em altas temperaturas e baixa pressão. O processo mais largamente empregado anteriormente envolvia a reação de acetileno e ácido cianídrico, e o surgimento do processo de amoxidação do propileno foi considerado um “divisor de águas” na produção de acrilonitrila (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo de amoxidação do propileno envolve a passagem de uma corrente de propileno, amônia anidra, ar e vapor em um reator de leito fluidizado, na presença de um catalisador. Neste reator, as

condições observadas são de altas temperaturas (entre 399 e 510°C) e baixas pressões (1 a 2 atmosferas). Devido ao fato da reação ser exotérmica, há a necessidade do resfriamento do reator, o que é realizado com a passagem de uma corrente de água, que aproveita este conteúdo térmico para a geração de vapor a alta pressão. O efluente do reator é neutralizado para remoção de amônia não reagida e conduzido a uma coluna de destilação azeotrópica ou extrativa, aquecida por vapor, para separação da acrilonitrila e os subprodutos gerados na reação (acetonitrila e ácido cianídrico). A reação de amoxidação do propileno também é a principal rota de obtenção destes dois compostos, que são importantes intermediários químicos para outros processos. O rendimento obtido em acrilonitrila é de aproximadamente 70%.

Dentro da cadeia de derivados do propileno, a produção de acrilonitrila é uma daquelas com menor consumo específico de energia. Prepondera o consumo de energia térmica, na forma de vapor de processo. Entretanto, ao considerar-se o conteúdo energético armazenado na acrilonitrila (na forma de matéria-prima), trata-se de um composto intensivo em energia.

A Monsanto Corporation desenvolveu uma técnica que permite reduzir a demanda de vapor em cerca de três toneladas por tonelada de acrilonitrila produzida (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.2.6 Produção de fibras acrílicas

A produção de poli(acrilonitrila) é uma importante aplicação da acrilonitrila. A rota de obtenção deste composto envolve a polimerização de uma solução fraca de acrilonitrila (5 a 6%), na presença de um iniciador e ácido sulfúrico, cuja função é reduzir o pH para 3. A reação de polimerização é exotérmica e a remoção de calor se faz necessária através de resfriamento, o que mantém a temperatura do meio reacional entre 38 e 49°C. A reação é finalizada com a sedimentação do polímero, que é, então, separado e seco (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

As fibras acrílicas normalmente contém 85% de poli(acrilonitrila). O restante da composição inclui compostos como metacrilato de metila, acrilato de metila, acetato de vinila e cloreto de vinila. Diferente do que ocorre com os poliésteres, o poli(acrilato) não pode ser fundido porque as fibras degradam abaixo do ponto de fusão. Ao invés disto, dissolve-se o polímero em um solvente fortemente polar, tal como a formamida de dimetila, ou acetamida de dimetila. A fabricação de fibras pode-se dar, em uma mesma linha de produção, a partir de um processo seco ou úmido. No processo seco, a solução é forçada através de forjadores de fibras, processo durante o qual ocorre a evaporação do solvente. No processo úmido, as fibras oriundas das forjadoras são coaguladas em uma solução, puxadas através de uma polia e lavadas para remoção do solvente. As fibras são tensionadas a altas temperaturas de forma a aumentar seu comprimento em até oito vezes em relação ao seu comprimento original. A operação final, independente do processo, seco ou úmido, é a secagem das fibras (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O consumo de energia térmica é dominante no processo, na forma de aquecimento direto nos secadores (maior consumo) e no reator de polimerização e de água quente, empregada na câmara de aquecimento que precede o secador no processo seco, e no lavador que antecede o secador das fibras no processo úmido. A demanda de eletricidade se dá nas centrífugas, lavadores, secadores e moendas do polímero, no tanque de dissolução do polímero no solvente, nos forjadores de fibras (spinneret) - no caso do processo seco - e nas tensionadoras e lavadoras de fios, no caso do processo úmido (Brown, Hamel and Hedman, 1985).

1.6.3 Cadeia de produção de derivados do BTX (benzeno – tolueno – xilenos)

Benzeno, tolueno e xileno (BTX) fazem parte da família dos hidrocarbonetos aromáticos, que possuem estruturas químicas cíclicas. A cadeia de derivados de BTX inclui os produtos originados pela sua transformação que encontram aplicação na obtenção de polímeros, solventes, tintas e produtos farmacêuticos, entre outros.

O mais importante derivado do benzeno, por exemplo, é o etilbenzeno, intermediário utilizado na produção de estireno, monômero do poliestireno. Os processos de fabricação destes três últimos derivados já foram resumidos na seção 1.6.1, já que também se trata de derivados do etileno.

Um outro importante derivado do benzeno é o cumeno, utilizado na produção de fenol e acetona. Como estes dois últimos produtos também são derivados do propileno, seu processo de produção já foi apresentado na seção 1.6.2.

O tolueno tem como principais aplicações: (1) a produção de benzeno; (2) a produção de p-xilenos; (3) a produção de TDI (tolueno diisocianato), um importante monômero para a produção de poliuretanos; e (4) a produção de explosivos, tais como o TNT (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007).

Os isômeros mais empregados do xileno são o orto-xileno (o-xileno) e o para-xileno (p-xileno). Há, também, os xilenos mistos (m-xilenos). O p-xileno é utilizado principalmente na produção de ácido tereftálico, importante intermediário na produção de fibras e resinas de poliéster (o tereftato de polietileno – PET, cujo processo de produção é descrito na seção 1.6.1.8, é uma destas resinas). O o-xileno, por sua vez, é empregado principalmente na produção de anidrido ftálico, que, por seu turno, é utilizado na produção de plastificantes e produtos farmacêuticos, entre outros produtos químicos.

A Tabela 17 apresenta a produção e capacidade instalada, em 2006, da cadeia dos produtos químicos derivados do benzeno, tolueno e xilenos (BTX). Conforme se pode constatar nesta tabela, 14 produtos (benzeno, tolueno, ácido tereftálico, resinas fenólicas, m-xileno, p-xileno, o-xileno, anidrido ftálico, nylon-6,6, ácido adípico, ciclohexano, caprolactama, nylon-6 e anidrido maleico) responderam por 94,7% da produção física total desta cadeia em 2006. Descrevem-se, a seguir, de uma forma simplificada, os processos de produção destes produtos.

1.6.3.1 Produção de benzeno, tolueno e xilenos

O benzeno é normalmente produzido a partir da reforma catalítica da nafta. Outras fontes de obtenção deste produto petroquímico incluem a sua extração a partir da gasolina de pirólise e, também, a partir da hidrodealquilação catalítica do tolueno (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Tabela 17

Cadeia petroquímica dos derivados de BTX: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia

Produto	Produção em 2006		Capacidade instalada em 2006	
	t/ano	% do total	t/ano	% do total
Benzeno	934.215,1	37,8	922.076	29,9
Resinas fenólicas	155.989,2	6,3	430.698	14,1
Policarbonato	11.619,0	0,5	15.000	0,5
Bisfenol	24.882,0	1,0	28.000	0,9
Ciclohexano	58.252,1	2,4	98.300	3,2
Ciclohexanona	40.964,0	1,7	55.000	1,8
Caprolactama	44.906,0	1,8	62.000	2,0
Nylon-6	40.823,6*	1,6	n.d.	-
Nylon-6,6	103.596,7**	4,2	n.d.	-
Tolueno	209.752,8	8,5	296.250	9,6
Tolueno diisocianato	n.d.	-	63.000	2,0
p-xileno	129.006,3	5,2	203.000	6,6
Ácido tereftálico	206.240,0	8,3	250.000	8,1
o-xileno	105.720,7	4,3	112.000	3,6
Anidrido ftálico	103.491,0	4,2	148.600	4,8
Anidrido maleico	15.879,0	0,6	30.000	1,0
m-xileno	152.357,1	6,2	208.000	6,7
Ciclohexanol	52.799,1	2,1	73.000	2,4
Ácido adípico	82.614,2	3,3	87.000	2,8
Total	2.473.107,9	100,0	3.081.924	100,0

* Produção estimada, assumindo-se um consumo de 1,1 t de caprolactama / t de "nylon-6". Segundo a Abiquim, em 2006 toda a produção de caprolactama se destinou a produção de "nylon-6"

** Produção estimada, assumindo-se um consumo de 0,63 t de ácido adípico / t de "nylon-6,6" e que toda a produção de ácido adípico vendida internamente em 2006 (65.265,9) destinou-se à produção de "nylon 6,6"

n.d.: informação indisponível no anuário da Abiquim de 2007

Fonte: (Abiquim, 2007; Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

Durante a reforma catalítica da nafta são produzidos benzeno, tolueno e xilenos. A proporção de cada um deles depende da demanda do mercado, mas, normalmente, a produção de benzeno é priorizada.

Tipicamente, o processo de reforma da nafta se inicia com a entrada desta matéria-prima em um reator ou em sistemas de reatores em série. Hidrogênio é normalmente empregado para evitar a formação de coque durante o processo de craqueamento catalítico, que utiliza catalisadores a base de platina. Os produtos de interesse, contidos no efluente do reator, podem ser recuperados a partir de vários processos: (1) extração por solventes; (2) destilação fracionada; e (3) hidrodealkilação de tolueno. O método de separação a ser escolhido depende da proporção final de aromáticos desejada. Através da extração por solventes obtém-se uma mistura de aromáticos, enquanto que a destilação fracionada possibilita a obtenção dos aromáticos separadamente. A hidrodealkilação de tolueno é um processo que atende à maior demanda de benzeno pelo mercado. Uma composição típica do reformado (efluente do reator após o craqueamento catalítico da nafta) é apresentada na Tabela 18.

Tabela 18
Composição típica de um efluente de um reator de reforma catalítica de nafta para produção de BTX

Aromático	Rendimento (%)
Benzeno	8,5
Tolueno	26,3
Xilenos	26,1
Aromáticos - total	74,3

Fonte: (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003)

A extração por solventes normalmente emprega um líquido de alto ponto de ebulição, o que torna a separação dos aromáticos mais fácil, sendo normalmente empregados etilenoglicóis (dietileno e tetraetilenoglicol) para este fim. A corrente rica em aromáticos é conduzida a uma coluna de fracionamento, de modo que o solvente é recuperado e reciclado ao processo.

Para a produção de benzeno além do volume obtido na reforma catalítica da nafta, um dos processos empregados é a hidrodealquilação do tolueno, que é mais dispendioso do que o processo de reforma da nafta, sendo, por isso, menos utilizado. Neste processo, o tolueno é alimentado em um reator a altas temperaturas (480 a 590°C) e altas pressões (40 – 60 atmosferas), na presença de um catalizador apropriado. A reação de hidrodealquilação é fortemente exotérmica, de modo que há necessidade de resfriamento do meio reacional, o que se faz através da passagem de uma corrente fria de hidrogênio em pontos específicos do reator. Este hidrogênio é, posteriormente, reciclado, após separação do efluente do reator. O rendimento obtido em benzeno pode atingir até 95%. A corrente livre de hidrogênio é, então, fracionada para separar o benzeno dos demais produtos aromáticos. Uma das vantagens do processo de hidrodealquilação é a sua versatilidade em operar com diversas composições de matéria-prima.

Para a produção de p-xilenos com um elevado grau de pureza, existem diversos processos que utilizam correntes de entrada compostas de isômeros aromáticos de oito átomos de carbono. Entre eles, pode-se citar a isomerização catalítica. O rendimento na produção de p-xilenos varia de acordo com a corrente de alimentação.

No mundo, cerca de 75% dos xilenos mistos (m-xilenos) produzidos são empregados na fabricação de p-xilenos. Outra parte significativa é usada como solvente, recuperando-se o-xilenos para processamento químico posterior (IEA, 2007).

Os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica são bastante semelhantes no processo de reforma catalítica da nafta e no processo de hidrodealquilação do tolueno. A razão potência/calor situa-se em torno de 0,06, ou seja, o uso de energia térmica é amplamente dominante em relação ao consumo de eletricidade em ambos os processos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.3.2 Produção de ácido tereftálico (TPA)

O ácido tereftálico é um produto intermediário utilizado na fabricação de tereftalato de polietileno (PET). A principal rota de obtenção de TPA é a partir da oxidação catalítica do para-xileno; uma rota alternativa é a partir do metanol.

O primeiro processo envolve a passagem de uma corrente de para-xileno e ácido acético (usado como solvente) na presença de um catalisador à base de cobalto-manganês-cromo, obtendo-se, normalmente, TPA em grau de pureza de até 99,6% e rendimentos da ordem de 90%. O efluente do reator é conduzido

para uma operação de cristalização do ácido tereftálico e posterior evaporação do ácido acético e do para-xileno não reagido. A purificação dos cristais de TPA exige água quente para a lavagem e remoção de resíduos de catalizador e ácido acético. Uma outra operação que é utilizada no processo de purificação do TPA é a hidrogenação catalítica das impurezas (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A grosso modo, o processo de obtenção do TPA pode ser dividido em três grandes seções: oxidação, hidrogenação e recuperação do catalisador.

A reação de oxidação ocorre entre 150 e 200°C e a 6,8 – 20,4 atm em um reator do tipo CSTR¹², utilizando ácido acético como solvente. Alguns produtos tais como o ácido p-toluico, p-tolualdeído e 4-carboxibenzaldeído também são produzidos.

O processo de purificação da corrente efluente do reator de oxidação envolve a passagem da mesma através de uma série de cristalizadores do tipo “flash”. As duas correntes geradas nestes equipamentos incluem:

- Uma corrente gasosa contendo ácido acético, subprodutos e traços de ácido tereftálico. Esta é enviada para uma coluna de esgotamento, onde o ácido acético é recuperado e reciclado para o reator;
- Uma corrente com ácido tereftálico cristalizado, que é lavado com água e enviado a um reator de hidrogenação, que permite aumentar a solubilidade dos subprodutos (que foram hidrogenados). O material obtido é novamente lavado com água, cristalizado e seco.

Na seção de recuperação do catalizador, destaca-se a incineração dos resíduos da destilação.

A compressão do ar de alimentação do reator de oxidação é responsável por 84% da demanda total de energia elétrica e 6,2% da demanda total de energia térmica do processo. A maior demanda de calor ocorre na seção de hidrogenação (82,8% da demanda térmica total); a demanda local de eletricidade é só de 8,8% do total. A seção de recuperação do catalisador responde pelos restantes 11% da demanda térmica (10,4% na incineração dos resíduos da destilação) e 7,2% da demanda elétrica (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Segundo dados do Office of Industrial Technologies, do DOE, compilados por Tolmasquim, Szklo e Soares, cerca de 1000 BTU/lbm podem ser economizados no consumo de energia térmica através de medidas de integração energética dos diversos fluxos deste processo.

1.6.3.3 *Produção de ciclohexano, caprolactama, ácido adípico e “nylons”*

A produção destes derivados da cadeia do BTX é aqui abordada conjuntamente, uma vez que a sequência ciclohexano-caprolactama-ácido adípico-nylons é parte de uma rota de obtenção de fibras sintéticas, na qual cada um destes produtos é matéria-prima para a produção do derivado subsequente (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O ciclohexano é obtido através da hidrogenação catalítica do benzeno e é um produto intermediário para a fabricação de ácido adípico e caprolactama. O processo de produção do ciclohexano se inicia com a mistura de benzeno, hidrogênio e vapor de água (254°C) em um pré-aquecedor, cujo efluente alimenta o reator de hidrogenação, junto com hidrogênio reciclado mais adiante no processo. A reação é fortemente exotérmica, o que permite a geração de vapor a 191°C, com a água de refrigeração do reator. O efluente do reator precisa ser refrigerado a seguir, antes de entrar em um tanque onde ocorre a recuperação e reciclagem do hidrogênio e o desprendimento de gases residuais. A última operação unitária ocorre em um tanque de estabilização, aquecido por vapor a 254°C. Por conta da produção de vapor no reator de hidrogenação, este processo não chega a ser energo-intensivo. A energia térmica empregada é toda na forma de vapor de processo. A demanda de eletricidade se concentra na central de refrigeração e no tanque de recuperação do hidrogênio (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

¹² Sigla para “continuous stirred tank reactor”, ou reator com agitação em regime de alimentação contínua.

O ácido adípico é obtido a partir da oxidação do ciclohexano, que gera uma mistura chamada álcool cetônico, constituída de ciclohexanona e ciclohexanol. Esta mistura é, então, oxidada cataliticamente com ácido nítrico, gerando ácido adípico, o qual é purificado a partir de dois estágios de cristalização / centrifugação e lavagem com água. Trata-se, aqui, de um processo energo-intensivo, no qual a relação potência – calor situa-se em torno de 0,11 (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O ácido adípico é um produto intermediário para a fabricação do “nylon-6,6”, através da reação com hexametilenodiamina (HMDA). O produto resultante desta reação é um sal que é lavado com metanol e conduzido a um reator de batelada sob aquecimento e pressão, onde se dá a polimerização, obtendo-se o “nylon-6,6”. Apesar de outras rotas de obtenção de “nylon-6,6” serem possíveis, a rota através de HMDA é a mais comumente empregada. É uma rota energo-intensiva, com uma relação potência calor da ordem de 0,24. A demanda de energia térmica é toda na forma de vapor de processo, nas autoclaves (316°C), no evaporador (316°C), no tanque de fusão (316°C) e no forjador de fibras (spinneret) (316°C). O consumo de energia elétrica se dá nas autoclaves, no tanque de flasheamento e fundição, na cortadora, no tanque de fusão, no forjador de fibras, no resfriamento com ar, na operação de conformação dos fios e no seu enrolamento (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A caprolactama é a matéria-prima requerida para a produção de “nylon-6” (poliamida-6). As rotas de produção de caprolactama são bastante variadas, envolvendo uma grande diversidade de processos e matérias-primas possíveis, tais como butadieno, tolueno e fenol, mas o processo mais comum envolve a oxidação do ciclohexano, com o emprego de ar, gerando ciclohexanona, parte da qual é usada como solvente para tintas. Uma das vantagens deste processo é que, quando utilizado ácido sulfúrico ou ácido fosfórico, este pode ser tratado com amônia, gerando um subproduto aplicado como fertilizante.

A obtenção da caprolactama a partir do ciclohexano envolve as seguintes transformações químicas:



O ciclohexano, previamente tratado para remoção de água, é oxidado em uma série de reatores, sendo que parte do calor da oxidação é aproveitado para pré-aquecer o ar. O restante do calor gerado pela reação exotérmica é removido através de jaquetas de resfriamento, sendo aproveitado para a geração de vapor. O produto resultante da oxidação é um líquido que é passado através de uma coluna de decomposição, onde é adicionado hidróxido de sódio (NaOH), convertendo-se hidroperóxido de ciclohexila em ciclohexanol e ciclohexanona. Esta corrente é encaminhada para uma coluna de destilação para remoção do ciclohexano; o produto remanescente é saponificado com soda cáustica e destinado a lavadores e desidratadores, sendo, posteriormente, conduzido a duas colunas de destilação em série para obtenção de ciclohexanona. Esta última é oximada através de uma reação com o hidroxilamônio-sulfato de amônio (HAAS). Este composto é produzido a partir da hidrogenação do óxido nítrico, na presença de bissulfato de amônio. O processo de hidrogenação envolve o uso de dois trocadores de calor para resfriamento da corrente de saída do reator, que possibilitam a geração de vapor para o processo.

A oxima de ciclohexanona então segue para um reator, onde é misturada com ciclohexano, caprolactama e oleum (ácido sulfúrico líquido); lá ocorre um rearranjo molecular conhecido como rearranjo de Beckmann. A corrente de saída deste reator é, então, neutralizada, sendo enviada para um decantador, onde a fase solvente (rica em caprolactama) é enviada para uma coluna de destilação, obtendo-se o produto de interesse. A seção de recuperação de sulfato de amônio compreende um cristalizador, onde a maior parte da água é evaporada e parte deste sal é cristalizada. A lama resultante é conduzida a centrifugas e seca com ar.

Apesar da oxidação do ciclohexano e da hidrogenação do óxido nítrico com a geração de vapor, o processo de fabricação de caprolactama é ainda bastante intensivo em energia térmica, cuja maior demanda é na reação de oxidação (72% da demanda total de calor), vindo, em seguida, a operação de

recuperação de amônia, a reação de oximação e o rearranjo de Beckmann, nesta sequência. Combustível também é consumido na incineração de rejeitos do reator de oxidação. A demanda de eletricidade é bem menor do que a de energia térmica (relação potência / calor em torno de 0,07) e se concentra no rearranjo de Beckmann, na oxidação do ciclohexano e na hidrogenação do óxido nítrico. É possível reduzir o consumo energético total do processo em 12,4% (redução de 13,8% no consumo de energia térmica a aumento de 7,2% no consumo de energia elétrica), através de medidas de integração energética dos seus vários fluxos térmicos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A produção de “nylon-6” é realizada a partir da polimerização catalítica da caprolactama na presença de água e com aquecimento, sendo o processo conduzido em regime contínuo. O “nylon-6” encontra aplicação como fibra na confecção de carpetes sintéticos e produtos têxteis, entre outros. O processo de produção de fibras de “nylon-6” é similar ao da produção de fibras de “nylon-6,6”, mas suas demandas tanto de energia térmica como elétrica são menores; a relação potência – calor é 0,15. 91,5% da energia térmica total requerida são utilizadas na forma de vapor, em dois níveis de temperatura: 288°C, no reator de polimerização, no tanque de fusão do nylon e no forjador de fibras (spinneret), e 121°C, no tanque de fusão da caprolactama, no tanque de mistura, no concentrador e na torre de destilação. Os restantes 8,5% correspondem ao aquecimento de nitrogênio, que é utilizado como fluido térmico na secagem do nylon. Eletricidade é consumida nos seguintes equipamentos: tanque de fusão da caprolactama, misturador, reator de polimerização, extrusor, cortador, extrator, tanque de fusão do nylon, forjador de fibras, resfriador, conformador dos fios de nylon e bobinador (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.3.4 Produção de anidrido maleico

A principal aplicação do anidrido maleico é na produção de resinas de poliéster insaturadas, que encontram uma variedade de aplicações, desde carrocerias de automóveis até utilitários para banheiros.

A obtenção do anidrido maleico pode ser através da oxidação de benzeno ou através da oxidação de compostos de quatro carbonos, especialmente butano e buteno. Outra fonte de obtenção deste composto é como subproduto da produção de anidrido ftálico; esta rota, no entanto, é pouco significativa (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo mais antigo utilizado para produção de anidrido maleico baseia-se na oxidação parcial de benzeno, rota química que demanda o uso de reatores com grande necessidade de resfriamento do meio reacional, uma vez que a reação é altamente exotérmica. O efluente do reator, contendo entre 50 e 60% de anidrido maleico, passa por vários trocadores de calor e é destilado azeotropicamente com xileno, para aumentar o grau de concentração do anidrido maleico. Apesar da alta seletividade na produção de anidrido, esta rota apresenta o inconveniente de lidar com um material nocivo à saúde humana, além dos seus altos preços no mercado.

Por conta destes problemas, a Monsanto desenvolveu uma nova rota de obtenção de anidrido maleico, com condições bastante similares àquelas empregadas na rota tradicional, a partir da oxidação do n-butano, uma matéria-prima de menor preço. Este processo pode ser dividido em duas etapas: a reação química e a separação do produto de interesse na corrente efluente do reator.

As matérias-primas utilizadas (n-butano e ar) são comprimidas e introduzidas em reatores de leito fixo, onde sofrem oxidação com o auxílio de um catalisador à base de óxido de fósforo e vanádio. A reação é exotérmica e a corrente de resfriamento do reator produz vapor de alta pressão, que é, posteriormente, resfriada em trocadores de calor, produzindo vapor de média pressão.

A separação do anidrido maleico dos subprodutos presentes na corrente efluente do reator ocorre através da separação de fases, sendo a fase gasosa conduzida a um absorvedor em contracorrente a um

fluxo de solvente orgânico. A corrente de saída deste absorvedor, composta por gases, é conduzida ao incinerador, que é o equipamento responsável por grande parcela da demanda energética do processo de produção do anidrido maleico. A corrente líquida de saída do absorvedor, contendo anidrido maleico e solvente, é, então, conduzida a uma coluna de esgotamento, de cujo topo sai uma corrente composta de anidrido maleico e algumas impurezas. Essa corrente é conduzida, finalmente, a duas colunas de destilação em série, para a obtenção de anidrido maleico purificado. Há excedentes de vapor no processo.

Medidas de integração energética na planta química permitiriam reduzir a demanda de calor em 68,5%, aumentando ainda mais os excedentes de vapor disponíveis para outros processos.

1.6.3.5 Produção de resinas fenólicas e anidrido ftálico

As resinas fenólicas, segundo a Abiquim (2007), são utilizadas, majoritariamente, na produção de colas e adesivos, na indústria madeireira e em fundições, enquanto que o anidrido ftálico encontra suas principais aplicações nos plastificantes, resinas sintéticas e poliéster saturado.

Não foram encontradas na literatura técnica consultada, descrições sobre o processo de fabricação destes dois produtos químicos. Encontrou-se, no entanto, os consumos específicos de energia térmica associados às melhores tecnologias de fabricação hoje empregadas no mundo. O consumo de energia térmica na produção das resinas fenólicas é todo na forma de vapor de processo, enquanto que o único uso final desta energia na produção de anidrido ftálico é no aquecimento direto (IEA, 2007).

1.6.4 Cadeia de produção de intermediários para fertilizantes

A cadeia produtiva dos fertilizantes está ilustrada na Figura 3. O gás natural, resíduos pesados do petróleo, nafta, enxofre natural, piritas, rochas fosfáticas “in situ” e rochas potássicas são as matérias-primas primárias desta cadeia, a partir das quais se obtém as matérias-primas secundárias, que são amônia, enxofre processado e rochas fosfáticas processadas. Estes, por seu turno, possibilitam a produção dos seguintes produtos intermediários: ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido fosfórico. Finalmente, tem-se os fertilizantes básicos, que incluem, entre outros, a uréia, o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, o fosfato de amônio e os superfosfatos. Estes fertilizantes são, então, granulados e misturados para se obter a composição NPK desejada, antes de serem distribuídos e comercializados.

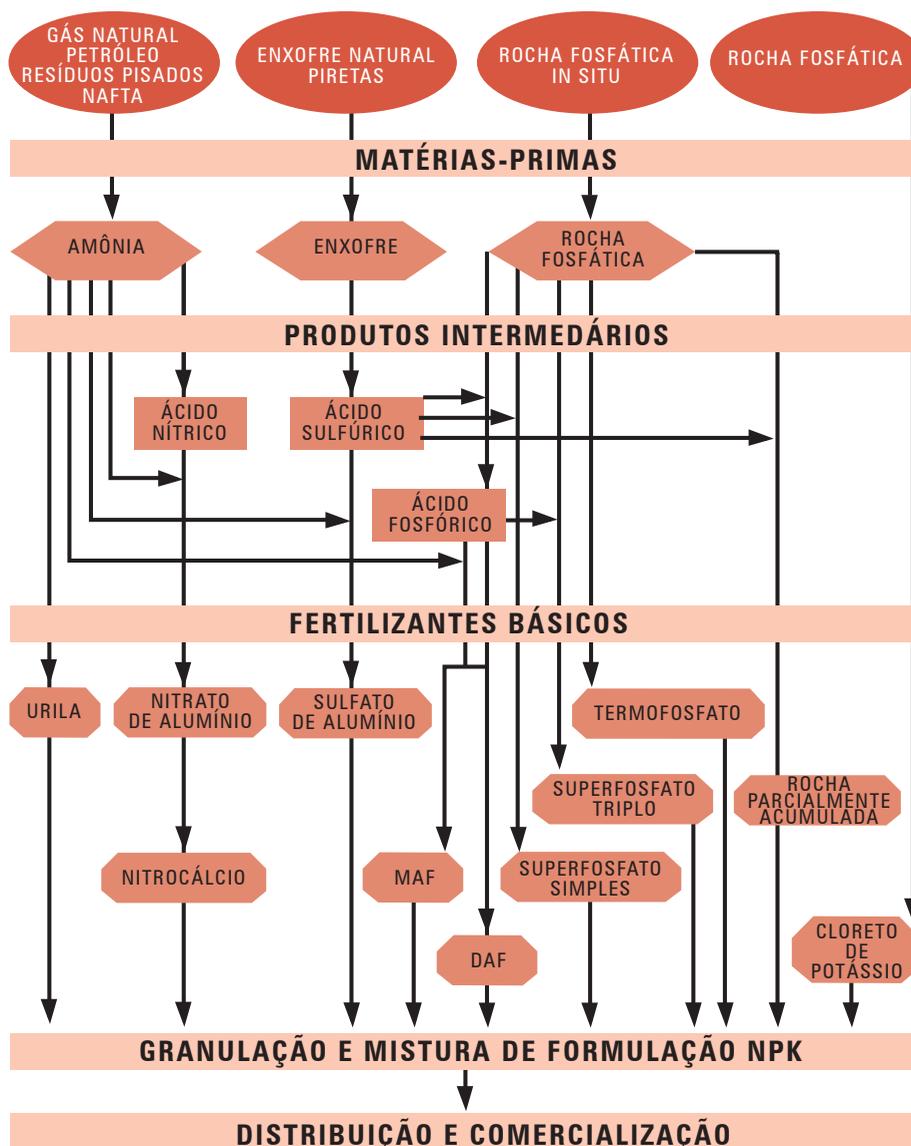


Figura 3
A cadeia produtiva dos fertilizantes

A Tabela 19 apresenta a produção e capacidade instalada em 2006 da cadeia dos principais produtos intermediários para fertilizantes, que inclui alguns produtos indicados como fertilizantes básicos na Figura 3. A importância destes compostos químicos é a obtenção de fertilizantes, cuja aplicação na agricultura permite a renovação de nutrientes indispensáveis. Observe-se, na Tabela 19, a posição dominante da produção de ácido sulfúrico, seguida, bem atrás, pelo bloco formado pela produção de uréia, amônia, ácido fosfórico e fosfato de amônio, nesta sequência. Descrevem-se, a seguir, de uma forma simplificada, os processos de produção de todos os produtos químicos da Tabela 19, mais o dos superfosfatos.

Tabela 19

Cadeia produtiva dos intermediários para fertilizantes: produção e capacidade instalada em 2006, em t/ano e em % do total da cadeia

Produto	Produção em 2006		Capacidade instalada em 2006	
	t/ano	% do total	t/ano	% do total
Amônia	1.347.747,6	10,7	1.549.660	10,9
Ácido nítrico	601.617,5	4,8	630.300	4,4
Nitrato de amônio	470.544,0	3,7	559.002	3,9
Uréia	1.419.188,0	11,3	1.719.000	12,1
Sulfato de amônio	236.480,0	1,9	305.850	2,2
Ácido sulfúrico	6.114.363,4	48,5	6.621.670	46,8
Ácido sulfúrico fumegante	85.443,0	0,7	143.000	1,0
Ácido fosfórico	1.207.086,0	9,6	1.285.000	9,1
Fosfato de amônio	1.103.225,0	8,8	1.360.300	9,6
Total	12.585.694,5	100,0	14.173.782	100,0

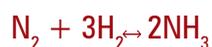
Fonte: (ABIQUIM, 2007; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003)

1.6.4.1 Produção de amônia

A amônia é a fonte de quase toda a produção de fertilizantes nitrogenados sintéticos no mundo (IEA, 2007).

Cerca de 60,2% da produção brasileira de amônia destinou-se à fabricação de fertilizantes em 2006; o resto foi para processos químicos, ou como intermediário químico (Abiquim, 2007).

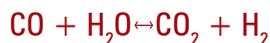
O principal processo de produção empregado para a sua obtenção é o processo Haber, que utiliza hidrogênio e nitrogênio como matérias-primas, na presença de um catalisador à base de ferro, segundo a reação:



O suprimento do nitrogênio necessário ocorre a partir do ar, enquanto que o hidrogênio por ser suprido por diversos processos, como, por exemplo, a partir da reforma a vapor do gás natural. Ele também pode ser obtido a partir do processamento de derivados carboquímicos, ou, ainda, a partir de eletrólise, em plantas de produção de cloro.

No processo de obtenção de amônia a partir de gás de síntese, uma corrente de gás natural, ou de algum resíduo dessulfurizado de hidrocarboneto, é enviada a um reformador primário de vapor, que opera entre 700 e 815°C e contém um catalisador à base de níquel. Esta operação permite converter a maior parte da matéria-prima em hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono. A corrente de saída do reformador

primário é misturada com ar e conduzida a um reformador secundário operando entre 900 e 925°C. O conteúdo térmico do efluente deste segundo reformador é recuperado através de uma caldeira de recuperação, que permite gerar vapor superaquecido. O monóxido de carbono ainda presente na corrente efluente é removido através da conversão catalítica do monóxido em dióxido de carbono, gerando, também, hidrogênio adicional para produção de amônia, conforme a reação indicada a seguir:



O dióxido de carbono¹³ é removido através de torres de absorção (empregando carbonato de potássio ou dietanolamina de metila) e o gás efluente, depois de purificado, é comprimido e enviado para um reator de conversão de amônia, na presença de um catalisador à base de óxido de ferro. O efluente do reator é, então, refrigerado para a condensação da amônia, obtida na forma anidra (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

De 50 a 60% do consumo de gás natural neste processo é na forma de matéria-prima; o restante é consumido como combustível no reformador primário e no pré-aquecimento do metano. É gerado vapor a 315,6°C na caldeira de recuperação e a 204,4°C no conversor de amônia. Eletricidade é consumida na coluna de absorção de CO₂, nos compressores de ar e de metano, no conversor de amônia e no resfriador da amônia. O consumo energético específico é maior quando se utiliza resíduos de hidrocarbonetos, ao invés de gás natural (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007).

O uso de membranas de paládio na separação do hidrogênio pode reduzir o consumo específico de energia em 2 GJ/t de NH₃. O CO₂ é, em geral, separado do H₂ usando algum processo de absorção por solventes; a utilização de novos solventes pode ocasionar economias de até 1,4 GJ/t de NH₃ (IEA, 2007).

O gás natural responde por 70 a 90% do custo da amônia (IEA, 2007).

1.6.4.2 Produção de uréia

A principal destinação da amônia é a produção de uréia, que pode ser aplicada diretamente sobre o solo, como suplemento de alimentação animal, ou, ainda, na produção de plásticos. No Brasil, em 2006, 69,3% da uréia produzida foi utilizada como fertilizante (ABIQUIM, 2007).

A uréia pode ser produzida na forma líquida, ou sólida. No processo de produção, amônia e dióxido de carbono reagem a altas pressões (entre 140 e 250 atmosferas) e temperaturas moderadas (entre 175 e 200°C). Uma composição típica do efluente do reator é 45% de uréia, 8% de carbonato de amônio, 10% de água e 47% de amônia, sendo esta última separada através de destilação. A solução sofre remoção de água até que a sua concentração atinja entre 70 e 77% de uréia. Para a obtenção de um produto mais concentrado, pode-se lançar mão, ainda, de operações tais como a concentração a vácuo, cristalização, ou evaporação atmosférica. A concentração desta suspensão gera um efluente de uréia “fundida”, que pode, então, ser utilizado para a produção de uréia na forma sólida.

Quando se deseja um produto final sólido, é necessária a adição de componentes para reduzir o empedramento do pó, bem como para evitar a formação de material particulado em suspensão durante o seu armazenamento e manuseio (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A demanda de energia térmica na produção de uréia é relativamente pequena e concentrada na produção de vapor, que é empregado na reação de síntese da uréia. O uso de eletricidade é menor ainda e ocorre nas operações de centrifugação e separação do produto sólido.

¹³ O dióxido de carbono assim produzido pode ser destinado à produção de uréia ou para a indústria de bebidas. Uma tonelada de uréia requer 0,88 toneladas de CO₂ (IEA, 2007).

1.6.4.3 *Produção de ácido nítrico*

O ácido nítrico é produzido a partir da oxidação catalítica da amônia, sob condições de alta pressão e temperatura.

Apesar de serem observadas variações no processo de produção do ácido nítrico, este processo pode ser dividido em três etapas básicas (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Inicialmente, a amônia sofre uma oxidação catalítica na presença de um catalisador à base de platina, obtendo-se rendimentos da reação entre 93 e 98% e com uma grande liberação de calor, que é aproveitado para a geração de vapor, através da passagem da corrente efluente do reator por um recuperador de calor. Este equipamento também é aproveitado para pré-aquecimento do ar utilizado na oxidação da amônia. Após passar por este trocador de calor, esta corrente é resfriada até 38°C em um condensador que opera a pressões em torno de 7,9 atmosferas. A reação que ocorre neste equipamento é a oxidação do óxido nítrico (NO) com o oxigênio residual presente na corrente, para formar dióxido de nitrogênio (NO_2) e tetróxido de nitrogênio. O efluente assim obtido é conduzido a uma torre de absorção, onde o dióxido de nitrogênio reage exotermicamente com a água, formando ácido nítrico diluído, com uma concentração entre 55 e 65%; o ácido é retirado como corrente de fundo na coluna de absorção. O ácido nítrico concentrado é obtido através de uma destilação extrativa do ácido diluído, na presença de um agente desidratante, que é usualmente o ácido sulfúrico. O ácido nítrico concentrado é retirado como produto de topo na coluna de destilação, na forma de vapor, com uma pureza de aproximadamente 99%.

Em virtude da grande produção de calor na oxidação da amônia e na reação do dióxido de nitrogênio com a água, na coluna de absorção, o processo como um todo é exportador líquido de energia (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). A participação da demanda de eletricidade no consumo energético total é bastante reduzida; a sua utilização concentra-se no acionamento de bombas e compressores de ar.

1.6.4.4 *Produção de nitrato de amônio e sulfato de amônio*

Nitrato de amônio e sulfato de amônio são sais que podem ser obtidos a partir da neutralização do ácido nítrico e do ácido sulfúrico, respectivamente, com amônia (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). O sulfato de amônio também pode ser obtido como subproduto de outros processos produtivos, tais como a produção de caprolactama, ou a produção de coque.

No Brasil, em 2006, 70,7% do nitrato de amônio produzido se destinou à fabricação de fertilizantes; o restante foi utilizado em processos químicos, em geral. No caso do sulfato de amônio, a sua destinação para a fabricação de fertilizantes em 2006 foi ainda maior – 98,8% (AQUIQUIM, 2007).

Dependendo do uso final do nitrato de amônio, a sua apresentação pode ser na forma líquida, ou sólida (granulado, cristais, ou grânulos). No seu processo de produção, o ácido nítrico é neutralizado com a amônia em um reator de aço inoxidável. A reação é exotérmica e gera calor suficiente para promover a ebulição da mistura; tem-se, como resultado, a concentração da solução até, aproximadamente, 85% em nitrato de amônio. Caso o produto desejado seja uma solução aquosa de nitrato de amônio, o processo é interrompido neste ponto. Havendo interesse em dispor de um produto mais concentrado, esta solução é passada por um evaporador a vácuo, ou um concentrador, obtendo-se um líquido denso, com uma concentração entre 95 e 99,8% de nitrato. Para obter um produto sólido seco, este concentrado é enviado a torres de secagem ou equipamentos rotativos, para granulação.

O processo de produção de sulfato de amônio envolve a reação exotérmica entre ácido sulfúrico e amônia anidra. A reação ocorre em um reator tubular resfriado. Cristais são formados através da circulação, por um evaporador, da solução formada. A separação é realizada em uma centrífuga.

A produção de sulfato de amônio requer bem mais energia, tanto térmica como elétrica, do que a produção de nitrato de amônio. Em ambos os casos, a demanda de energia térmica é na forma de vapor para aquecimento, enquanto que a demanda de eletricidade se concentra na operações de centrifugação e separação dos produtos sólidos (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.4.5 Produção de ácido sulfúrico

A produção brasileira de ácido sulfúrico em 2006 destinou-se, principalmente, para o segmento de fertilizantes – 78,1%. Outros usos de composto incluem as suas utilizações em processos químicos e no tratamento de metais e metalurgia, que responderam juntos por 13,6% da destinação do ácido sulfúrico produzido em 2006. Há, ainda, o ácido sulfúrico fumegante, 71,1% do qual foi destinado, em 2006, à produção de defensivos agrícolas e o restante à sua utilização em processos químicos (ABIQUIM, 2007).

A principal rota de obtenção do ácido sulfúrico é através do processo de oxidação, envolvendo a queima de enxofre elementar com ar seco ou a queima da pirita. As fontes de enxofre elementar incluem a extração de pedras de enxofre, a oxidação do ácido sulfídrico (processo Klaus), ou a partir de gases oriundos de algumas unidades presentes em refinarias de petróleo (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

O processo típico de produção se inicia com a combustão do enxofre fundido com ar seco a altas temperaturas (maiores que 980°C), produzindo dióxido de enxofre (SO₂). A corrente efluente deste reator é resfriada através da passagem por uma caldeira de recuperação, produzindo-se vapor de alta pressão, que, usualmente, é empregado para a geração da eletricidade requerida no processo. O efluente resfriado é conduzido a reatores de oxidação em série contendo catalisadores a base de vanádio, formando trióxido de enxofre (SO₃). Este composto segue para um processo de absorção em dois estágios, cujo resultado é o ácido sulfúrico com um teor maior que 98% (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Pode-se obter um produto mais concentrado ainda, o ácido sulfúrico fumegante, conhecido também como “oleum”, misturando-se vapores de trióxido de enxofre com o ácido sulfúrico; o primeiro destes compostos, ao reagir com água, produz mais ácido sulfúrico.

Como as reações de formação de SO₂ e SO₃ são altamente exotérmicas, o processo de produção de ácido sulfúrico como um todo é um exportador líquido de energia, que é utilizada para fins de geração de vapor e de eletricidade (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). Vapor a 149°C é utilizado na fusão do enxofre e no compressor de ar; eletricidade é consumida durante a fusão do enxofre, durante a sua combustão, na caldeira de recuperação, no filtro de SO₂ e N₂, nos conversores de SO₂ em SO₃, no secador de ar e no resfriador do ácido sulfúrico (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.4.6 Produção de ácido fosfórico

Em 2006, 91% do ácido fosfórico produzido no Brasil foi destinado para a fabricação de fertilizantes, 8,3% para alimentação animal e 0,7% para processos químicos (ABIQUIM, 2007).

A produção de ácido fosfórico pode se dar através de dois processos principais, cuja escolha depende do grau de pureza desejado e necessário para cada uso. O processo úmido é utilizado para a produção de ácido fosfórico com um grau de pureza adequado para a fabricação de fertilizantes. A partir do outro processo, conhecido como método da oxidação, obtém-se ácido fosfórico com elevado grau de pureza, para a fabricação de derivados químicos especiais, produtos farmacêuticos, detergentes, produtos alimentícios e bebidas.

O processo úmido emprega a reação de rochas fosfatadas, previamente secas e moídas, com ácido sulfúrico, em reatores aquecidos a 80°C por períodos entre 4 e 8 horas. Esta reação forma sulfato de cálcio e ácido fosfórico. Com o objetivo de minimizar os custos devido à evaporação e maximizar a produção de ácido

fosfórico, utiliza-se ácido sulfúrico com uma concentração em torno de 93%. Após a formação dos cristais de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), o material oriundo do reator é filtrado, o que permite separá-los do ácido fosfórico. Esta solução é, ainda, concentrada entre 40 e 55% de ácido fosfórico através de evaporação a vácuo. Gases oriundos da digestão das rochas fosfatadas passam por uma torre de absorção, onde, após reagirem com água, formam um importante subproduto deste processo, que é o ácido fluossilícico (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003). A energia térmica utilizada no processo corresponde ao vapor demandado na coluna de evaporação, a 121°C. Energia elétrica é consumida na moagem das rochas, no reator de digestão e no filtro (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O processo de oxidação inicia com a sinterização de rochas fosfáticas com coque e ar. O produto resultante é moído e misturado com sílica e mais coque, desta vez atuando como matéria-prima. Esta mistura constitui a carga de um forno elétrico, onde se formam gases e escória, através de uma reação exotérmica. A poeira contida nos gases é eliminada em um separador, antes dos gases seguirem para uma câmara de combustão, onde são queimados gerando pentóxido de fósforo, P_2O_5 , que é hidratado e precipitado posteriormente, para a obtenção de ácido fosfórico concentrado (Brown, Hamel and Hedman, 1985; Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003). Este processo só requer energia térmica na forma de aquecimento direto. As operações de moagem das rochas fosfáticas, mistura destas rochas com sílica e coque, formação dos gases no forno elétrico e precipitação do ácido fosfórico demandam energia elétrica. Este processo requer bem mais energia térmica e elétrica do que o processo úmido (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.4.7 Produção de fosfato de amônio

O fosfato de amônio é um dos fertilizantes fosfatados mais largamente usados, podendo ser obtido tanto na fase líquida como na sólida. A sua rota de obtenção envolve a neutralização de uma mistura de ácido sulfúrico a 93% e ácido fosfórico pela passagem de amônia líquida ou gasosa, gerando uma espécie de “lama”, contendo fosfato de amônio em um teor aproximado de 22%. Esta lama é conduzida a um tambor rotativo para a granulação do produto, que, em seguida, é seco e selecionado, segundo sua granulometria, através de peneiras. Os grãos de maior porte, separados pelas peneiras, passam por um moedor. O vapor de amônia misturado com ácido fosfórico passa por um lavador de gases, que separa e recicla o ácido fosfórico na entrada do reator. A demanda predominante de energia neste processo é na forma de energia térmica, como aquecimento direto, principalmente na operação de secagem do produto, sendo a razão potência / calor da ordem de 0,34. Eletricidade é demandada no tambor rotativo de granulação do produto, nas peneiras e no moedor (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.4.8 Produção de superfosfatos

Os superfosfatos simples são produzidos a partir da reação entre rochas fosfáticas e ácido sulfúrico, usualmente com teores entre 65 e 75%. O produto normalmente passa por um processo de “cura”, podendo ser utilizado como aditivo a fertilizantes granulados, ou, ainda, ser granulado em um tambor de secagem rotativo. Os fertilizantes conhecidos como superfosfatos triplos são obtidos a partir da reação de rochas fosfáticas com ácido fosfórico diluído. O processo utilizado para sua produção normalmente é o processo de granulação Dorr-Olver. Nele, uma corrente lateral é continuamente retirada do reator e destinada à secagem em tambores rotativos. O material reciclável deste processo, na forma de material particulado de baixa granulometria, é reciclado para o reator (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

Não se trata de um processo energo-intensivo e as demandas de energia térmica (na forma de aquecimento direto) e eletricidade são próximas (razão potência/calor média de 0,971). As demandas

de energia elétrica ocorrem na mistura dos reagentes antes de sua entrada no reator, nos moedores, nos misturadores com fertilizantes granulados e nas peneiras (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A produção brasileira de superfosfatos em 2006 foi de 4.921.000 toneladas, incluindo tanto os superfosfatos simples como os triplos (ANDA, 2008).

1.6.5 Cadeia de produção de cloro-álcalis

A soda cáustica (NaOH) e o cloro são obtidos simultaneamente a partir da dissociação eletrolítica do cloreto de sódio, ou cloreto de potássio. Neste processo, o cloro é produzido no ânodo e o hidróxido de sódio, juntamente com o hidrogênio, são produzidos no cátodo, partes integrantes de uma cuba eletrolítica. A reação principal do processo, quando cloreto de sódio é empregado como matéria-prima, é a seguinte:



Um cuidado especial neste processo envolve a redução do tempo de contato dos produtos depois de formados, pois, caso contrário, formam-se compostos oxigenados de cloro. Ademais, do ponto de vista de segurança do processo, é essencial que os gases hidrogênio e cloro sejam separados, uma vez que a mistura resultante pode ser altamente explosiva (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).



Os principais insumos deste segmento da indústria química no Brasil são o sal marinho, o salgema e a energia elétrica. Em 2006, foram consumidos 1,65 toneladas de sal marinho, 2,18 toneladas de salgema e 3,23 MWh por tonelada de cloro produzido (ABICLOR, 2007).

Em 2006, 36% da produção nacional de cloro se destinou à fabricação de 1,2-dicloroetano (DCE), 21% para a produção de óxido de propeno, 14% para outros produtos químicos, 13% para a produção de ácido clorídrico, 5% para a produção de hipoclorito de sódio, 4% para estações de tratamento de água, 3% para a fabricação de solventes clorados, 2% para a fabricação de papel e celulose e 2% para distribuição. Já os maiores consumidores de soda cáustica em 2006 foram a indústria química (24%), indústria de papel e celulose (22%), indústria metalúrgica (17%), distribuição (12%), fabricação de sabões e detergentes (8%), outros usos (8%), produção de alimentos (3%) e indústria têxtil (3%); cerca de 3% da produção foram exportados (Abiclor, 2007).

A soda cáustica pode ser comercializada na forma de solução líquida, na forma de escamas, ou, ainda, fundida. Dependendo da forma, tem-se um maior ou menor consumo de energia térmica, em geral na forma de vapor de processo, já que as duas últimas formas são obtidas a partir da primeira através de processos de concentração do produto. Em 2006, foram produzidas 1.325.200 toneladas de soda cáustica na forma líquida, em uma base seca, e somente 31.100 toneladas na forma de escamas; 83,4% da produção de soda na forma líquida foi vendida (80,5% no mercado interno e 2,9% no exterior) e o restante foi para uso cativo (Abiclor, 2007).

Já o cloro só é disponível na forma gasosa. Por ser um gás altamente tóxico, o transporte do cloro é muito caro e perigoso. Este é um dos fatores determinantes da localização das plantas do setor: a produção de cloro deve ficar próxima dos centros de consumo. Por este motivo, 84% do cloro produzido em 2006 foram destinados ao uso cativo e só 16% foram vendidos (ABICLOR, 2007). Alguns produtos derivados do cloro, como, por exemplo, o ácido clorídrico, ainda são difíceis de transportar, tendo, também, uma porcentagem significativa – 21,4% de 158.500 toneladas produzidas em 2006 (ABICLOR, 2007) – de uso cativo.

O ácido clorídrico e o hipoclorito de sódio (produção de 61.400 toneladas em 2006 (ABICLOR, 2007)) são produtos importantes do setor, incorporando os produtos básicos da eletrólise.

O hidrogênio, além de ser usado na produção de ácido clorídrico e de hipoclorito de sódio, é vendido para a indústria de óleos e margarinas – hidrogenação – e para a produção de materiais plásticos. Algumas plantas deste segmento da indústria química possuem até pequenos gasodutos para o transporte do hidrogênio. O hidrogênio excedente é usado como combustível (BAJAY et al., 1995).

Por causa do processo de eletrólise, a produção de cloro-álcalis é considerada eletro-intensiva, sendo a energia elétrica o principal fator na formação do custo desta indústria, com uma incidência média de 30% no preço da soda cáustica (BAJAY et al., 1995).

A produção de soda e cloro por processo eletrolítico já é conhecida desde 1800, porém, somente em 1890 a primeira planta entrou em operação na Alemanha, com células a diafragma e, em 1894, nos EUA, a primeira planta com células de mercúrio. Estes foram os dois primeiros processos a serem usados em larga escala. Bem mais recentemente, com o desenvolvimento de membranas de troca iônica, surgiu o processo que emprega células de membrana.

No Brasil, em 2006, 73,7% da produção de soda cáustica ocorreu em células a diafragma, 22,9% em células de mercúrio e somente 5,4% em células de membrana (ABICLOR, 2007).

Descrevem-se, sucintamente, a seguir, estes três processos conhecidos para se produzir soda cáustica e cloro em larga escala.

1.6.5.1 Células de mercúrio

Antes de entrar na célula eletrolítica, o sal é misturado com água, até um teor de 25% de sal, e a salmoura resultante é purificada através de um tratamento químico, e aquecida com vapor (121°C).

O mercúrio e a salmoura fluem da parte mais alta da célula para a parte mais baixa. O mercúrio constitui o cátodo e os eletrodos metálicos, ligados em paralelo, o ânodo. Como resultado da eletrólise, o cloro é atraído para o ânodo, onde é recolhido, para ser resfriado, purificado e armazenado como gás, após ser comprimido, ou como líquido, após uma operação de liquefação. O sódio é atraído para o cátodo de mercúrio, reagindo com ele e formando um amálgama. Esse amálgama flui por gravidade para um compartimento separado, denominado decompositor, onde se processa a decomposição eletrolítica do amálgama, regenerando o mercúrio e formando a soda cáustica e o hidrogênio.

A solução aquosa de soda cáustica apresenta uma elevada concentração (aproximadamente 50%) e ausência de resíduos salinos, podendo ser diretamente empregada desta forma, após uma filtragem ou, então, concentrada em um evaporador, aquecido com vapor (121°C), dependendo da necessidade a que se destina. O hidrogênio é resfriado ao sair da célula (BAJAY et al., 1995; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

Para obter eficiências elevadas, é necessário trabalhar com salmouras de boa qualidade. Os eletrodos inicialmente utilizados eram de grafite, mas, atualmente, os eletrodos metálicos já estão consagrados (BAJAY et al., 1995).

A grande maioria do consumo de eletricidade neste processo ocorre na célula eletrolítica. Há, no entanto, consumos bem menores deste energético na purificação da salmoura, na filtragem da soda cáustica, no resfriamento do hidrogênio, na compressão do gás cloro e na liquefação do cloro (se houver esta operação). O consumo de energia térmica ocorre na forma de vapor, nas operações de aquecimento da salmoura e passagem da solução aquosa de soda cáustica (se houver) pelo evaporador (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985). As células de mercúrio apresentam consumos específicos totais de energia elétrica superiores às das células de diafragma e às das células de membrana.

Uma desvantagem, do ponto de vista ambiental, deste processo é o fato do mercúrio ser um metal pesado de alta toxicidade.

1.6.5.2 Células de diafragma

Estas células eram menos difundidas no início do século passado, tendo se alastrado mais a partir da década de 1950, com o desenvolvimento de uma grande variedade de modelos de célula.

O processo comporta duas variantes básicas: as células monopolares e as bipolares (BAJAY et al., 1995). As versões modernas, geralmente bipolares, são construídas bastante compactas, com os objetivos de reduzir as distâncias inter-eletródicas, propiciar um melhor aproveitamento volumétrico das instalações e reduzir o custo do equipamento.

As operações que antecedem a introdução da salmoura na cuba eletrolítica são: aquecimento, através de vapor (177°C), da mistura do sal com a água; purificação da salmoura com NaCO_3 ; dissolução do sal reciclado na corrente de salmoura; e reaquecimento desta corrente, novamente com vapor (177°C) (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

A cuba eletrolítica é dividida, por um diafragma vertical constituído de asbestos, em duas câmaras, contendo, uma delas, o ânodo, e a outra, o cátodo. A solução de salmoura é introduzida na câmara contendo o ânodo e escoar em direção ao cátodo, passando pelo diafragma. Este procedimento evita que ocorra a mistura entre o cloro, formado no ânodo, e o hidrogênio, formado no cátodo. Uma outra propriedade do diafragma é impedir o retorno dos íons hidróxidos formados para o primeiro compartimento.

Os gases são retirados a partir do topo da célula, enquanto a solução aquosa, contendo de 10 a 15% de soda cáustica, é removida na sua parte inferior.

Se a demanda do mercado for por cloro em estado de pureza não elevado, bastam o resfriamento da corrente gasosa, a sua lavagem com ácido sulfúrico, em uma coluna de empacotamento, para secá-la, e a compressão do gás. Quando, porém, for requisitado um produto com um elevado grau de pureza, a sequência de operações envolve, ainda, a liquefação da corrente gasosa, sendo este líquido destilado fracionadamente.

A solução cáustica obtida é diluída e operações de concentração são requeridas para a obtenção de um produto de valor comercial. Isto implica na necessidade de equipamentos como evaporadores, centrífugas, ciclones, clarificadores e filtros, o que aumenta a demanda de energia térmica do processo, o seu custo de capital e a sua complexidade (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A célula de diafragma, além do inconveniente de produzir soda cáustica em baixas concentrações, o que exige uma sequência de operações de concentração desta solução, gera um produto final com entre 2 e 3% de cloreto de sódio (como impureza). Isto exige, também, um processo de purificação deste produto final. Outra desvantagem deste processo é que asbestos é um material nocivo à saúde humana.

Tal qual também ocorre com o processo anteriormente descrito, a maior parte do consumo de eletricidade neste processo ocorre na célula eletrolítica (mais de 80%). Há, no entanto, consumos bem menores deste energético na purificação da salmoura, na dissolução do sal reciclado na corrente de salmoura, na separação e reciclagem do sal da solução de soda cáustica, no resfriamento do hidrogênio, na compressão do gás cloro e na liquefação do cloro (se houver esta operação). O consumo de energia térmica ocorre na forma de vapor, nas operações de aquecimento e reaquecimento da salmoura e passagem, obrigatória, da solução aquosa de soda cáustica por diversos evaporadores (Brown, Hamel and Hedman, 1985). As células de diafragma apresentam consumos específicos totais de energia elétrica inferiores às das células de mercúrio, mas seu consumo específico de energia térmica é bem maior.

1.6.5.3 Células de membrana

A tecnologia de membrana é, praticamente, um aprimoramento da tecnologia de diafragma, havendo células comerciais que aproveitam a mesma estrutura metálica das células à diafragma, incorporando, porém, uma membrana de troca iônica, que permite a passagem dos íons de sódio, mas não a passagem da salmoura. Tais células são, evidentemente, menos eficientes do que as projetadas para a nova tecnologia. Consegue-se um melhor rendimento elétrico, devido à menor espessura da membrana, e um produto final com um teor salino na solução de soda cáustica não ultrapassando 100 ppm, porém com uma concentração de soda – de 30 a 35% - abaixo da obtida nas células de mercúrio (BAJAY et al., 1995).

Este processo requer: (i) um tratamento secundário da salmoura, que precisa ter um alto grau de pureza; (ii) um elevado custo de capital; e (iii) processamento do cloro formado, para remoção de oxigênio e vapor d'água (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

A purificação da salmoura envolve a adição de barrilha (carbonato neutro de sódio, Na_2CO_3) e soda cáustica, para remoção de cálcio, magnésio, ferro e alumínio, em uma primeira etapa, e, em uma segunda etapa, adição de hipoclorito de sódio e cloreto de cálcio, para eliminar amônia e sulfatos, respectivamente. Prosseguindo o processo de purificação, a corrente de salmoura passa por etapas de clarificação, filtração, ajuste de pH e mistura com solução cáustica reciclada. Por fim, a salmoura purificada demanda aquecimento para que atinja o nível de temperatura necessário para o seu uso nas células eletrolíticas.

Ao contrário dos diafragmas, as membranas precisam ser periodicamente reativadas, o que exige cuidados especiais. A membrana também possui uma vida mais curta do que o diafragma. Por outro lado, o processo não utiliza materiais nocivos ao meio ambiente e à saúde humana, como o mercúrio e o asbestos. O seu consumo específico total de energia elétrica é menor do que o das células de diafragma; o mesmo ocorre com o seu consumo específico de energia térmica, devido à maior concentração da soda cáustica na saída da célula eletrolítica (BAJAY et al., 1995).

A migração para esta tecnologia tem sido lenta, devido a problemas operacionais encontrados nas primeiras plantas empregando esta tecnologia, bem como pelo fato de grande parte das instalações atuais já estarem depreciadas, mas ainda em condições satisfatórias de operação (TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003).

1.6.6 Outros produtos químicos com consumos energéticos elevados

Nesta seção são apresentados alguns outros produtos químicos com consumos energéticos elevados, que foram apontados como importantes na caracterização energética da indústria química nos balanços energéticos da indústria americana, elaborados por Brown, Hamel and Hedman (1985), e/ou no estudo mais recente, válido em um escala global, realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2007).

Para estes produtos se dispõe de estatísticas nacionais de produção e indicadores de consumos energéticos específicos médios e/ou mínimos. Para alguns deles, as duas referências bibliográficas acima citadas descrevem o seu processo produtivo; para outras, só fornecem valores de seu consumo energético específico.

Estes produtos são apresentados a seguir, de acordo com as categorias definidas na seção 1.2 deste relatório.

1.6.6.1 Produtos petroquímicos básicos

1.6.6.1.1 Metanol

O metanol, também conhecido como álcool metílico, é o álcool mais simples. Ele é empregado como anticongelante, solvente e combustível. 61,8% do metanol produzido no Brasil em 2006 foram

empregados na fabricação de formaldeído, 5,9% como intermediários químicos, 5,2% na produção de metilamina, 4,8% na fabricação de éter-metil-ter-butílico, 3,6% na produção de metacrilato de metila, 0,6 foi empregado no setor farmacêutico e 18,1% em outras aplicações (ABIQUIM, 2007). Conforme indicado na Tabela 4, importou-se, naquele ano, mais metanol do que foi produzido no País.

Cerca de 80% do metanol produzido no mundo utiliza o gás natural como matéria-prima; os restantes 20% empregam carvão, essencialmente na China (IEA, 2007).

Os dois métodos para se produzir metanol utilizam gás de síntese: um deles opera a altas pressões e o outro a baixas pressões. O último deles, cada vez mais empregado, usa um catalisador de cobre e opera a pressões de 50 -100 bar e a uma temperatura de 250°C (IEA, 2007).

No método tradicional, gás natural e CO₂ são pré-aquecidos com vapor a 218°C antes de entrarem no forno de reforma, onde uma reação endotérmica produz uma mistura dos gases H₂ e CO. Esta mistura, que é formada a altas temperaturas, é resfriada em três etapas, antes de ser comprimida e enviada para o reator onde ocorre a formação do gás de síntese. No primeiro estágio de resfriamento, a mistura de gases superaquece vapor de 263°C para 482°C; o vapor resultante aciona turbinas a vapor, que, por seu turno, movem os compressores do processo. Aproveita-se o segundo estágio de resfriamento da mistura de gases para aumentar a temperatura dos gases reciclados para o reator do gás de síntese. Finalmente, o terceiro estágio de resfriamento ocorre em um trocador de calor, com água fria. Como a formação do gás de síntese ocorre com uma reação exotérmica, forma-se, no reator, além deste gás, vapor a 263°C. O gás de síntese passa por um condensador e por um processo de separação do tipo “flash”, que permite a recuperação da mistura H₂/CO não convertida no reator, que, após ser comprimida, é reciclada no processo. A passagem do gás de síntese condensado por duas torres de destilação permite a obtenção de dimetil éter na primeira e metanol na segunda. Este processo de produção, descrito por Brown, Hamel e Hedman (1985), não requer o uso de energia elétrica, pois os compressores da mistura H₂/CO são acionados diretamente por turbinas a vapor e motores de combustão interna.

As últimas unidades de fabricação de metanol no mundo usam a tecnologia Lurgi MegaMethanol. A Lurgi tem sido responsável por 60 – 70% da capacidade global de produção deste produto petroquímico básico (IEA, 2007).

1.6.6.1.2 *Butadieno*

Em 2006, 66,1% do butadieno produzido no Brasil foi empregado como intermediário químico e 33,9% foram usados como matéria-prima para a fabricação de borrachas (ABIQUIM, 2007). Trata-se de um importante produto petroquímico básico, fabricado pelas três centrais petroquímicas instaladas no país, que serve, entre outras aplicações, para a elaboração de borracha de estireno-butadieno e polibutadieno, elastômeros cujo processo de fabricação é descrito na próxima seção.

Tal qual acontece com o etileno, a produção do butadieno pode derivar de uma diversidade de matérias-primas, tais como etano, nafta, gasóleo, propano, butano, etc.. O processo de obtenção do butadieno envolve a pirólise das matérias-primas e a matéria-prima utilizada influencia o consumo energético e o custo do processo. O consumo de energia térmica na fabricação de butadieno ocorre na forma de vapor de processo (IEA, 2007).

1.6.6.2 Elastômeros

1.6.6.2.1 Borracha de estireno-butadieno e látices de SBR

A distribuição aproximada das vendas internas de borracha de estireno-butadieno em 2006, em termos de utilização final, foi a seguinte: pneumáticos (49%), camelback (28%), calçados (10%), peças técnicas (7%), fios e cabos (2%), colas e adesivos (1%) e revenda (3%) (Abiquim, 2007).

A borracha de estireno-butadieno é também conhecida pela sigla SBR, que é a abreviação da expressão inglesa “stirene-butadiene rubber”.

Látices, ou látex, de SBR foram empregados, em 2006, na indústria de papel e celulose (59,5%), como auxiliar têxtil (20,8%), em tapeçaria (6%), peças técnicas (5,3%), calçados (3,7%), pneumáticos (0,8%), tintas e vernizes (0,3%) e outros usos (3,6%) (Abiquim, 2007).

A borracha de estireno-butadieno e os látices de SBR são produzidos no mesmo processo de fabricação, descrito a seguir. As quantidades relativas destes dois produtos podem ser variadas de acordo com as necessidades do mercado.

O processo de fabricação desta borracha sintética se inicia com a mistura de estireno, butadieno, catalisadores e vapor de água (121°C). Esta mistura é aquecida, através da queima de um combustível, e armazenada quente, com o auxílio de aquecimento elétrico. A partir do tanque de armazenamento, a solução de estireno-butadieno é encaminhada para três reatores químicos – o reator de solução, o reator de emulsão a frio e o reator de emulsão a quente, que operam em paralelo. Nos três reatores ocorrem reações exotérmicas e o produto é uma solução denominada RCT. O calor formado no reator de solução e no reator de emulsão a quente é removido com uma corrente de água fria; vapor a 121°C inicia a reação neste último reator. O calor de reação no reator de emulsão a frio é removido com o auxílio de uma corrente de fluido refrigerante. Energia elétrica também é demandada nos reatores de emulsão a frio e emulsão a quente.

A solução RCT oriunda do reator de solução vai para um coagulador, onde é misturado com flocculantes e salmoura; só se consome energia elétrica nesta operação. A solução coagulada passa, então, por uma coluna de extração a vapor (121°C), onde se obtém uma corrente do produto estireno-butadieno e uma corrente com uma mistura manômero mais solvente. Os componentes desta mistura são separados em seguida, em um separador aquecido com vapor a 121°C.

As soluções RCT que provém dos reatores de emulsão a frio e emulsão a quente são misturadas em um tanque de flasheado, do qual resulta, além da solução flasheada, também uma corrente de butadieno; energia elétrica é consumida nesta operação. A solução flasheada entra em uma coluna de extração de látex, aquecida com vapor a 121°C, que produz uma corrente com uma solução de estireno e uma corrente com látex de estireno-butadieno. A passagem da primeira corrente por um decantador permite a recuperação do estireno, enquanto que parte da corrente de látex é concentrada em um concentrador, com o auxílio de vapor a 121°C. A outra parte desta corrente é misturada com um anti-oxidante, óleos e negro de fumo; consome-se energia elétrica nesta operação. Esta mistura de látex é coagulada, com o auxílio de flocculantes, salmoura e energia elétrica, e, depois lavada com água; o produto estireno-butadieno produzido no ramo oriundo do reator de solução também é lavado neste mesmo tanque. Energia elétrica é empregada, em seguida, para enxaguar este produto, que é dividido, após esta operação, em duas correntes. Uma delas é submetida a uma secagem mecânica, que só consome energia elétrica; a outra corrente passa por uma secagem térmica, que consome tanto vapor (121°C) como eletricidade. Os produtos secos nas duas correntes são, finalmente, misturados e enfardados, constituindo a borracha de estireno-butadieno; esta operação demanda energia elétrica (Brown, Hamel e Hedman, 1985).

Do consumo total de energia elétrica neste processo, 37,5% ocorre na unidade de refrigeração. O restante é consumido em bombas, misturadores, centrífugas, etc. (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.6.2.2 Polibutadieno

Em 2006, 66% do polibutadieno produzido nacionalmente foi empregado na fabricação de pneus, 16% na fabricação de plásticos, 13% na produção de camelback, 2% em calçados, 2% em peças técnicas e 1% em colas e adesivos (ABIQUIM, 2007),

A primeira operação unitária da fabricação desta borracha sintética é a mistura, a quente, de butadieno e alguns aditivos. O calor necessário é fornecido por vapor, a 121°C, e a agitação requerida para se ter uma boa mistura é propiciada por força motriz produzida por motores elétricos. Um fluxo de água fria mantém a temperatura da mistura na faixa apropriada.

A mistura é levada a um reator onde se processa uma reação catalítica exotérmica de polimerização. Consome-se energia elétrica nesta operação e uma corrente de água fria remove o calor formado. A principal corrente efluente do reator é conduzida a um tanque de “blowdown”, aquecido a vapor (121°C) e onde se demanda, também, energia elétrica e, em seguida, a um tanque de mistura do látex, no qual se adiciona, com o auxílio de energia elétrica, um anti-oxidante ao polibutadieno.

As operações seguintes consistem na adição de salmoura, em um tanque, na coagulação da mistura, em um outro tanque, na retirada de água, em um terceiro tanque, na filtragem e na moagem do produto. Todas estas operações só requerem o consumo de energia elétrica.

O polibutadieno precisa, ainda, ser seco, o que é feito com o calor produzido pela queima de um combustível, e enfiado, operação que requer o consumo de eletricidade (HAMEL; HEDMAN, 1985).

Logo, este processo requer energia térmica tanto na forma de aquecimento direto (86,4% do total), como de vapor de processo (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.6.3 Buteno-1

O buteno-1 é 100% empregado na produção de plásticos (ABIQUIM, 2007).

Não se encontrou, na literatura técnica pesquisada para este projeto, descrição do processo produtivo deste composto químico. Encontrou-se, no entanto, um dado sobre o seu consumo específico de energia térmica (todo ele na forma de aquecimento direto) utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade deste processo.

1.6.6.4 Formaldeído

O formaldeído, ou aldeído fórmico, é um importante produto intermediário para a fabricação de resinas termofixas. Em 2006, 76,3% da produção nacional deste composto foram empregados na fabricação de resinas sintéticas, 9,5% na produção de defensivos agrícolas, 1,7% na fabricação de sabões e detergentes, 0,1% como auxiliar têxtil e 12,4% em outras finalidades (ABIQUIM, 2007).

A matéria-prima para a fabricação do formaldeído é o metanol, que é misturado com ar e vapor (149°C) em um vaporizador. A mistura resultante é pré-aquecida com vapor a 300°C antes de entrar em um reator, onde sua temperatura duplica com o calor oriundo da combustão de um combustível. A mistura quente oriunda do reator passa, então, por uma coluna de absorção, onde é resfriada por uma corrente de água fria e alguns gases indesejados são separados. Finalmente, em uma coluna de fracionamento se forma o formaldeído e se recupera e recicla o metanol, que retorna para o vaporizador (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985). Do total de energia térmica requerida por este processo, 54,7% é na forma de vapor e os restantes 45,3% na forma de vapor de processo (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

1.6.6.5 Resinas uréicas, resinas fenólicas e resinas melamínicas

As resinas uréicas, resinas fenólicas e resinas melamínicas fazem parte do grupo de resinas termofixas. Os níveis de produção decrescem das primeiras para as últimas (vide Tabela 12).

Em 2006, 63,4% das resinas uréicas produzidas no Brasil foram destinadas à fabricação de colas e adesivos, 36,3% foram consumidas no setor madeireiro, 0,2% foram direcionadas à fabricação de produtos de couros e 0,1% à produção de papel e celulose (ABIQUIM, 2007).

A maior parte (46,2%) das resinas fenólicas produzidas no país em 2006 destinou-se, também, à fabricação de colas e adesivos. Os outros usos foram: setor madeireiro (23,6%), fundições (14,4%), indústria automobilística (3,9%), abrasivos (3%), refratários (2,1%), fricção (1,9%), tintas e vernizes (1,8%) e outras aplicações (3,1%) (ABIQUIM, 2007).

As resinas melamínicas, por outro lado, foram usadas principalmente na indústria de papel e celulose (55,1%), seguida pela construção civil (22,2%), tintas e vernizes (11%), como auxiliar têxtil (8,6%) e no tratamento de água (3,1%) (ABIQUIM, 2007).

Não se encontrou, na literatura técnica pesquisada para este projeto, descrições dos processos produtivos destas três resinas termofixas. Foram encontrados, no entanto, dados sobre o seu consumo específico de energia térmica (todo ele na forma de vapor de processo) utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade destes processos.

1.6.6.6 Metacrilato de metila e metacrilato de etila

O metacrilato de metila é empregado na confecção de chapas acrílicas (73,5% das vendas internas deste produto no Brasil em 2006) e resinas sintéticas (23,5%), além de usos odontológicos. O metacrilato de etila, por seu turno, foi 100% usado na produção de tintas e vernizes (ABIQUIM, 2007).

Não se encontrou, na literatura técnica pesquisada para este projeto, descrições sobre os processos produtivos destes dois metacrilatos. Foram encontrados, no entanto, dados sobre o seu consumo específico de energia térmica (todo ele na forma de vapor de processo) utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade deste processo.

1.6.6.7 Butanol-iso e butanol-n

Do total de butanol-iso ou álcool isolútilico produzido em 2006 no Brasil, 78% foram empregados na fabricação de plastificantes, 20% na produção de solventes, 1% na fabricação de aditivos para lubrificantes e 1% em outras aplicações. Já 52% do butanol-n produzido naquele ano encontraram seu destino na fabricação de solventes, 8% na produção de plastificantes e 40% em outras aplicações (ABIQUIM, 2007).

Não foram encontrados, na literatura técnica pesquisada para este projeto, descrições dos processos produtivos destes dois produtos intermediários para plastificantes. Encontrou-se, no entanto, dados sobre o seu consumo específico de energia térmica (todo ele na forma de vapor de processo) utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade deste processo.

1.6.6.8 *Isopropanol*

O isopropanol, ou álcool isopropílico, é um importante solvente industrial. Sua importação, embora decrescente, tem sido maior que a sua produção nos últimos anos (ABIQUIM, 2007).

Não se encontrou, na literatura técnica pesquisada para este projeto, uma descrição do processo produtivo deste solvente. Encontrou-se, no entanto, dados sobre o seu consumo específico de energia térmica utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível. Este consumo se distribui quase que igualmente entre aquecimento direto e vapor de processo (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade deste processo.

1.6.6.9 *Éter metil-terc-butílico*

O éter metil-terc-butílico, conhecido pela sigla em inglês – MTBE, é 100% empregado como aditivo para combustíveis (ABIQUIM, 2007).

Não se encontrou, na literatura técnica pesquisada para este projeto, descrição do processo produtivo deste composto químico. Encontrou-se, no entanto, um dado sobre o seu consumo específico de energia térmica (todo ele na forma de vapor de processo) utilizando-se a melhor tecnologia atualmente disponível (IEA, 2007). A publicação em questão não fornece o consumo específico de eletricidade deste processo.

1.6.6.10 *Dióxido de titânio*

Do total de dióxido de titânio produzido em 2006 no país, 76,5% foram empregados na fabricação de tintas e vernizes, 13,2% na produção de plásticos, 0,7% na fabricação de papel e celulose e 9,6% em outras aplicações. A importação crescente deste produto, embora menor do que a produção local, tem sido substancial (ABIQUIM, 2007).

O dióxido de titânio pode ser produzido utilizando-se um processo baseado em cloro, ou um outro baseado em ácido sulfúrico (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O primeiro deles se inicia em um reator de clorificação, onde são misturados o minério que contém o titânio, coque, gás cloro a 482°C, combustível e ar. A reação é endotérmica e se processa a uma temperatura de 677°C. Ar quente, a 593°C, sai do reator para um pré-aquecedor, onde o gás cloro reciclado no processo e gás cloro de reposição são misturados e pré-aquecidos até 482 °C; a mistura vai para o reator. O efluente principal do reator é constituído por um gás clorado, que é encaminhado para um lavador, onde se mistura com TiCl_4 liquefeito reciclado. Este último provém de uma centrífuga, movida por um motor elétrico e alimentada por uma corrente gasosa oriunda do lavador, e de uma torre de resfriamento. Esta torre, por seu turno, recebe o TiCl_4 que sai do lavador; energia elétrica é consumida nesta operação. O efluente da torre passa por uma coluna de destilação, aquecida com vapor a 110°C, onde se separa SiCl_4 da corrente com TiCl_4 . TiO_2 , na forma sólida, é separada em uma centrífuga, movida por um motor elétrico. A corrente de TiCl_4 , após a adição de Si e Al, passa, então, por um vaporizador, aquecido pela queima de um combustível. O vapor de TiCl_4 entra em um reator de oxidação, na qual ocorre uma reação exotérmica, mas que requer a queima de um combustível. O oxigênio deste reator é aquecido até 605°C em um aquecedor com queima direta. O efluente do reator de oxidação passa primeiro por um coletor, onde ocorre uma reação endotérmica que forma TiO_2 , e, depois, por um calcinador, onde se consome tanto energia térmica, na forma de aquecimento

direto, como energia elétrica. Os gases residuais formados no coletor são enviados a um resfriador, um absorvedor de Cl_2 e a um recuperador de Cl_2 , nesta sequência; o Cl_2 recuperado é reciclado para o pré-aquecedor de cloro, mencionado acima. O TiO_2 que sai do calcinador vai para um tanque de tratamento, onde é misturado com NaOH ; esta operação só consome energia elétrica. A mistura é então secada e moída; ambas as operações demandam energia elétrica e a primeira delas também combustível. Quase 98% do consumo de energia térmica neste processo ocorrem na forma de aquecimento direto (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O processo baseado em ácido sulfúrico começa em um digestor alimentado pelo minério que contém o titânio, por limalhas de ferro, ácido sulfúrico, água e vapor a 121°C ; motores elétricos garantem a agitação necessária a uma mistura adequada destes componentes. O efluente do reator é conduzido, primeiro, para um clarificador, onde a “lama” da mistura é separada e, depois, para um resfriador; em ambos os equipamentos consome-se energia elétrica. Em seguida, a corrente passa por um cristalizador, uma centrífuga e um filtro, onde são separados cristais de sulfato ferroso e só se consome energia elétrica. A passagem por um evaporador aquecido por vapor a 121°C possibilita a recuperação de ácido sulfúrico concentrado, que é reciclado para o digestor; além do vapor, energia elétrica também é consumida neste processo. Um hidrolisador permite a formação de um hidrato e a separação de ácido sulfúrico diluído; esta operação consome vapor a 121°C . O hidrato formado passa, então, por um filtro e re-polpador, onde só se consome energia elétrica, antes de entrar em um forno de calcinação, que produz o TiO_2 e que demanda tanto eletricidade como energia térmica, esta na forma de aquecimento direto. Saindo do calcinador, o TiO_2 passa pelos seguintes equipamentos, nesta sequência: resfriador a ar, tanque de repolpamento e tratamento, moinho, espessador, filtro, secador, pulverizador e empacotador; todos estes equipamentos demandam energia elétrica, enquanto que o secador também consome vapor a 177°C . Este processo consome quatro e meia vezes mais energia térmica (quase 75% na forma de vapor de processo) do que o processo baseado em cloro (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2007), o processo mais eficiente para produzir TiO_2 requer 79,7% de sua energia térmica na forma de aquecimento direto.

1.6.6.11 Óxido de zinco

As aplicações do óxido de zinco (ZnO) produzido no Brasil em 2006 foram: 71,2% como intermediário químico, 23,1% na galvanoplastia, 2,6% na produção de borrachas, 1,4% na indústria cerâmica, 1% na alimentação animal, 0,4% na produção de fertilizantes, 0,1% na fabricação de corantes e pigmentos, 0,1% na manufatura de fitas metálicas e 0,1% na produção de plásticos (ABIQUIM, 2007).

Segundo Brown, Hamel e Hedman (1985), existem três processos para a fabricação de ZnO : o processo francês, o processo americano e o processo eletrotérmico.

O processo francês se inicia com a produção de um gás redutor em um queimador alimentado a carvão. Este gás entra em um vaporizador, onde é misturado com pó de zinco. Esta mistura é aquecida graças a um processo de combustão, formando um vapor de zinco, que é dirigido a um reator, junto com o excesso de gás redutor e ar pré-aquecido no vaporizador. Do reator emerge óxido de zinco misturado com gases. A reação é fortemente exotérmica, requerendo o uso de serpentinas de resfriamento com água fria. A mistura vai, então, para uma câmara onde são separados os gases e o óxido de zinco, este último na forma de duas correntes, uma de partículas de maior porte e outra de partículas finas; consome-se energia elétrica nesta câmara. As partículas maiores de ZnO vão para um forno de reaquecimento e voltam, revolatilizadas, para a câmara; além de combustível, no forno também se consome eletricidade. As partículas finas são recolhidas por um filtro de manga e empacotadas; estas duas operações finais só demandam energia elétrica. Toda a energia térmica utilizada neste processo é na forma de aquecimento direto (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

A primeira operação do processo americano é a mistura do minério que contém o zinco, com carvão e partículas recicladas oriundas de um separador do tipo ciclone. Nesta operação só se consome energia elétrica. A mistura é pré-aquecida com ar quente antes de entrar em um forno, onde parte do carvão é consumida e se forma um gás contendo o zinco. O ar do pré-aquecedor é aquecido neste forno; energia elétrica também é demandada neste último equipamento. Material que não reage no forno é resfriado com água e descartado. O gás contendo o zinco passa, então, por uma câmara de combustão, onde o restante do carvão é consumido, um resfriador, um separador tipo ciclone e filtros de manga. Nestes três últimos equipamentos só se consome energia elétrica. Nos filtros há a separação entre o óxido de zinco e o gás residual. A última operação do processo é o empacotamento do ZnO. Como se percebe na descrição do processo, o consumo de energia térmica é todo na forma de aquecimento direto e o único combustível é o carvão (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

No processo eletrotérmico, um concentrado de sulfato de zinco é misturado com ar e aquecido, o que provoca a formação de óxido de zinco impuro em uma reação exotérmica. O óxido é misturado com carvão e várias correntes de material reciclado no processo e a mistura é encaminhada a um sinterizador, onde se consome energia elétrica e um combustível. O material sinterizado passa por moinhos, peneiras e pré-aquecedores antes de entrar em um forno elétrico. Os moinhos e peneiras só demandam energia elétrica, enquanto que nos pré-aquecedores também se consome mais carvão. No forno elétrico se forma vapor de zinco, que entra em um reator, onde se produz uma reação exotérmica. O efluente do reator passa, então, por um coletor e filtros de manga, onde se separa o óxido de zinco dos rejeitos. Tal qual no processo anterior, o ZnO é, então, empacotado. Só eletricidade é consumida nestas três últimas operações (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

O processo americano é o mais energo-intensivo. O de menor consumo energético específico é o francês. Evidentemente, o processo eletrotérmico é o que consome mais energia elétrica (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985).

2 Caracterização Ambiental



2 Caracterização Ambiental

2.1 Introdução

A partir da década de 1960, houve uma grande evolução no debate sobre os temas ligados à Química, que estava inicialmente voltado para os aspectos ligados à segurança das instalações e do transporte de produtos perigosos e à poluição industrial. O debate se ampliou e passou a incluir temas ligados às propriedades e características dos produtos químicos, com foco na segurança e saúde dos usuários e nos impactos ao meio ambiente.

A melhoria de desempenho nas dimensões ligadas à saúde, segurança e meio ambiente passou a ocupar posição prioritária, fundamental para a continuidade da “licença para operar” de toda a indústria química. A preocupação com os produtos químicos trouxe o reconhecimento de que a gestão segura só pode ser conseguida com a participação de toda a cadeia produtiva. A indústria química, a exemplo da grande maioria das instituições, atuava com o entendimento que a proteção de seus interesses deveria ser resguardada atrás de seus muros, e evitava discutir eventuais problemas com terceiros, incluindo-se aí as comunidades vizinhas às fábricas. As justificativas mais frequentes para tal comportamento eram de que os temas ligados à indústria seriam muito técnicos e complexos para que pudessem ser debatidos com leigos, ou então, que envolviam segredos industriais.

Atualmente a indústria química, tanto no Brasil como no exterior, está consciente do fato de que o diálogo transparente, franco e ético com todos os interessados nas atividades e produtos das empresas – trabalhadores, governo, clientes, comunidades vizinhas às instalações industriais, organizações não governamentais, entre outros, também faz parte da sua “licença para operar”. O diálogo deve estar ligado a ações concretas, que visem melhorar continuamente os processos e produtos, de forma a torná-los mais seguros e adequados ambientalmente.

Segundo a Agência Internacional de Energia, a indústria química é a maior emissora de gases que causam o efeito estufa dentre os diversos segmentos industriais. Ela é responsável por cerca de 30% das emissões de CO₂ da indústria, no mundo (IEA, 2007).

Uma nova regulamentação de produtos químicos entrou em vigor na União Européia em 2007. Ela foi designada pela sigla em inglês Reach – Register, Evaluation, Authorization and Chemicals. O Reach é um ambicioso programa de registro de substâncias químicas, envolvendo um processo de autorização. As substâncias que, comprovadamente, tenham características carcinogênicas, mutagênicas, ou que causem danos à reprodução humana e que não tenham substitutos, deverão ter sua produção autorizada, de acordo com determinados critérios do Reach. Esta autorização será renovada dentro de períodos fixados no regulamento. Espera-se que a indústria busque substitutos para essas substâncias, promovendo, desta forma, inovações (MARIUZZO, 2007).

2.2 O Programa Atuação Responsável, da Abiquim

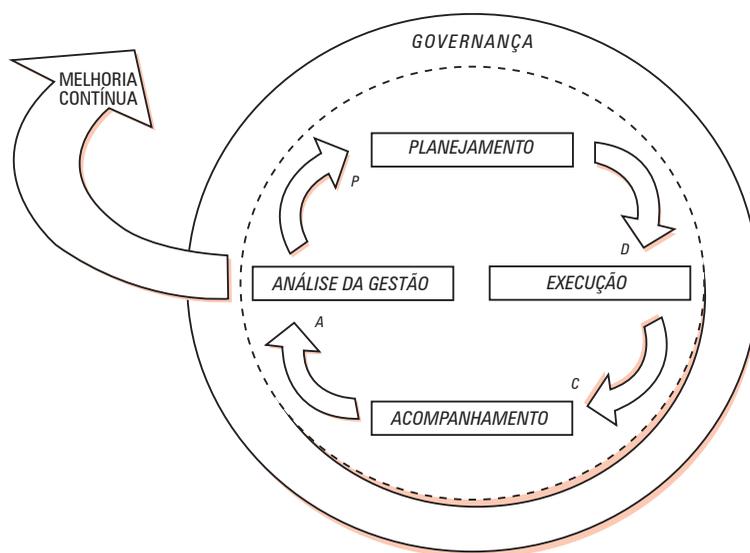
A Abiquim - Associação Brasileira da Indústria Química adota, desde 1992, o Programa Atuação Responsável, criado originalmente no Canadá com o nome de “Responsible Care”. A partir de 1998 a adesão ao Programa Atuação Responsável tornou-se obrigatória para todos os associados da Abiquim. Este programa se propõe a ser um instrumento de diálogo entre os agentes envolvidos, procurando fornecer mecanismos que permitam o desenvolvimento de sistemas e metodologias adequadas para cada etapa do gerenciamento ambiental. Inclui, de forma mais ampla, a segurança das instalações, processos e pro-

duto, e a preservação da saúde ocupacional dos trabalhadores, além da proteção do meio ambiente, por parte das empresas do setor e ao longo da cadeia produtiva.

O Programa “Responsible Care” é hoje encontrado em 52 países e sua aplicação é coordenada pelo Conselho Internacional das Associações da Indústria Química – ICCA.

O Conselho Consultivo Nacional de Atuação Responsável reúne personalidades de diferentes áreas e setores. O Conselho colabora com o desenvolvimento do Programa Atuação Responsável por meio de recomendações que reflitam as expectativas da sociedade em relação às atividades da indústria química brasileira (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Houve uma revisão recente do Programa Atuação Responsável, na qual foi criado um novo conjunto de diretrizes para o programa. Diferente do modelo anterior, as novas diretrizes foram concebidas seguindo a abordagem de “sistemas de gestão”, muito empregada no meio empresarial. Os antigos códigos e práticas deixaram de existir, mas todo o seu conteúdo foi integralmente incorporado às novas diretrizes. O conjunto de diretrizes do Atuação Responsável apresenta a relação de políticas, estratégias e procedimentos considerada fundamental para propiciar o desenvolvimento de sistemas de gestão nas empresas associadas à Abiquim, constituindo-se no âmago operacional do Programa. Aspectos relevantes decorrentes da evolução da gestão de saúde, segurança e meio ambiente foram incluídos no novo conjunto, ampliando e modernizando o seu conteúdo. Além disso, as diretrizes agora incorporam as dimensões qualidade, social e proteção empresarial (security), que passam a fazer parte do Programa Atuação Responsável. A estrutura de apresentação das diretrizes segue a abordagem de sistemas de gestão baseados no conceito PDCA (Plan – Do – Check – Act), apresentado na Figura 4.



Fonte: Abiquim, 2008

Figura 4
As diretrizes do Programa Atuação Responsável da Abiquim, segundo a abordagem PDCA

O Programa contempla como ferramentas para a avaliação de progresso a auto-avaliação por parte de cada empresa e a avaliação externa por terceiros, ou verificação por terceira parte, realizada por meio do sistema VerificAR.

Durante a auto-avaliação da implementação das diretrizes, as empresas comparam o estágio em que se encontram na sua gestão com aqueles preconizados nos níveis de implementação, para cada componente do Programa.

A verificação externa, ou de “3ª parte”, do Programa Atuação Responsável foi desenvolvida pela Abiquim e por empresas certificadoras para auxiliar as empresas na auditoria de seus sistemas de gestão, utilizando equipes de verificadores externos. Em 2003, iniciou-se a aplicação do VerificAR, utilizando um primeiro modelo que avaliava os sistemas de gestão de saúde, segurança e meio ambiente, cobrindo todas as áreas da empresa. A equipe era composta por auditores de empresas certificadoras, profissionais de empresas associadas e representantes das comunidades vizinhas. Apesar de amplo, o processo usado não garantia a total compatibilidade com as auditorias para normas de sistemas de gestão, em especial as normas ISO 9001 e 14001, e OSHAS 18001. Na revisão do Programa foram introduzidas mudanças no VerificAR para permitir que, utilizando uma única auditoria integrada, sejam avaliados os sistemas cobertos pelas normas existentes no mercado.

As empresas associadas à Abiquim têm, desde 2005, de ser verificadas periodicamente, como parte de seu compromisso com o Programa Atuação Responsável.

As empresas filiadas à Abiquim devem enviar anualmente os resultados de seus indicadores de desempenho à Abiquim. Os dados coletados são divulgados no **Relatório Anual do Programa Atuação Responsável**, publicado desde 2001. Na Figura 5 estão relacionadas as empresas participantes do Programa.

3M DO BRASIL	COLUMBIAN CHEMICALS	HENKEL	PETROFLEX
A CHIMICAL	COPEBRÁS	HUNTSMAN	PETROM
AGRINOR	COPENOR	IGARASSUL	PETROQUÍMICA TRIUNFO
AIR LIQUIDE	COPELUL	INDÚSTRIAS QUÍMICAS CATAGUASES	PETROQUÍMICA UNIÃO
AIR PRODUCTS	CORN PRODUCTS BRASIL	INNOVA	POLICARBONATOS
AJINOMOTO	CROMEX BAHIA	INPAL	POLIETILENOS UNIÃO
AKZO NOBEL	DEGUSSA	IPIRANGA PETROQUÍMICA	POLITENO
ARCH QUÍMICA	DETEN	IQT	PROQUIGEL
ASHLAND	DOW BRASIL	KEMIRA	PROSINT
BANN	DOW CORNING	KRATON POLYMERS	QGN
BARLOCHER	DSM	LANXESS	RHODIA BRASIL
BASF	DUPONT	LORD	RHODIA POLIAMIDA E ESPECIALIDADES
BASF POLIURETANOS	DYSTAR	LUBRIZOL	RHODIACO
BAYER	EKA CHEMICALS	M&G FIBRAS E RESINAS	ROHM AND HASS
BRASKEM	ELEKEIROZ	MILLENNIUM CHEMICALS	SCANDIFLEX
BUCKMAN	ELKEN	MONSANTO	SOLUTIA
CABOT	EMCA	MONTANA	SOLVAY INDUPA
CANEXUS	ENIA	NALCO	SOVAY POLIETILENO
CARBOCLORO	FLEXSYS	NCH BRASIL	SUZANO PETROQUÍMICA
CBE	FMC	NITRIFLEX	SYNGETA
CESBRA	FOS BRASIL	NITROQUÍMICA	SYNTEKO
CIBA ESPECIALIDADES QUÍMICAS	FOSFERTIL	OSWALDO CRUZ	TATE & LYLE
CLARIANT	GETEC	OXITENO	UMICORE
CLEOMAR	GRACE	PAN-AMERICANA	UNIPAR
COGNIS	GRIFFIN	PERÓXIDOS DO BRASIL	WACKER
COIM	GUAÇU	PETROBRAS-FAFEN	WHITE MARTINS

Fonte: Abiquim, 2008

Figura 5
Relação de empresas filiadas à Abiquim

Um dos temas tratados no Programa Atuação Responsável é o da conservação de energia, principalmente depois das indústrias terem passado pela crise de abastecimento de energia elétrica em 2001.

O consumo específico de óleo combustível e de carvão mineral nas empresas filiadas à Abiquim tem diminuído desde 2001, conforme indicado no Gráfico 1.

Com a substituição de óleos combustíveis e carvão por gás natural, a indústria química buscou melhorias de eficiência de combustão, gerando menores quantidades de poluentes, principalmente monóxido de carbono, particulados e dióxido de enxofre.

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E CARVÃO



Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 1

Evolução dos consumos específicos de óleo combustível e de carvão, em kg/t produto, nas empresas filiadas à Abiquim

No entanto, com o risco de desabastecimento de gás natural pela Bolívia e a limitação na quantidade disponível de gás natural nacional, as empresas reforçaram as ações de economia de consumo em 2005 (Gráfico 2). Por essa razão, também buscaram diversificar as fontes de energia, utilizando combustíveis de fontes renováveis (Gráfico 3).

CONSUMO DE GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL



Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 2

Evolução do consumo específico de gás natural, em m³/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL RENOVÁVEL



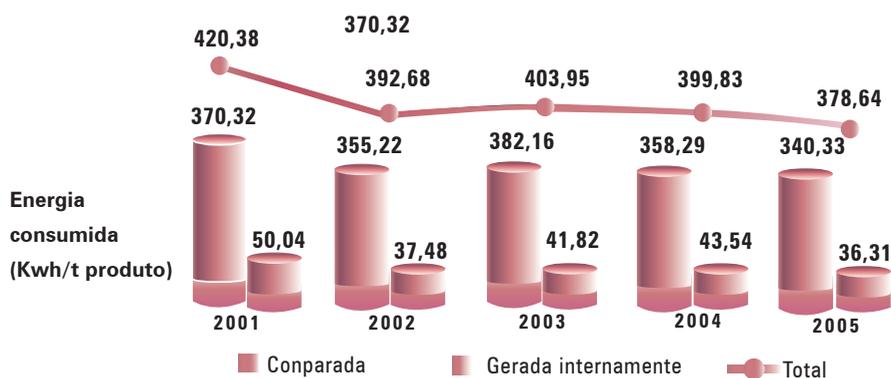
Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 3

Evolução do consumo específico de combustíveis renováveis, em kg/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim

O consumo específico de energia elétrica caiu acentuadamente entre 2001 e 2002, subiu um pouco em 2003 e voltou a cair, bem menos do que em 2002, em 2004 e 2005 (Gráfico 4). A principal razão deste comportamento mais recente, segundo a Abiquim, deve-se à característica dos processos químicos, pois os equipamentos elétricos de maior consumo, geralmente motores e células eletrolíticas (fábricas de cloro-soda) limitam as economias possíveis de energia elétrica. Economias foram conseguidas através de substituições de lâmpadas para iluminação e melhorias em sistemas de ar condicionado.

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA



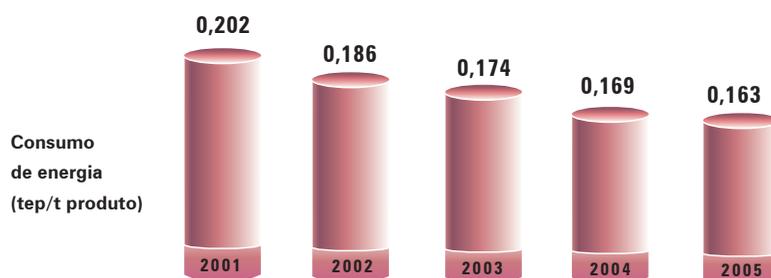
Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 4

Evolução do consumo específico de energia elétrica, em kWh/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim

Como consequência destas ações, tanto o consumo energético específico total (Gráfico 5) como as emissões específicas de CO₂ (Gráfico 6) acabaram diminuindo no período de 2001 a 2005.

CONSUMO TOTAL ENERGIA

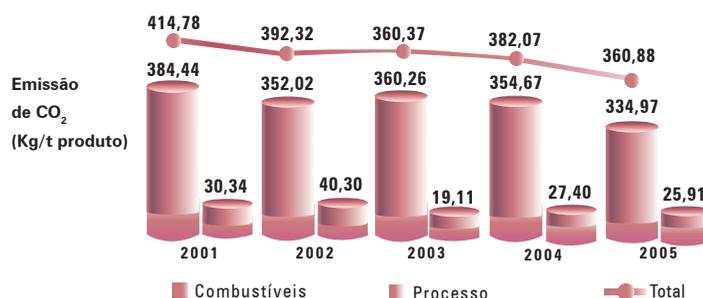


Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 5

Evolução do consumo energético específico total, em tep/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim

EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO



Fonte: Abiquim, 2008

Gráfico 6

Evolução das emissões específicas de CO₂, em kg/t de produto, nas empresas filiadas à Abiquim

2.3 Legislação que disciplina o recolhimento e destinação final das embalagens de produtos fitossanitários

Os defensivos agrícolas têm uma legislação específica (Lei 9.974/00) que disciplina o recolhimento e destinação final das embalagens dos produtos fitossanitários. A Lei divide responsabilidades a todos os agentes atuantes na produção agrícola do Brasil, ou seja, agricultores, canais de distribuição, indústria e poder público.

O Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV) é uma entidade sem fins lucrativos criada para gerir o sistema de destinação final de embalagens vazias de agrotóxicos. Representa a indústria fabricante de produtos fitossanitários em sua responsabilidade de conferir a correta destinação final às embalagens vazias destes produtos utilizados na agricultura brasileira (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

3 Caracterização Econômica



3 Caracterização Econômica

3.1 Principais produtores

A Tabela 20 apresenta os principais fabricantes de produtos químicos industriais no país, sua localização, principais produtos, entre os analisados neste relatório, fabricados por cada um deles, capacidade instalada, por produto, em 2006 e expansão prevista até 2015, segundo a Abiquim (2007).

Tabela 20

Principais fabricantes de produtos químicos industriais no Brasil: localização, principais produtos, capacidade instalada em 2006 e expansões previstas até 2015

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Braskem	Camaçari	BA	Benzeno	427.000	-	-
	Camaçari	BA	Butadieno	175.000	-	-
	Camaçari	BA	Buteno-1	35.000	-	-
	Camaçari	BA	Caprolactama	62.000	-	-
	Camaçari	BA	Ciclohexano	72.000	-	-
	Camaçari	BA	Cloreto de polivinila (PVC)	250.000	330.000	2012
	Marechal Deodoro	AL		240.000	330.000	2010
	São Paulo	SP		26.000	-	-
	Maceió	AL	Cloreto de vinila (MVC)	290.000	-	-
	Camaçari	BA		240.000	-	-
	Maceió	AL	Cloro	400.000	-	-
	Camaçari	BA		74.400	-	-
	Maceió	AL	1,2-Dicloroetano (DCE)	580.000	-	-
	Camaçari	BA	Eteno	1.280.000	-	-
	Fronteira Brasil - Bolívia			0	600.000	2013
	nd	nd	Eteno (via álcool)	0	204.000	2009
	Camaçari	BA	Éter metil-terc-butílico (MTBE)	140.000	-	-
	Camaçari	BA	Hidróxido de sódio (escamas)	25.000	-	-
	Maceió	AL	Hidróxido de sódio (líquido)	460.000	-	-
	Camaçari	BA		79.000	-	-

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Copesul – Cia. Petroquímica do Sul	Triunfo	RS	Benzeno	265.000	-	-
			Butadieno	105.000	205.000	2010
			Buteno-1	40.000	-	-
			Estireno	0	40.000	2011
			Eteno	1.135.000	1.210.000	2011
			Éter metil-terc-butílico (MTBE)	115.000	180.000 (conversão para ETBE)	2007
			Propeno grau polímero	581.000	-	-
			Tolueno	91.000	-	-
			Xilenos mistos	66.000	-	-
Petroquímica União S.A.	Santo André	SP	Benzeno	200.000	-	-
			Butadieno	80.000	-	-
			Eteno	500.000	700.000 1.200.000	2008 2012
			Propeno (grau polímero e grau químico)	250.000*	-	-
			Tolueno	75.000	-	-
			o-Xileno	50.000	-	-
			Xilenos mistos	80.000	-	-
Riopoli – Rio Polímeros S.A.	Duque de Caxias	RJ	Eteno	520.000	-	-
			Polietileno de alta densidade e de baixa densidade linear	540.000*	-	-
			Propeno grau químico e grau polímero	75.000*	-	-
Suzano Petroquímica	Mauá	SP	Polipropileno	360.000	450.000	2008
	Duque de Caxias	RJ		200.000	300.000	2008
	Camaçari	BA		125.000	200.000	2011
	PR			0	200.000	2012
Petroquímica Suape	Ipojuca	PE	Ácido tereftálico purificado	0	640.000	2009
Petroquímica Paulínia	Paulínia	SP	Polipropileno	0	300.000	2008

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Petrobrás	Cubatão	SP	Benzeno	30.076	-	-
	Araucária/ Duque de Caxias/Paulínia, São José dos Campos	PR/RJ/SP	Éter metil-terc-butílico (MTBE)	270.000	-	-
	São Francisco do Conde/ Duque de Caxias /	BA/RJ/SP	Propeno grau polímero	395.000	-	-
	São Francisco do Conde	BA	Propeno grau químico	60.000	-	-
	Cubatão	SP	Tolueno	78.000	-	-
	Cubatão	SP	Xilenos mistos	22.000	-	-
Petrobrás - FAFEM	Camaçari	BA	Ácido nítrico	36.300	156.300	2010
		BA/SE	Amônia	907.500	-	-
		BA/SE	Uréia	1.089.000	-	-
Unidade de Fertilizantes III (Petrobrás e parceiros)	A definir		Amônia	0	796.000	2015
			Uréia		1.109.000	

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Fosfertil – Fertilizantes Fosfatados S.A.	Uberaba	MG	Ácido fosfórico	675.000	-	-
	Piaçaguera	SP		128.000		
	Cubatão	SP	Ácido nítrico	246.000	-	-
	Piaçaguera	SP		288.000		
	Uberaba	MG	Ácido sulfúrico	1.915.000	-	-
	Piaçaguera	SP		400.000		
	Araucária/	PR	Amônia	438.000	-	-
	Piaçaguera	SP		191.000		
	Uberaba/	MG/SP	Fosfato de monoamônio	960.000	-	-
	Piaçaguera	SP		261.000		
		PR	Metanol	7.000	-	-
	Piaçaguera	SP	Nitrato de amônio	406.000	-	-
	Cubatão	SP		153.000		
Araucária	PR	Uréia	630.000	-	-	
Copebrás	Cubatão	SP	Ácido fosfórico	140.000	-	-
	Catalão	GO		140.000	150.000	2008
	Cubatão / Catalão	SP/GO	Ácido sulfúrico	1.205.000	-	-
	Catalão	GO	Fosfato de monoamônio	130.000	-	-
Bunge Fertilizantes	Cajati	SP	Ácido fosfórico	202.000	-	-
	Cubatão / Cajati / Araxá	SP/MG	Ácido sulfúrico	966.000	-	-
	Cubatão	SP	Sulfato de amônio	40.000	-	-
Caraíba Metais	Camaçari	BA	Ácido sulfúrico	500.000	-	-
			Ácido sulfúrico fume-gante	60.000	-	-
Galvani	Paulínia	SP	Ácido sulfúrico	400.000	-	-
	Luís Eduardo Magalhães	BA		130.000		
Nitro Química	São Miguel Paulista	SP	Ácido sulfúrico	260.000	-	-
			Ácido sulfúrico fume-gante	65.000	-	-

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Elekeiroz	Várzea Paulista	SP	Ácido sulfúrico	250.000	-	-
	Várzea Paulista	SP	Anidrido ftálico	24.600	33.000	2009
	Camaçari	BA		41.400	55.000	2009
	Várzea Paulista	SP	Anidrido maléico	22.000	-	-
	Camaçari	BA		8.000	20.000	2009
	Camaçari	BA	Butanol-iso	18.400	-	-
	Camaçari	BA	Butanol-n	40.000	-	-
	Várzea Paulista	SP	Formaldeído (37%)	67.568	-	-
VMZ	Três Marias e Juiz de Fora	MG	Ácido sulfúrico	245.000	-	-
			Óxido de zinco	300.000	-	-
Millennium Chemicals	Camaçari	BA	Ácido sulfúrico	132.000	-	-
			Dióxido de titânio	60.000	-	-
Anglogold	Nova Lima	MG	Ácido sulfúrico	130.000	-	-
MSF		MG	Ácido sulfúrico	100.000	-	-
Prófertil	Maceió	AL	Ácido sulfúrico	16.500	-	-
Jarí Celulose	Distrito industrial de Manguba, município de Almeirim	PA	Ácido sulfúrico	12.115	-	-
Unilever		SP	Ácido sulfúrico	55	-	-
CSN	Volta Redonda	RJ	Amônia	5.760	-	-
Usiminas	Ipatinga	MG	Amônia	5.400	-	-
Gerdau Açominas	Ouro Branco e Congonhas	MG	Amônia	3.600	-	-
Aksell	Indaiatuba	SP	Sulfato de amônio e fosfato de monoamônio	1.200*	-	-
Labsynth	Diadema	SP	Sulfato de amônio	150	-	-
Quimibras	Rio de Janeiro	RJ	Sulfato de amônio	60	-	-
Vetec	Duque de Caxias	RJ	Sulfato de amônio	80	-	-

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Prosint	Rio de Janeiro	RJ	Metanol	180.000	260.000	2007
Vicunha Têxtil		BA	Metanol	3.960	-	-
			Tereftato de polietileno (PVC)	12.000	-	-
Bio Soja	São Joaquim da Barra	SP	Fosfato de monoamônio	3.500	-	-
Produquímica	Mauá	SP	Fosfato de monoamônio	2.400*	-	-
			Óxido de zinco	4.800	-	-
Iquimm	São Caetano do Sul	SP	Fosfato de monoamônio	1.000*	-	-
Samaritá	Artur Nogueira	SP	Fosfato de monoamônio	800	1.500	2008
Diadema Agro Industrial	Diadema	SP	Fosfato de monoamônio	400*	-	-
			Sulfato de amônio	360	-	-
IPQ	Triunfo	RS	Polietileno de alta densidade (PEAD)	550.000*	-	-
			Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)	150.000*	-	-
			Polipropileno	180.000	-	-
Polietilenos União	Santo André	SP	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	130.000*	-	-
			Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)	0	230.000	2008
			Polietileno de alta densidade (PEAD)	0		
Triunfo	Triunfo	RS	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	160.000	-	-
Innova	Triunfo	RS	Estireno	250.000	500.000	2010
			Etilbenzeno	190.000	540.000	2008
			Poliestireno	135.000	-	-

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Rhodia Poliamida	Paulínia	SP	Acetona	115.000	140.000	Sem previsão
			Ácido adípico	87.000	-	-
			Ácido nítrico	60.000	-	-
			Ciclohexano	300	-	-
			Fenol	195.000	230.000	Sem previsão
			Isopropanol	17.000	-	-
Rhodiaco	Paulínia	SP	Ácido tereftálico	250.000	-	-
CBE	Cubatão	SP	Estireno	120.000	180.000	2008
			Etilbenzeno	123.500	191.000	2008
			Tolueno	3.500	-	-
M&G Polímeros	Ipojuca	PE	Tereftato de polietileno (PET)	450.000	-	-
M&G Fibras e Resinas	Poços de Caldas e Ipojuca	MG/PE	Tereftalato de polietileno (PET)	290.000	-	-
Basf	São José dos Campos	SP	Poliestireno	190.000	-	-
	Guaratinguetá		Resinas melamínicas	1.645	-	-
	Guaratinguetá		SBR, látices de	55.000	-	-
Videolar	Manaus	AM	Poliestireno	120.000	-	-
Synteko	Gravataí / Uberaba / Araucária	RS/MG/PR	Formaldeído (37%)	223.000	-	-
	Araucária / Gravataí	PR/RS	Resinas fenólicas	31.500	-	-
	Uberaba / Araucária / Gravataí	MG/PR/RS	Resinas uréicas	330.000	-	-
				0	400.000	2011
	São Paulo	SP				

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Hexion Química	Curitiba	PR	Formaldeído (37%)	195.000	-	-
			Resinas fenólicas	90.000	-	-
			Resinas uréicas	188.500	-	-
	Porto Alegre	RS	Resinas fenólicas e uréicas	0	120.000	2007
Copenor	Camaçari	BA	Formaldeído (37%)	160.000	-	-
	Sorocaba	SP				
	Camaçari	BA	Metanol	82.500	-	-
Dynea Brasil	Araucária	PR	Formaldeído (37%)	84.000	238.000	2012
			Resinas fenólicas	60.000	210.000	2012
			Resinas uréicas	91.000		
GP Resinas Internacionais	Jundiá	SP	Formaldeído (37%)	55.000	-	-
			Resinas fenólicas	23.798		
			Resinas uréicas	48.700		
Royalplas	Guarulhos	SP	Formaldeído (37%)	43.200	-	-
			Resinas uréicas	43.000	-	-
Schenectady	Atibaia	SP	Resinas fenólicas	11.000	-	-
Schenectady Crios	Rio Claro	SP	Formaldeído (37%)	42.000	-	-
			Resinas fenólicas e uréicas	60.000*	-	-
Sulana	Maringá	PR	Formaldeído (37%)	25.000	-	-
			Resinas fenólicas	15.000	-	-
			Resinas uréicas	9.000	-	-
Socer Brasil	Salto	SP	Resinas fenólicas	0	21.000	2007
Unigel	Camaçari	BA	Ácido cianídrico	13.000	33.000	2009
			Acrilonitrila	90.000	110.000	2009
	Metacrilato de etila		5.000	-	-	
	Metacrilato de metila		45.000	75.000	2009	
	Polycarbonato		15.000	40.000	2010	
	Polycarbonato, filme		0	4.500	2008	
	Sulfato de amônio		150.000	400.000	2009	

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Petrom		SP	Anidrido ftálico	82.000	-	-
Oxiteno	Mauá	SP	Butanol-iso	10.000*		
	Mauá/Camaçari	SP/BA	Etilenoglicóis	325.000		
	Mauá/Camaçari	SP/BA	Óxido de eteno	312.000	440.000	2008/2009
Unipar	Santo André	SP	Ciclohexano	26.000	-	-
			Cumeno	210.000	-	-
Quiminvest	Porto Real	RJ	Fenol	1.400	-	-
			Resinas fenólicas	3.000*	-	-
Dow Brasil	Camaçari	BA	Cloro	415.000	-	-
	Camaçari	BA	Estireno	160.000	-	-
	Camaçari	BA	Etilbenzeno	172.500	-	-
	Camaçari	BA	Hidróxido de sódio (líquido)	415.000*	-	-
	Camaçari	BA	Óxido de propeno	235.000	-	-
	Guarujá	SP	Poliestireno	190.000	-	-
	Cubatão	SP	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	130.000	-	-
	Guarujá	SP	SBR, látices de	22.700	-	-
	Camaçari	BA	Tolueno	6.750	-	-
Dow Brasil / Cristalsev	MG		Eteno / polietilenos (via etanol)	0	350.000	2011
Carbocloro	Cubatão	SP	Cloro	252.800	353.000	2008
			1,2-Dicloroetano (DCE)	140.000	-	-
			Hidróxido de sódio (escamas)	50.000	-	-
			Hidróxido de sódio (líquido)	286.000	-	-
Pan-Americana	Honório Gurgel	RJ	Cloro	35.000	60.000	2012
			Hidróxido de sódio (líquido)	18.000	-	-
Solvay Indupa	Santo André	SP	Cloreto de polivinila (PVC)	270.000	300.000	2008
			Cloreto de vinila (MVC)	280.000	-	-
			Cloro	115.700	-	-
			Hidróxido de sódio (líquido)	130.000	170.000	2008
			Polietileno de alta densidade (PEAD)	82.000	-	-

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Petroflex	Duque de Caxias	RJ	Borracha de estireno-butadieno (SBR)	196.000	-	-
	Triunfo	RS		60.000		
	Cabo de Santo Agostinho	PE		10.000		
	Cabo de Santo Agostinho	PE	Polibutadieno	93.000	-	-
	Duque de Caxias	RJ	SBR, látices de	20.000	-	-
Ashland	Campinas	SP	Resinas fenólicas	15.000	26.400	2012
			Resinas melamínicas e uréicas	7.000*		
Baq	Suzano	SP	Resinas fenólicas	18.000	-	-
Betel	Mogi Guaçu	SP	Resinas fenólicas, melamínicas e uréicas	10.000*	-	-
Coldemar	Várzea Paulista	SP	Resinas fenólicas e uréicas	36.000*	-	-
Dynea	São Bernardo do Campo	SP	Resinas fenólicas	25.000	-	-
			Resinas melamínicas	9.000	-	-
Durlin	Guarulhos	SP	Resinas fenólicas	3.000	-	-
			Resinas melamínicas	80		
Foseco	São Paulo	SP	Resinas fenólicas	6.000	-	-
ICI Packaging Coatings	Santo André	SP	Resinas fenólicas e melamínicas	300*	-	-
			Resinas uréicas	120	-	-
Reichhold	Mogi das Cruzes	SP	Resinas fenólicas	11.500	-	-
			Resinas melamínicas e uréicas	43.000*	-	-
Resibras Resinas	Fortaleza	CE	Resinas fenólicas	5.000	-	-
Brancotex	Barueri	SP	Resinas melamínicas	300*	-	-
			Resinas uréicas	200	-	-
Cognis	Jacarei	SP	Resinas melamínicas e uréicas	1.200*	-	-
DFM	Jandira	SP	Resinas melamínicas	3.840	6.800	2012
			Resinas uréicas	3.600	-	-
Dissoltex	São Carlos	SP	Resinas melamínicas	500	-	-
Dupont	Uberaba	MG	Dióxido de titânio	36.000	-	-
	Guarulhos	SP	Resinas melamínicas	1.485	-	-
	Guarulhos	SP	Resinas uréicas	27	-	-

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Empresas	Localização		Produtos	Capacidade instalada em 2006, em t	Expansão prevista	
	Cidade	Estado			Capacidade instalada, em t	Ano
Farber Chemie	Diadema	SP	Resinas melamínicas e uréicas	250*	-	-
General		SP	Resinas melamínicas	50	-	-
Iguatu	Guarulhos	SP	Resinas melamínicas e uréicas	2.040*	-	-
Inpal	Campo Grande	RJ	Resinas melamínicas	1.000	-	-
			Resinas uréicas	1.200	-	-
Nova Vulcão	São Paulo	SP	Resinas melamínicas	10	-	-
Paumar	Mauá	SP	Resinas melamínicas	200	-	-
Resinac	Jandira	SP	Resinas melamínicas	1.500	-	-
Tremembé	Tremembé	SP	Resinas melamínicas	4.000	-	-
Renner Sayer-lack	Cajamar	SP	Resinas uréicas	158	-	-
IQT	Taubaté	SP	SBR, látices de	28.000	-	-
Nitriflex	Duque de Caxias	RJ	SBR, látices de	2.000	-	-
Columbian Chemicals	Cubatão	SP	Negro de carbono	192.000	-	-
Cabot	Mauá	SP	Negro de carbono	75.000	-	-
Evonik	Paulínia	SP	Negro de carbono	55.000	-	-
Citral	Nova Lima e Caratinga	MG	Óxido de zinco	8.600	-	-
Rio Metalúrgica	Duque de Caxias	RJ	Óxido de zinco	5.760	-	-
Brasóxidos	Mauá	SP	Óxido de zinco	5.700	-	-
Sul Óxidos	Forquilha	SC	Óxido de zinco	3.600	-	-
Multitécnica Nutrientes Minerais	Sete Lagoas	MG	Óxido de zinco	3.000	-	-
Brazinco	São Paulo	SP	Óxido de zinco	2.000	-	-
Vegal	Jaboatão dos Guararapes	PE	Óxido de zinco	1.440	-	-
VG Brasil	Guarulhos	SP	Óxido de zinco	1.440	-	-
IQP	Porangaba	SP	Óxido de zinco	720	-	-
Cesbra	Volta Redonda	RJ	Óxido de zinco	480	-	-

*Multipropósito

Fontes: (ABICLOR, 2007; ABIQUIM, 2007; disponível em: <<http://www.braskem.com.br>>; disponível em: <<http://www.fosfertil.com.br>>; disponível em: <<http://www.galvani.com.br>>)

Na petroquímica básica existem três grandes empresas produtoras: a Braskem, a Copesul e a PQU, respectivamente, que possuíam, em 2006, cerca de 44, 36 e 20% da capacidade instalada total de matérias-primas petroquímicas (eteno, propeno, etc.). Na produção de resinas destacam-se 18 empresas, produzindo variadas quantidades de polietilenos e outras resinas (PET, PVC, PS). As principais aplicações destas resinas são em setores altamente relevantes para a população em geral: alimentício, embalagens e construção civil (respectivamente 51% de PEBD, 60% de PEBDL e 75% em vasilhames no setor alimentício; 31% de PS em embalagens; e 45% de PVC em tubos e conexões). Sete empresas são mais importantes na produção de elastômeros. Na produção de transformados de plástico observa-se uma pulverização muito maior do número de empresas atuantes. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Plástico - Abiplast, em 2004 havia 8523 empresas no setor. As principais segmentações são embalagens (42%); descartáveis e componentes técnicos (11% cada segmento), e construção civil (10%). A Associação Nacional dos Fabricantes de Artefatos de Borracha (Anfab) tem 113 associadas (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Em termos de estratégias empresariais as empresas do segmento petroquímico (básicos, resinas e elastômeros) têm se mostrado mais dinâmicas do que as empresas do setor de transformados. Dois exemplos se destacam. O primeiro é o da Petrobrás, principal fornecedora de matéria-prima para a indústria petroquímica. Logo após o término do monopólio do petróleo, discutiu-se se a Petrobrás deveria ser uma parceira dos negócios nesta indústria, mas somente a partir de 2006 é que ficou clara a sua intenção de ser uma parceira, ainda que minoritária, neste negócio. Neste sentido, suas estratégias são, não só de desenvolver tecnologia, como também de buscar outras fontes de matérias-primas além da nafta. Os investimentos em tecnologia podem ser exemplificados pela busca de tecnologia para produzir matéria-prima para a petroquímica a partir do óleo pesado no projeto Comperj e a busca de tecnologia para a produção de ácido acrílico, que é hoje integralmente importado. Os principais parceiros da Petrobrás são o Grupo Ultra e a empresa Elekeiroz.

O outro exemplo é o conjunto de estratégias que tem sido anunciado pela Braskem. Entre suas principais estratégias estão a internacionalização da empresa para a Europa e para a Venezuela, estratégia que visa aumentar a regularidade de suas exportações para o mercado europeu e obter novos fornecedores de matéria-prima, além da Petrobrás. Apesar da Braskem já possuir bases comerciais nos Estados Unidos e na Argentina, ela optou por instalar uma planta em Roterdam. Na Venezuela pretende investir na produção de eteno, unidades de polietilenos e outros produtos petroquímicos (polipropileno). Sua principal parceira neste projeto é a estatal Venezuelana Pequiven. Pretende, também, expandir sua produção de polipropileno em Paulínia, SP (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Uma análise dos dados da Tabela 20 fornece as seguintes constatações:

- (1) A Braskem é a empresa que possui a maior capacidade de produção dos compostos químicos analisados individualmente neste relatório – 7.919.400 t/ano, em 2006, envolvendo uma variada gama de produtos petroquímicos de primeira e de segunda gerações.
- (2) Quando estiver instalado, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – Comperj deve ser o maior competidor da Braskem: previsão de ter uma capacidade de produção de 7.496.000 t/ano em 2012, em produtos petroquímicos de primeira e de segunda gerações (naquele ano, a Braskem planeja ter uma capacidade de produção de 8.293.400 t/ano).
- (3) A segunda maior central petroquímica do país, a Copesul, possui planos modestos de expansão de sua capacidade produtiva até 2011: só 11,9%. Já a terceira central – a Petroquímica União – pretende aumentar sua capacidade de produção em 57,7% até 2012.
- (4) As expansões mencionadas acima envolvem produtos petroquímicos básicos, com destaque para o eteno, e resinas termoplásticas. As resinas também serão produzidas na expansão prevista para a Suzano Petroquímica e na nova Petroquímica Paulínia.
- (5) A Petrobrás é um “player” significativo na produção de alguns petroquímicos básicos e, através da Petrobrás – Fafen, é um dos maiores produtores de amônia (capacidade de produção de 907.500 t/ano) e uréia (capacidade de produção de 1.089.000 t/ano). As capacidades de produção destes produtos intermediários para fertilizantes devem aumentar para 1.703.500 t/ano e 2.198.000 t/ano, respectivamente, em 2015, com a entrada em operação da Unidade de Fertilizantes III da empresa.

- (6) O maior fabricante de intermediários para fertilizantes no país é a Fosfértil com uma capacidade de produção de 6.698.000 t/ano em 2006. Destacam-se, ainda, os seguintes grandes produtores: Copebras, com uma capacidade de produção de 1.615.000 t/ano, e a Bunge Fertilizantes – 1.208.000 t/ano. A Tabela 20 mostra que há um grande número de médios e pequenos produtores nesta categoria.
- (7) Especificamente na produção de ácido sulfúrico, além dos fabricantes de intermediários para fertilizantes mencionados acima, podem ser citados, pela sua significativa capacidade de produção, a Caraíba Metais, Galvani, Nitro Química, Elekeiroz, VMZ, Millennium Chemicals, Anglogold e MSF.
- (8) Dentre os fabricantes de intermediários para plastificantes, resinas e fibras, e fabricantes de resinas e elastômeros, destacam-se, também, pela sua atual capacidade de produção, a Riopol, Elekeiroz, IPQ, Polietilenos União, Triunfo, Innova, Rhodia Poliamida, Rhodiaco, CBE, M&G Polímeros, M&G Fibras e Resinas, Dow Brasil, Solvay Indupa, Unigel, Basf, Videolar, Synteko, Hexion Química e Copenor. Os projetos de expansão destas empresas envolvem, sobretudo, resinas termoplásticas e intermediários para plásticos, plastificantes e resinas termofixas.
- (9) A synteko, Hexion Química e Dynea Brasil são os maiores fabricantes de resinas termofixas. Há uma grande quantidade de produtores de médio e pequeno porte.
- (10) Na fabricação de elastômeros destacam-se a Petroflex e a Basf.
- (11) Entre os fabricantes de solventes e de outros produtos químicos orgânicos destacam-se a Oxiteno, a Rhodia Poliamida e a Unipar.
- (12) Os maiores “players” na fabricação de cloro e álcalis no Brasil são a Braskem, Dow Brasil, Carbocloro e Solvay Indupa.
- (13) A VMZ é a maior produtora de óxido de zinco no país. Ela compartilha este mercado com um grande número de pequenos produtores.

3.2 Formação da indústria e competitividade

3.2.1 Introdução

Descreve-se, a seguir, de uma forma sintética, a formação dos segmentos industriais petroquímico, de soda-cloro e de química fina – com destaque para os fármacos e defensivos agrícolas – no Brasil, assim como se discute a sua competitividade e se aponta seus pontos fortes e fracos e suas perspectivas futuras.

3.2.2 A indústria petroquímica

3.2.2.1 Caracterização da indústria petroquímica

A indústria petroquímica envolve milhares de produtos individuais, manufaturados em uma sequência produtiva que interliga as matérias-primas com as indústrias de transformação, que são, por sua vez, as produtoras de bens de consumo. A partir de processos sofisticados, as moléculas originais dos hidrocarbonetos, existentes no petróleo ou no gás natural, são quebradas, recombinadas ou modificadas, dando origem a uma série de produtos, que, por sua vez, são “a base química” de outras indústrias – calçadista, de tecidos, plásticos, pneus, tintas, alimentos, embalagens etc.

Alguns produtos podem ser obtidos tanto através de processos petroquímicos quanto a partir de outras matérias-primas, que não o gás natural e o petróleo, a exemplo do polietileno, cuja base pode ser o carvão vegetal ou o álcool.

São três as principais gerações de produção da indústria petroquímica: a de produtos básicos, a de produtos intermediários e a de produtos finais. Estes produtos são, também, classificados a partir da origem dos produtos básicos, que podem provir das olefinas, dos aromáticos ou do gás de síntese – metano. As olefinas são hidrocarbonetos alifáticos insaturados que englobam o eteno, ou etileno, o propeno e o butadieno, enquanto os aromáticos contêm o benzeno, o tolueno e o xileno. A partir destes seis compostos obtêm-se os produtos petroquímicos intermediários.

A geração de produtos finais é, em geral, subdividida em cinco segmentos – os fertilizantes, os plásticos e as resinas, as fibras, os elastômeros e os detergentes, conforme o tipo de produto e o mercado atendido.

Os produtos finais constituem a linha de frente da petroquímica, determinando a evolução da indústria dentro de duas linhas básicas: a substituição de produtos não-sintéticos, em usos já estabelecidos, e a introdução de novos produtos, juntamente com o desenvolvimento de novos usos. Estas linhas podem ser, em um determinado contexto, independentes entre si (Bajay et alii, 1995).

Já as indústrias de transformação são conhecidas como a quarta geração da petroquímica. São tantas e tão diversificadas que acabam interligando a atividade petroquímica com toda a sociedade industrial.

3.2.2.2 O quadro internacional

A indústria petroquímica surgiu na década de 1920, nos Estados Unidos, como resultado de pesquisas que visavam à transformação de produtos naturais. Após a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de desenvolvimento de produtos sintéticos para substituir os importados, a exemplo da borracha, considerada estratégica, deu maior impulso a essa indústria. Inicialmente concentrou-se na produção de pneus, isolamentos e condutores elétricos; depois aumentou o uso de seus produtos e dinamizou indústrias de vários segmentos. Consolidou-se nos EUA e começou a se desenvolver na Europa e Japão, para, posteriormente, chegar à América Latina, já na década de 1960.

No início dos anos 1990 houve um excesso de oferta de produtos derivados do plástico, em todo o mundo. Isto fez com que a indústria perdesse receita, e fosse obrigada a se reestruturar.

A indústria petroquímica é altamente capital-intensiva, sendo os custos de investimento muito elevados e os efeitos de escala relevantes. As economias de escala não são pertinentes apenas ao nível da planta produtiva, mas também ao nível da empresa ou grupo econômico, pela necessidade de amortização de pesados custos fixos (comercial, administrativo, financeiro) e gastos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Estes dois aspectos conjugados fazem do elevado grau de concentração da oferta um requisito desejável para a competitividade. Em decorrência, um substancial grau de ociosidade nas empresas é altamente indesejável (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

A integração vertical continua sendo vantajosa para a indústria petroquímica por diferentes motivos: fatores tecnológicos – fortes rendimentos crescentes à escala, presença de co-produtos nos processos mais usados e altos custos e riscos de transporte em alguns produtos; economias de aglomeração a partir da divisão dos custos de utilidades com outras empresas; economias de transação devido ao tipo de ativo altamente específico investido no setor; facilidade de planejamento a longo prazo, menores custos impositivos, custos administrativos e de comercialização; elementos com características de monopólio: preços de transferência, distorções em mercados upstream, barreiras à entrada; e a renda obtida na primeira etapa de transformação (extração e refino/separação de hidrocarbonetos) – que pode ser absorvi-

da pelas firmas que integram esta fase com a produção petroquímica. A integração horizontal permite, por sua vez, gerar economias de escopo (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

A capacidade de produção se expande e se retrai em blocos devido às fontes de indivisibilidades próprias do investimento no setor. Em períodos de expansão, entre a constatação da existência e a sustentabilidade das condições favoráveis a um investimento e sua realização se interpõem um conjunto de passos que consome um longo período de tempo. Da mesma forma, nos períodos de retração da demanda, as empresas priorizam a sustentação de uma elevada utilização da capacidade, ainda que a preços muito próximos dos custos variáveis. Isto em um contexto onde a forma de concorrência predominante é o oligopólio, tanto no âmbito nacional, como internacional.

As empresas transnacionais jogam um papel chave nesta concorrência onde predominam as práticas oligopolistas, em particular sobre o controle das tecnologias em uso, seja porque possuem as patentes, seja porque possuem o know how de reprodução e operação da planta.

Outro aspecto relevante da indústria petroquímica, em termos de sua dinâmica, diz respeito aos ciclos de preços internacionais a que ela está sujeita, determinados pelos preços das matérias-primas e pelo balanço entre a capacidade instalada e a demanda. Esta última depende basicamente do nível de atividade econômica dos países desenvolvidos, mas se relaciona de uma forma crescente com o dinamismo dos países asiáticos, sobretudo a China. A existência de acentuados níveis de flutuações nos preços reforça a importância de manter estratégias de integração tanto vertical quanto horizontal e de estabelecer contratos de compra e venda a longo prazo, tanto na compra de insumos quanto na venda dos principais produtos (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Desde a década de 1980 é crescente a participação dos países em desenvolvimento na produção e nas exportações mundiais petroquímicas, originadas principalmente das grandes instalações construídas nos países produtores de petróleo do Oriente Médio e do norte da África e, ainda, nas economias de rápido crescimento do sudeste asiático. De todo modo, para que um país se torne em exportador relevante de produtos petroquímicos é preciso contar com a base de um importante mercado interno, que sustente a existência de plantas eficientes em escala e tecnologia.

A quase totalidade das tecnologias da indústria petroquímica surgiu de um pequeno grupo de empresas da própria indústria, as quais destinam montantes muito significativos de suas vendas à P&D. Para ingressar nesta indústria, as empresas dos países em desenvolvimento dependem, até hoje, da transferência de tecnologia. Algumas tecnologias são, também, de propriedade das empresas de engenharia.

Dois são os principais fatores exógenos responsáveis pela competitividade setorial: a disponibilidade e o preço das matérias-primas e o custo do investimento fixo. As matérias-primas alternativas – nafta, gás natural e GLP – representam uma parte significativa dos custos de produção dos petroquímicos básicos – 60 a 65% do custo total de produção, incidência que desce a 10/30% nos bens petroquímicos finais. Por sua vez, as grandes necessidades de capital e os longos períodos de maturação próprios dos investimentos na indústria petroquímica fazem com que o custo do capital seja outro item relevante; em geral os países em desenvolvimento têm desvantagens em relação a este item (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Na determinação dos custos exógenos, o Estado sempre teve um papel muito importante. Assim, na Europa, no Japão e nos Estados Unidos, tradicionalmente se promoveu a indústria petroquímica através de: (i) estímulos à formação de capital; (ii) preços preferenciais para suas matérias-primas; (iii) manejo da política comercial; (iv) participação acionária total, ou parcial, em empresas produtivas (especialmente na Europa Ocidental); (v) impulso às atividades científicas e tecnológicas; e (vi) assistência em períodos de crise. A assistência estatal teve um papel ainda mais importante nos países em desenvolvimento, destacando-se: coordenação estratégica, regulação da entrada no setor, subsídios ao investimento, alta proteção contra as importações, preços favoráveis para as matérias-primas e aportes diretos de capitais, totais ou parciais.

O nível de custos unitários de uma planta é determinado, principalmente, pela escala, tipo de processo produtivo e utilização da capacidade instalada. O mais importante destes fatores é a escala. O surgimento de um novo processo também pode trazer poupanças importantes, tanto nos custos de investimento,

como nos de operação. Ressalte-se, ainda, que a escolha do processo irá condicionar também o tipo de matéria-prima a utilizar, tanto no que diz respeito aos preços relativos das matérias-primas, quanto à sua disponibilidade no local (para evitar os elevados custos de transporte). O processo escolhido também irá influenciar na geração de co-produtos resultantes da operação produtiva. Finalmente, o modelo de organização empresarial, empresas especializadas em um único produto ou empresas diversificadas em vários produtos, também influencia fortemente a competitividade do setor, já que as economias pecuniárias são fortemente favoráveis às empresas grandes e diversificadas (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Em síntese, a tendência da indústria petroquímica no mundo é de internacionalização e recomposição através de fusão, aquisição etc., na busca de um desenvolvimento tecnológico acelerado, o que acirra, ainda mais, a competição. Portanto, a necessidade das empresas de obter maior competitividade pode explicar os altos investimentos em P&D e a busca constante de crescimento. Assim, há uma predominância de grandes empresas na indústria petroquímica mundial. Empresas líderes fabricam produtos de maior valor agregado, com frequência especializam-se em uma área, têm forte “conteúdo tecnológico” e centros de P&D que atuam em seus países de origem, permitindo uma constante atualização.

3.2.2.3 A formação da indústria petroquímica nacional

A indústria petroquímica no Brasil está organizada em torno de quatro centrais de matérias-primas: a Braskem (ex-Copene), a Companhia Petroquímica do Sul – Copesul, a Petroquímica União – PQU e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - Comperj. Estas centrais compõem o núcleo de pólos petroquímicos atualmente existentes no país, em Camaçari (BA), Triunfo (RS), São Paulo (SP) e Itaguaí (RJ), respectivamente.

O desenvolvimento da indústria petroquímica no Brasil começou dentro de um projeto voltado à substituição de importações. O período de maior impulso da indústria petroquímica brasileira ocorreu entre o final dos anos 60 e toda a década de 1970, mediante a implantação de pólos completos, dotados de grande articulação de compra e venda entre as unidades produtivas. A PQU entrou em operação em 1972, a Copene em 1978, a Copesul em 1982 (BAJAY et al., 1995) e o Comperj em 2004.

O modelo empresarial adotado no Brasil para implantar esta indústria resultou da associação de interesses acionários e empresariais de grupos privados nacionais e estrangeiros¹ e estatais², com um importante papel do Estado, através da Petrobrás e, mais especificamente, de sua subsidiária Petroquisa, como agente organizador e de fomento.

Durante o governo JK (1956-1961), período de grande expansão da economia, o crescimento da demanda por plástico no país, associado à necessidade de substituição de importações, gerou a necessidade de um parque industrial. Foi estimulada a implantação de subsidiárias de empresas internacionais em segmentos diversos de produtos finais (pois elas precisavam ampliar o mercado), assim como na produção e comercialização de derivados do petróleo e insumos químicos básicos. A participação de empresas brasileiras nos segmentos intermediários e finais era pouco representativa. No início da década de 1960, cinco empresas petroquímicas se instalaram no país, das quais quatro de capital estrangeiro e uma de capital nacional – Fábrica de Fertilizantes de Cubatão, em São Paulo.

Até a segunda metade dos anos 60, a indústria petroquímica brasileira apresentava dimensões relativamente modestas, uma vez que era composta por poucas unidades produtivas isoladas, sem articulação entre si, e não havia uma estratégia clara de expansão. A primeira metade daquela década foi um período de grande instabilidade política, com retração de investimentos estrangeiros, pela insegurança dos investidores estrangeiros tanto em relação ao fornecimento de matéria-prima quanto pela preocupação do crescimento do monopólio da Petrobrás.

¹ Detentores de tecnologia.

² “Modelo tripartite”. Este modelo de três grupamentos acionários, além de garantir concomitantemente o caráter privado e nacional dos empreendimentos, proporcionou: (i) um maciço ingresso de tecnologias no parque industrial brasileiro, sob a forma de capital de risco; minimização do desembolso de divisas; e (iii) redução a um nível mais suportável do esforço financeiro de cada grupamento acionário (OLIVEIRA, 1992, apud BAJAY et al., 1995).

Como nesse período o Estado aguardava que o setor privado tomasse a iniciativa de criar empresas petroquímicas, o desenvolvimento deste segmento industrial, até 1967, não ocorreu, ficando restrito à Petrobrás. Esta incumbiu-se da produção de fertilizantes, enquanto algumas empresas multinacionais implantaram suas filiais na região de Cubatão (SP), para produzir resinas termoplásticas. Um grupo de São Paulo criou a Petroquímica União (PQU), a primeira central de petroquímicos básicos do Brasil, que entrou em operação em 1972; o grupo pretendia implantar o maior complexo petroquímico da América Latina, hoje uma das quatro indústrias petroquímicas de 1ª geração do país. O projeto da Petroquímica União, foi formulado originalmente dentro de uma lógica que destacava a relevância do processo de substituição de importações.

Em função das expectativas de crescimento econômico para o país ao longo dos anos 1970 e, dada a restrição de divisas, que certamente imporia um limite às importações, o governo brasileiro considerou de fundamental importância a viabilização de um projeto mais ambicioso com relação à expansão do parque petroquímico³. Foi formado um grupo de estudos entre técnicos da Petrobrás e do então Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE, que acabou por orientar, em grande medida, a expansão deste setor (BAJAY et al., 1995).

Duas ações concomitantes foram recomendadas por aquele grupo de estudos: (i) a expansão em bloco e em toda a linha da indústria petroquímica brasileira e (ii) a criação da Petroquisa, subsidiária da Petrobrás, braço estatal para a realização de estudos básicos, programação e implantação de uma indústria de porte internacional, que poderia participar do capital acionário das várias empresas que fossem criadas⁴.

Através do Decreto no 61.981, de 1967, foi criada a Petrobrás Química (Petroquisa), empresa estatal, holding da Petrobrás para o setor, que teve importância decisiva no incremento das indústrias química e petroquímica já existentes e na criação de novas empresas, participando com a integralização do capital de muitas delas, e com participação nas principais empresas que deram origem aos pólos petroquímicos. Além da criação da Petroquisa, o Estado incentivou a indústria petroquímica, oferecendo crédito subsidiado do BNDE, restrições de importações, além da oferta de nafta a preços atrativos.

O grupo de estudos percebeu com clareza que o projeto de expansão do parque petroquímico no Brasil deveria tirar proveito de duas particularidades deste segmento industrial – as economias de escala e de aglomeração, que interferem sobremaneira em sua eficiência técnico-econômica. O primeiro aspecto está, evidentemente, associado ao porte, permitindo que quanto maior for a capacidade de produção das unidades produtivas, menor seja o investimento médio unitário. O segundo aspecto sinaliza para que a implantação das indústrias ocorra de uma forma concentrada, proporcionando o que se convencionou denominar “economias de aglomeração”⁵.

Esta constatação, levada às últimas consequências, pode igualmente ser observada na produção centralizada de utilidades⁶, no tratamento centralizado de efluentes líquidos e, com uma importância menor, na manutenção centralizada de equipamentos e instalações pesadas.

Um pólo petroquímico assim concebido compreende a reunião de todas as unidades produtivas em uma mesma micro localização: produção centralizada de petroquímicos; produção centralizada de utilidades; serviços centralizados de manutenção pesada e serviços centralizados de tratamento de efluentes (BAJAY et al., 1995).

Este modelo, de concepção originalmente japonesa, foi introduzido no Brasil, em Camaçari, na Bahia. Ele foi, depois, repetido em Triunfo, no Rio Grande do Sul, e em Itaguaí, no Rio de Janeiro (Projeto Comperj).

³ Uma das principais características do mercado petroquímico reside na elevada elasticidade-renda de seus produtos.

⁴ Estas empresas formavam o “Sistema Petroquisa”.

⁵ A produção concentrada, atendendo a um grande número de usuários, proporciona ganhos de escala, com reduções substanciais nos investimentos e nos custos operacionais médios.

⁶ Tratamento de água, produção de vapor, produção de ar comprimido e de gases inertes, geração de eletricidade, etc.

3.2.2.4 A indústria petroquímica no Brasil a partir da década de 1990

Em 1990 a Petroquisa detinha o controle acionário de 36 empresas. No curso dessa década, por causa do endividamento externo e da dificuldade de crédito internacional, bem como do Programa de Desestatização das Empresas Nacionais, iniciado no governo Collor, a participação da Petroquisa, empresa responsável pelos elevados investimentos no setor, foi drasticamente reduzida no capital das empresas petroquímicas. Mais do que isso: chegou a ser alienada sua participação nas centrais petroquímicas, inclusive sem mais o privilégio de planejar essa política industrial, o que impactou de forma negativa nos investimentos do setor e nas atividades de P&D. Para isso, também concorreram a abertura comercial e a redução da proteção tarifária (barreiras alfandegárias). A Petroquisa só manteve participação, e pequena, em três centrais petroquímicas: Petroquímica União (17,44% do capital total), Copene (Companhia Petroquímica do Nordeste, hoje Braskem) (11,27% do capital total) e Copesul (15,63% do capital total).

No curso dos anos 90 houve uma redução significativa da participação estatal nas decisões do segmento petroquímico, que, como se esperava, seria reestruturado para fazer face à concorrência internacional. Encerrou-se o modelo tripartite.

Nessa década a Copesul passou a ser controlada pela Odebrecht e Ipiranga, tendo conseguido crescer e manter-se atualizada tecnologicamente. Em 1995 o grupo duplicou o Pólo de Triunfo, em função do aumento de consumo, decorrente do Plano Real, que estabilizou a moeda quando instituído em julho de 1994 pelo governo Itamar. A Copene passou para o controle da Norquisa, por sua vez controlada por vários grupos. 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%.

No segundo semestre de 1994 houve um crescimento da indústria de termoplásticos (3ª geração), em decorrência do aumento da demanda de embalagens e de componentes e peças dos segmentos automobilístico, da construção civil e eletro-eletrônico, entre outros.

A duplicação da Refinaria Landulfo Alves, assim como a da Central de Matérias-Primas do Pólo Petroquímico de Camaçari, ocorrida em 1994, estimulou o crescimento da produção dessa indústria e de outros segmentos, como o de papel e celulose, mineração e metalurgia. Cresceu, em consequência, o PIB baiano. Nesse período, várias empresas se instalaram em Camaçari e outras ampliaram a sua capacidade de produção, como a Poliefinas, a Oxiteno e a CPC.

Em 1999, a desvalorização da moeda brasileira estimulou a exportação e dificultou a importação de produtos, o que favoreceu o crescimento das empresas petroquímicas de 2ª geração, já que, até então, havia vantagem na importação de seus produtos. Por outro lado, um aumento dos custos de produção destas empresas, ocorrido em 2000, decorrente da eliminação dos subsídios da nafta, pela Petrobrás, matéria-prima que representava 83 % dos seus custos variáveis, teve um efeito contrário.

Ao final do ano 2000, a participação do Banco Econômico na Conepar S.A., holding da Norquisa, controladora da Copene, foi colocada a leilão, assim como a dos grupos Odebrecht e Mariani⁷. Esse leilão e o segundo realizado em 2001 não obtiveram êxito, devido ao valor cobrado. Em 2001 a Norquisa, holding da Copene, responsável, então, por 40% da produção de matéria-prima para a indústria petroquímica, foi adquirida pelo Consórcio Odebrecht-Mariani. Dessa transação, passaram para o Grupo Odebrecht-Mariani o controle da Polialden (que fabrica polietileno de alta densidade), com 66,7% do

⁷ A Odebrecht, de nacionalidade brasileira, teve sua origem na atividade de construção civil e ingressou no setor petroquímico em 1979, quando iniciou uma série de aquisições como a Triken e OPP e, posteriormente, a Copene, iniciando aí, um processo de integração das suas empresas que culminou com a formação da Braskem, líder de termoplásticos na América Latina. O Grupo Odebrecht Química também participa do controle da Companhia Petroquímica do Sul (Copesul), uma central petroquímica do Pólo Petroquímico de Triunfo (RS). Mariani, também de nacionalidade brasileira, tem tradição no setor financeiro, desde 1858, com o Banco da Bahia. Investiu, na década de 1970, no Pólo Petroquímico de Camaçari e iniciou participações na Pronor Petroquímica S.A. e Nitrocarbono S.A. e, posteriormente, na Copene. Os dois grupos, portanto, já atuavam na fabricação de produtos petroquímicos de 2ª geração.

capital votante e 35% do capital votante da Politen (empresa controlada pelo Grupo Suzano, que fabrica polietilenos), dando origem à Braskem, através dessa integração. Hoje esse grupo responde por 37% da produção anual de eteno (Aquiim, 2007), o que permite maior poder de barganha junto à Petrobrás, na obtenção de nafta, além de lhe assegurar melhor posição no mercado internacional. Visto que a Odebrecht tem estratégias claras para a petroquímica, isso representou uma maior diversificação de produtos, maior economia de escala (redução de impostos e despesas administrativas), maior integração vertical do propeno para o polipropileno (o que foi possível pela integração da 1ª geração – Copene – com algumas indústrias de 2ª geração – OPP Química, Triken (antiga CPC), Polialden, Proppet, Nitrocarbono), maior investimento em tecnologia e inovação etc., o que propiciou uma maior competitividade das indústrias desse segmento. A Braskem, formada por seis empresas, possui hoje 13 fábricas, localizadas nos Estados de Alagoas, Bahia, São Paulo e Rio Grande do Sul. É considerada uma das cinco maiores empresas de capital privado do país, gerando 2.800 empregos diretos. São acionistas da Braskem: a Petroquisa, o Fundo de Pensão da Petrobrás (Petros) e o Fundo de Pensão do Banco do Brasil (Previ).

Atualmente, no Pólo Petroquímico de Capuava, mais conhecido como Pólo Petroquímico de São Paulo, localizado no município de Santo André (SP), está instalada a Central Petroquímica União (PQU), que produz petroquímicos básicos, com capacidade instalada de 500 mil ton/ano de eteno em 2006 e mais de 1.000.000 ton de outros insumos, além de resinas. É formado por mais de 40 indústrias, entre as quais Oxiteno, Polibrasil, Polietilenos União, Unipar – Divisão Química, Cabot, Polibutenos e Solvay Polietileno.

No Pólo Petroquímico de Camaçari, localizado em Camaçari, na Região Metropolitana de Salvador, Bahia, está instalada a Braskem (antiga Copene), produtora de petroquímicos básicos, intermediários e finais, com capacidade instalada de 1,28 milhões de ton/ano de eteno em 2006 (em um total de mais de 8 milhões de ton/ano de produtos químicos e petroquímicos), maior central de matérias-primas da indústria petroquímica brasileira. É formado por mais de 60 empresas químicas, petroquímicas (entre as quais Braskem, Policarbonatos, Dow Brasil (Isopol), Politen, Oxiteno, Estireno do Nordeste (EDN) e Polibrasil) e de outros ramos de atividades como a Ford, Bahia Pulp, etc. As empresas aí localizadas são responsáveis por mais de 50% do total nacional de produtos químicos e petroquímicos.

O Pólo Petroquímico de Triunfo, localizado na cidade de Triunfo, Rio Grande do Sul, tem como núcleo a Copesul (Companhia Petroquímica do Sul)⁸, produtora de petroquímicos básicos (capacidade instalada de 1,135 milhão de ton/ano de eteno em 2006). Constituído por oito indústrias de 2ª geração: Borealis OPP, DSM Elastômeros, Innova, Ipiranga Petroquímica, OPP Química, Oxiteno, Petroflex e Petroquímica Triunfo, o pólo é responsável pela geração de 95% de toda a riqueza do município e 3,5% da do Estado.

Há, ainda, o Complexo Gás-Químico do Rio de Janeiro, que entrou em operação em 2004, utilizando como matéria-prima o gás natural, em uma iniciativa pioneira no país. A Rio Polímeros S.A., uma empresa de 1ª geração, controlada pelos grupos Unipar e Suzano, foi instalada nesse complexo; ela e a Petroquisa produzem eteno (capacidade de produção de 520.000 toneladas por ano em 2006) e propeno (capacidade de produção de 75.000 toneladas por ano em 2006).

O Pólo Petroquímico de Paulínia deverá ser o segundo maior pólo petroquímico de São Paulo, envolvendo um investimento total previsto de US\$ 2 bilhões (ABIQUIM, 2007). A Petroquímica Paulínia S.A., controlada pela Braskem/Petroquisa, produz polipropileno desde 2008, com uma capacidade instalada de 300.000 toneladas/ano.

Foi concluído em 2007 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 Sociedade Petroquímica, atualmente denominada Quattar, formada pela Petrobrás/Petroquisa e Unipar, e a Braskem, na qual a estatal participa junto com o grupo Odebrecht. Com a reestruturação, a Braskem – que já era a maior empresa latino-americana do setor petroquímico – ascendeu ao posto de terceira maior das Américas, superada apenas pelas gigantes Exxon e Dow Química. Ao entrar como sócia minoritária nas duas empresas, a Petrobrás não só elevou expressivamente a presença estatal no setor como

⁸ A Copesul é controlada pela Odebrecht e Ipiranga.

viabilizou o processo de concentração, a exemplo do que vem ocorrendo lá fora. Toda esta movimentação foi feita, sobretudo, com troca de ativos, além de desembolso em espécie.

Com este novo arranjo, a receita bruta da Braskem, que vai incorporar as participações da Petrobrás e Petroquisa na Copesul, Ipiranga Petroquímica, Ipiranga Química, Triunfo e Petroquímica Paulínia, deve atingir US\$ 11,4 bilhões. A Quattar, a nova companhia do Sudeste, por sua vez, nasceu com uma receita líquida de R\$ 6,1 bilhões. Com a fusão, a Petrobrás vai receber cerca de R\$ 700 milhões da Unipar referente às vendas de ativos da Suzano Petroquímica – empresa adquirida pela estatal em 2007 – e da Rio Polímeros.

Serão dois grandes grupos no Brasil, mas, segundo diversos analistas do setor, não há risco de monopólio, porque o pólo do Sul/Nordeste será um concorrente do pólo do Sudeste.

3.2.2.5 *Competitividade da indústria petroquímica brasileira*

Algumas das características do segmento petroquímico brasileiro:

- (1) grande concentração de indústrias de 2ª geração, decorrente tanto de dificuldades técnicas quanto do elevado custo de transporte;
- (2) grandes empresas monoprodutoras;
- (3) integração e economia de escala reduzidas;
- (4) dificuldade de acesso aos insumos;
- (5) mercados consumidores pouco representativos, uma vez que o consumo local é baixo, se comparado ao de países desenvolvidos;
- (6) baixo grau de verticalização⁹ para fabricar produtos de maior valor agregado;
- (7) reduzido investimento em P&D;
- (8) atividades muito diversificadas e dispersas,

que dificultam a sua competitividade interna e externa e reduzem a “capacidade de financiamento das empresas”, impactando no seu equilíbrio financeiro e patrimonial.

Além disso, o segmento se ressentir dos impostos que incidem na aquisição de bens de capital, das taxas de juros, da infra-estrutura precária (especialmente, portos e estradas), itens que elevam o custo de produção, reduzindo a capacidade de investimento e a competitividade.

Kupfer, Hasenclever e Antunes (2006) mencionam os seguintes aspectos que afetam de uma forma negativa a competitividade da indústria petroquímica nacional:

- Déficit comercial crescente;
- Dificuldades de obtenção de tecnologia para produção nacional;
- Uma atuação lenta do órgão regulador da propriedade intelectual prejudica a competitividade de empresas brasileiras;
- Exportações realizadas a partir de traders contribuem para a venda de resinas de menor valor agregado;
- O alto nível de endividamento de alguns players e a sua consequente capacidade limitada de reinvestimento;
- Dificuldades para expansões significativas de capacidade dos pólos existentes.

⁹ Nos Estados Unidos, Europa e Japão, as empresas petroquímicas são “totalmente integradas e verticalizadas”.

Entre as principais oportunidades surge o Projeto Comperj, que produzirá os seguintes benefícios: (i) redução dos volumes exportados de petróleo nacional, agregando valor a este produto; (ii) redução da importação de petroquímicos, gerando uma economia de divisas de US\$ 2 bilhões/ano; (iii) geração substancial de novos empregos; e (iv) oportunidade de desenvolvimento da indústria nacional de bens e serviços (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Com a criação da sociedade com a Petrobrás, a Unipar espera um ganho de sinergia e de competitividade, já que, agora, a empresa estará baseada no principal pólo produtor e consumidor de produtos da petroquímica.

3.2.3 A indústria de soda-cloro

A indústria de soda-cloro começou no Brasil em 1935, localizando-se nos centros mais desenvolvidos da região Sudeste.

Apesar da indústria de soda-cloro ter-se instalado no país antes da década de 1950, seu crescimento significativo só se deu na década de 1960, acompanhando o surgimento das primeiras unidades petroquímicas. Até a entrada da primeira unidade da Salgema (atual Braskem), em 1977, no Estado de Alagoas, o Brasil era importador de soda, que atendia, principalmente, aos tradicionais mercados de sabão, produtos têxteis, óleos e ao até então incipiente parque petroquímico (BAJAY et al., 1995).

O setor de soda-cloro teve um crescimento muito grande na década de 1970, particularmente na segunda metade desta década, quando cresceu 25% ao ano. Em 1978 a produção de soda atingiu 600.000 toneladas, conseguindo atender ao mercado nacional, a esta altura acrescido das demandas oriundas dos segmentos industriais de alumínio e de celulose e do pólo petroquímico de Camaçari.

O atendimento ao mercado interno ocorreu até 1985 a um nível de produção de cerca de 900.000 t/ano. Mesmo trabalhando com um fator de utilização em torno de 95%, a capacidade instalada já não dava conta dos crescentes mercados de alumínio, celulose e petroquímico, principalmente o mercado de termoplásticos, obrigando o país a importar soda novamente, a partir de 1985 (BAJAY et al., 1995).

A partir da década de 1980 a ampliação do setor de soda-cloro passou a ser planejada e integrada nos programas de expansão do setor petroquímico, conforme ficou evidente no Plano Nacional de Petroquímica de 1987.

Os produtores de soda-cloro no Brasil em 2006 estão relacionados a seguir, junto com a sua parcela do mercado destes dois produtos: Braskem (35,6% do mercado do cloro e 35,2% do mercado da soda), Dow Brasil (29,2% do mercado do cloro e 30,3% do mercado da soda), Carbocloro (20,5% do mercado do cloro e 21,2% do mercado da soda), Solvay Indupa (5,3% do mercado do cloro e 5,5% do mercado da soda), Canexus (3,4% do mercado do cloro e 3,5% do mercado da soda), Pan Americana (2,5% do mercado do cloro e 0,6% do mercado da soda), Igarassu (2,1% do mercado do cloro e 2,2% do mercado da soda) e Aracruz (1,4% do mercado do cloro e 1,5% do mercado da soda). Estas empresas ainda produzem ácido clorídrico e hipoclorito de sódio (com a exceção da Dow Brasil) (ABICLOR, 2007).

3.2.4 Química fina – fármacos e defensivos

3.2.4.1 Fármacos e indústria farmacêutica – o quadro internacional

3.2.4.1.1 Características da oferta

No que se refere à matéria-prima para o desenvolvimento e a produção de medicamentos, as principais dimensões dizem respeito à sua natureza, localização e acesso (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006). Em relação à natureza da matéria-prima distinguem-se: i) os farmoquímicos, que se originam da síntese química de materiais orgânicos; ii) os fitoterápicos, produzidos exclusivamente a partir do isolamento da substância medicamentosa encontrada em material botânico integral ou seu extrato; e iii) os biotecnológicos, produzidos a partir de substâncias engenheiradas através da biologia molecular.

A produção de matéria-prima para os medicamentos farmoquímicos é originária da indústria de química fina. A cadeia de química fina abrange a elaboração de produtos químicos de maior valor agregado que os da cadeia petroquímica, e são classificados como intermediários e especialidades. Os produtos intermediários servem como matéria-prima para a elaboração do produto final, contém o princípio ativo e são também chamados de fármacos.

Os produtos da indústria farmacêutica podem também ser classificados segundo outros três critérios principais – além do critério da origem da matéria-prima acima explicitado. Estes critérios estão associados às exigências regulatórias no que diz respeito à necessidade de prescrição, à legislação de propriedade industrial, à saúde pública e podem variar em cada país.

Em relação à localização das plantas, observa-se um quadro heterogêneo em relação à produção de fármacos e medicamentos. A indústria farmacêutica é fortemente internacionalizada. As maiores empresas atuam em escala mundial, estando presentes em praticamente todos os mercados. No entanto, elas não realizam atividades produtivas em todos eles, e em alguns países não existem nem empresas nacionais. Observa-se a existência da concentração na produção de fármacos nos EUA e na Europa, embora venha tendo destaque a produção na Índia. No caso de medicamentos, observa-se a produção local nos principais mercados mundiais, indicando que a proximidade dos mercados é um fator importante para a produção de medicamentos e não parece ser para a produção de fármacos.

Em relação ao ciclo de vida dos produtos, isto depende em grande parte do interrelacionamento entre os condicionantes da demanda, a estrutura do mercado e a conduta das empresas em relação à competição e ao esquema regulatório vigente; portanto, varia de país para país, podendo se observar um ciclo de vida dos produtos mais longo nos países menos desenvolvidos.

Quanto ao volume de mão-de-obra usada e sua qualificação, essa indústria emprega uma parcela bem pequena do total empregado na indústria de transformação e exige altos níveis de qualificação, resultando em um dos mais altos salários pagos da indústria de transformação. A baixa capacidade de geração de empregos é decorrente da baixa interferência manual no processo produtivo e a alta qualificação decorre dos altíssimos graus de pureza e qualidade do produto que as regulamentações exigem. A indústria absorve somente profissionais capacitados, sendo normalmente de formação técnica de nível médio ou superior.

No que se refere à tecnologia empregada, a indústria farmacêutica é classificada como uma indústria intensiva em tecnologia (“science based”). Algumas das tecnologias utilizadas para produzir medicamentos, tais como os analgésicos e antitérmicos, os antiinflamatórios, antibióticos, antiinfeciosos e vitaminas datam, respectivamente, da segunda metade do século XIX e da primeira metade do século XX. Entretanto, estas tecnologias têm apresentado constantes mudanças a partir de desenvolvimentos recentes nas áreas de farmacologia e na biotecnologia e nas técnicas de screening. O desenvolvimento da biotecnologia a partir de 1970 implicou na mudança do paradigma tecnológico de busca de novos medicamentos, passando de uma estratégia de, primeiramente, desenvolver uma substância (em geral, através da síntese química) e,

posteriormente, aplicá-la no corpo humano, para síntese de proteínas que alterarão o metabolismo humano por si só. De fato, com o uso da biotecnologia, primeiro tenta-se mapear o organismo para identificar os genes que tem alguma função no corpo e descobrir as proteínas a serem sintetizadas e as suas funções no organismo. A partir desse reconhecimento, então, é possível atacar diretamente as doenças causadas por deficiências nessas proteínas e não apenas as suas causas, como no paradigma anterior. Além disto, destaca-se o desenvolvimento de técnicas de screening que tornaram o processo de busca e seleção de novas moléculas mais rápido e eficaz através do uso de modelagem molecular auxiliada por tecnologias da computação. Todas estas mudanças imprimem um alto dinamismo tecnológico a esta indústria.

3.2.4.1.2 Características da demanda

Nos países desenvolvidos, embora com algumas distinções, observa-se uma melhor distribuição no que diz respeito ao acesso a medicamentos, bem como o estabelecimento de normas e regulamentações por parte dos governos. Já nos países em desenvolvimento encontra-se uma situação bastante diferente, onde a concentração de renda e as disparidades sociais, e a reduzida cobertura de alguns programas públicos de assistência farmacêutica, refletem um sistema de financiamento predominantemente privado de desembolso direto, restrito principalmente às camadas sociais com maior poder aquisitivo.

Estes fatores influenciam sobremaneira dois outros aspectos bastante importantes em relação à demanda de medicamentos, que dizem respeito à elasticidade-preço dos distintos segmentos e à propensão à substituição de produtos. A demanda se apresenta altamente inelástica a preços, devido a um efeito substituição em geral muito reduzido, uma vez que o consumidor final não é o responsável pela escolha do medicamento, e sim o médico, que, por sua vez, não é o responsável pelo desembolso monetário na compra (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

O determinante real do consumo de medicamentos é o nível de renda e sua distribuição. Assim, quanto maior é o nível de renda e melhor a sua distribuição, maior é o consumo de medicamentos. Nos países desenvolvidos, os remédios mais prescritos são destinados ao combate de males no sistema nervoso, sistema cardiovascular e sistema respiratório, enfermidades que dominam as sociedades industrializadas. Nos países em desenvolvimento, com nível de renda e distribuição inferiores aos dos países desenvolvidos, as doenças mais comuns são as parasitárias (malária, disenteria, lepra, tuberculose, entre outras). É possível observar, em alguns países em desenvolvimento, com certo grau de industrialização, a crescente importância das doenças crônico-degenerativas e do sistema cardiovascular, mais comuns nos países desenvolvidos.

Historicamente, a indústria farmacêutica vem apresentando um elevado potencial de crescimento, embora existam diferenças entre países. A disseminação do consumo de medicamentos, as mudanças nos hábitos da sociedade, a emergência de novas doenças como a AIDS e o retorno de algumas doenças como a tuberculose por um lado, e, por outro, o aumento da expectativa de vida mundial resultaram em um crescimento mais do que significativo nas vendas, fazendo com que as taxas de rentabilidade e crescimento do setor farmacêutico tenham sido sempre superiores às do setor manufatureiro como um todo. A isso tudo se alia a introdução de novas tecnologias e o aprimoramento do conhecimento a respeito dos processos a nível celular e molecular das doenças (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

3.2.4.1.3 Mercado

Em termos de segmentação do mercado, a indústria pode ser segmentada de diferentes maneiras. Via de regra, o segmento de medicamentos éticos (vendidos sob prescrição) é aquele que apresenta maior faturamento nos principais mercados. Mas a principal forma de segmentação é pelas classes terapêuticas (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Em relação ao segmento de medicamentos genéricos, até recentemente este se caracterizava por empresas de pequeno e médio porte, o que tem sido modificado com a entrada de grandes empresas no mercado com linhas próprias de genéricos ou por meio de aquisições ou alianças. A atratividade desse mercado tem crescido devido à tendência dos governos para estimular a substituição dos medicamentos de marca pelos genéricos, devido aos gastos crescentes com saúde no orçamento e o crescimento dos custos com medicamentos, o que tem afetado a estrutura da indústria com o segmento de genéricos.

A indústria farmacêutica não produz em larga escala. Entretanto, as economias de escala são importantes na medida em que o porte da empresa favoreça a capacidade de investimento em pesquisa e lançamento de novos produtos e na divulgação desses produtos, através da propaganda e marketing. Esses investimentos são sensíveis às economias de escala devido ao elevado custo fixo que representam, decorrentes da constituição de equipes de P&D e marketing, bem como das elevadas despesas operacionais para a sua manutenção. As economias de escopo, por sua vez, são bastante relevantes na indústria farmacêutica, que é constituída principalmente por empresas multiprodutos. Através das economias de escopo, as estas empresa compensam os ganhos que elas não podem obter a partir das economias de escala, limitadas pelo tamanho dos mercados de cada classe terapêutica; elas procuram utilizar os mesmos equipamentos fixos para a produção de uma gama variada de produtos (unidades multipropósitos).

É importante salientar que a competição entre medicamentos inovadores e medicamentos “mee too”, mostra-se cada vez mais acirrada. Estudo recente do governo norte-americano aponta que em 13 classes terapêuticas estudadas os medicamentos inovadores passaram a sofrer competição por medicamentos “mee too” após 1 ou 2 anos a contar da data da introdução no mercado (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

Na indústria farmacêutica, a patente é um meio de assegurar que, apesar dos elevados custos de pesquisa e dos altos riscos envolvidos, os produtores continuem investindo em novos medicamentos. Elas conferem ao seu detentor a exclusividade de mercado para os proprietários dos produtos e processos, propiciando um monopólio temporário sobre o princípio ativo, medicamento e ou processo produtivo, permitindo um ganho supranormal por um determinado período de tempo.

Em relação à integração vertical para trás e para frente na cadeia produtiva, observa-se que nos países mais desenvolvidos as empresas estão integradas com a produção dos fármacos e nos países em desenvolvimento a integração se dá através da importação de fármacos da matriz. Essa característica decorre da concentração da produção de fármacos nos EUA e na Europa.

Como respostas aos altos riscos das atividades de P&D em busca de complementaridade e sinergias que fortaleçam posições de mercado competitivas, as empresas têm realizado também processos de fusão e aquisição. Algumas empresas químicas compraram empresas pequenas e concorrentes da indústria de medicamentos, permitindo obter economias de escopo em P&D e marketing, enquanto algumas grandes empresas farmacêuticas uniram-se com empresas de biotecnologia (Kupfer, Hasenclever e Antunes, 2006).

3.2.4.2 Competitividade da indústria de química fina brasileira

As 12 principais empresas farmacêuticas que atuam no mercado brasileiro, segundo a Febrarma - Federação Brasileira da Indústria Farmacêutica, são responsáveis por 45,1% do faturamento do mercado. Entre estas se encontra apenas uma empresa brasileira, a Ache.

Além dessas empresas, é importante destacar as nove empresas mais importantes que atuam no mercado de genéricos. Esses nove associados juntos correspondem a aproximadamente 90% do mercado de genéricos no Brasil. Entre estas empresas verifica-se um fenômeno novo que é o fortalecimento do segmento nacional da indústria, há muito preterido pela competição das empresas multinacionais.

Apesar deste mercado ainda ser recente (regulamentado a partir de 1999) e pequeno, há boas perspectivas de crescimento, com excelentes perspectivas de ampliar o acesso da população a medicamentos que

têm um preço mais acessível e compatível com o perfil de renda da população brasileira. Estes produtos estão disponíveis em 3.580 apresentações, 56 classes terapêuticas, 249 princípios ativos e 944 registros, atendendo a mais de 60% das prescrições médicas, englobando as patologias que mais frequentemente acometem a população brasileira e grande parte das doenças crônicas (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

No segmento de defensivos, segundo a Sindag - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Agrícola, as cinco principais empresas são: Syngenta, Basf, Bayer, Monsanto e Nortox.

A balança comercial da indústria química fina brasileira é historicamente deficitária.

Observa-se que a maioria absoluta dos farmoquímicos importados não apresenta barreiras de patentes, além de suas rotas de síntese química serem bem conhecidas. Não há uma predominância da importação de produtos da fronteira tecnológica (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

No Brasil, em relação ao segmento químico farmacêutico pode-se avaliar um aspecto extremamente positivo em matéria de tecnologia da produção: as universidades (tanto de farmácia, como de química e de engenharia química), e os institutos públicos concentram um enorme conhecimento de produtos e de processos químico-farmacêuticos.

Diferente do caso da química orgânica de base (petroquímica, alcoolquímica, carboquímica) – que exigem dimensões enormes até para plantas piloto - as instalações de P&D para química fina (escalas laboratório e piloto), disponibilizam-se e adequam-se melhor para experimentações até em universidades.

Em decorrência e, felizmente para o Brasil, as tecnologias químico-farmacêuticas estão espalhadas em vários núcleos acadêmicos de excelência em todo o país.

Como consequência, algumas empresas de princípios ativos farmacêuticos nasceram e cresceram no meio acadêmico, e promoveram trabalhos conjuntos com centros de pesquisas, adquirindo experiência tecnológica entranhada em suas raízes de gestores, pesquisadores e em seus focos de ações empresariais. Essas empresas são do tipo “people dependent”, e são chamadas pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos como “de base tecnológica” (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

3.3 Importações e exportações

O Brasil é deficitário na balança comercial de produtos químicos. Desde 1990 as importações destes produtos têm crescido muito mais do que as exportações, como se pode verificar na Tabela 21. O déficit em 2006 ficou em US\$ 8,46 bilhões, contra US\$ 1,19 bilhões em 1990 e US\$ 6,63 bilhões em 2000.

Tabela 21

Importações e exportações brasileiras de produtos químicos, em US\$ 1.000 FOB, de 1990 a 2006

	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2001	2002	2004	2005	2006
Import.	3.267.748	3.589.519	5.667.350	8.894.897	10.078.313	10.659.239	10.089.173	11.016.366	14.502.650	15.330.208	17.377.229
Export.	2.078.204	2.288.665	2.778.728	3.498.104	3.625.070	4.030.126	3.830.766	4.807.822	5.922.312	7.380.605	8.918.397

Fonte: Sistema ALICE – MDIC/SECEX, apud Abiquim, 2007

No cenário internacional, destaca-se a forte elevação da cotação do barril de petróleo em 2006 e, conseqüentemente, da nafta petroquímica e do gás natural, com expressivo reflexo no preço internacional de diversos produtos químicos. A demanda internacional por produtos químicos, impulsionada pelo crescimento da economia mundial, tem se mantido em patamares elevados, sem a contrapartida, no mesmo ritmo, da elevação da oferta, o que vem se refletindo em pressões sobre os preços (ABIQUIM, 2007).

Uma situação semelhante se verifica em relação à balança comercial dos produtos químicos de uso industrial (Tabela 22).

A balança comercial brasileira é superavitária em produtos petroquímicos básicos e resinas termoplásticas; e deficitária em transformados plásticos, intermediários, nafta e outras resinas (KUPFER; HASEN-CLEVER; ANTUNES, 2006).

Tabela 22

Importações e exportações brasileiras de produtos químicos de uso industrial, em US\$ 1.000 FOB, de 1990 a 2006

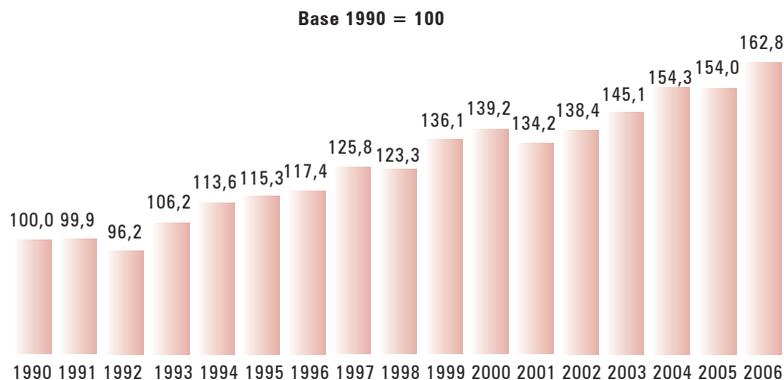
	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2002	2004	2005	2006
Import.	2.955.656	3.256.972	4.964.288	7.436.166	8.157.204	8.442.717	7.958.020	8.904.105	11.940.380	12.512.140	13.818.390
Export.	1.932.169	2.070.385	2.555.322	3.181.644	3.211.476	3.576.236	3.293.564	4.141.738	5.076.513	6.343.756	7.656.525

Fonte: Sistema ALICE – MDIC/SECEX, apud Abiquim, 2007

3.4 Indicadores macroeconômicos

3.4.1 Evolução da produção de produtos químicos de uso industrial

O Gráfico 7 ilustra a evolução da produção de 1990 a 2006, na forma de um número índice, dos produtos químicos de uso industrial monitorados pela Abiquim. A produção física destes produtos, em milhões de toneladas, de 2003 a 2007, encontra-se na Tabela 23. Pode-se observar, tanto no Gráfico 7 como na Tabela 23, um comportamento crescente, em média, neste período.



Fonte: Abiquim

Gráfico 7

Produtos químicos de uso industrial monitorados pela Abiquim: produção de 1990 a 2006, na forma de um número índice

Tabela 23

Produtos químicos de uso industrial monitorados pela Abiquim: produção física de 2003 a 2007, em toneladas

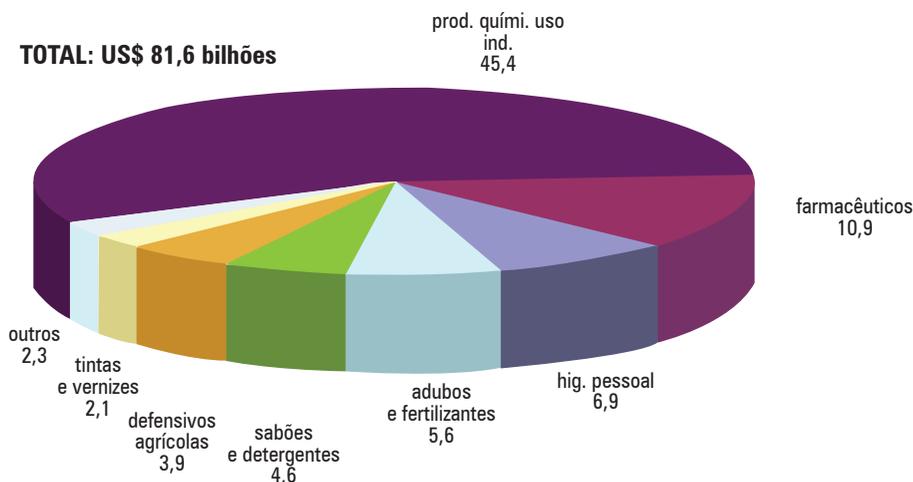
2003	2004	2005	2006	2007
35.300.000	37.600.000	37.200.000	38.644.900	39.929.900

Fonte: Abiquim

3.4.2 Faturamento

Segundo a Abiquim (2008), em termos de faturamento líquido e tomando como base o ano de 2005, a indústria química brasileira é a nona maior do mundo.

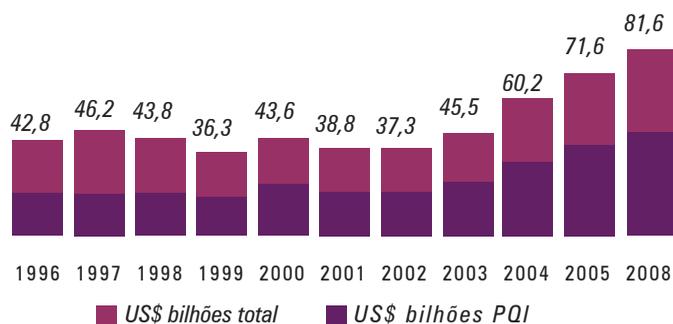
Em 2006, o faturamento líquido da indústria química brasileira, considerando todos os segmentos que a compõem, alcançou R\$ 177,7 bilhões, ou US\$ 81,6 bilhões. Os produtos químicos de uso industrial, com vendas totais de R\$ 98,7 bilhões, equivalentes a US\$ 45,4 bilhões, responderam por 55,6% do total do faturamento líquido da indústria em 2006. O segmento de produtos farmacêuticos, com faturamento de R\$ 23,8 bilhões (ou US\$ 10,9 bilhões), foi responsável por 13,3%. Os demais segmentos somados responderam por 31,1% do total (Gráfico 8). O Gráfico 9 mostra que a parcela dos produtos químicos de uso industrial no faturamento líquido total da indústria química vem aumentando gradualmente desde 1995.



Fonte: Abiquim, 2007

Gráfico 8

Composição do faturamento líquido da indústria química brasileira por segmentos em 2006, em US\$



Fonte: Abiquim

Gráfico 9
Evolução, de 1996 a 2006, do faturamento líquido da indústria química brasileira e dos produtos químicos de uso industrial, em US\$ bilhões

No período de 1990 a 2006, destacaram-se os grupos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, produtos farmacêuticos e defensivos agrícolas, que apresentaram taxas de crescimento anual médio nos últimos 17 anos acima de 8%, conforme indicado na Tabela 24.

3.4.3 Valor adicionado

A Tabela 25 mostra a evolução, de 1995 a 2005, do Valor Adicionado (VA) da indústria química brasileira, em R\$ constantes de 2005. O crescimento médio anual do VA desta indústria, neste período, foi de 3,4% a.a., superior ao crescimento médio do PIB no período em questão – 2,4% a.a..

Tabela 24
Faturamento líquido da indústria química brasileira, em US\$ bilhões, de 1990 a 2006

Segmentos	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003	2004	2005	2006	% a.a.
Produtos químicos de uso industrial	19,0	17,4	19,2	19,9	18,5	22,8	19,4	24,1	33,0	39,4	45,4	5,6
Produtos Farmacêuticos	2,7	3,0	5,0	7,6	8,7	6,7	5,2	5,6	6,8	9,2	10,9	9,1
Hig. pessoal, perf. e cosméticos	1,6	1,7	2,4	4,2	4,3	3,4	2,8	3,1	3,9	5,5	6,9	9,6
Adbos e fertilizantes	2,3	1,7	2,2	3,0	2,9	3,0	3,3	4,3	5,6	5,3	5,6	5,7
Sabões e detergentes ⁽¹⁾	2,0	2,0	2,0	2,8	3,1	2,3	2,1	2,1	2,7	3,9	4,6	5,3
Defensivos agrícolas	1,1	0,9	1,4	1,8	2,6	2,5	1,9	3,4	4,9	4,2	3,9	8,2
Tintas, esmaltes e vernizes	1,7	1,7	1,8	2,0	2,0	1,5	1,1	1,3	1,5	1,9	2,1	1,3
Outros	1,4	1,5	1,6	1,5	1,7	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	3,2
Total	31,8	29,9	35,6	42,8	43,8	43,6	37,3	45,5	60,2	71,6	81,6	6,1

Fontes: Abiquim e associações dos segmentos

(1) O faturamento de 1990 a 1994 foi estimado pela Abiquim em US\$ 2 bilhões

Tabela 25

Valor adicionado da indústria química no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005

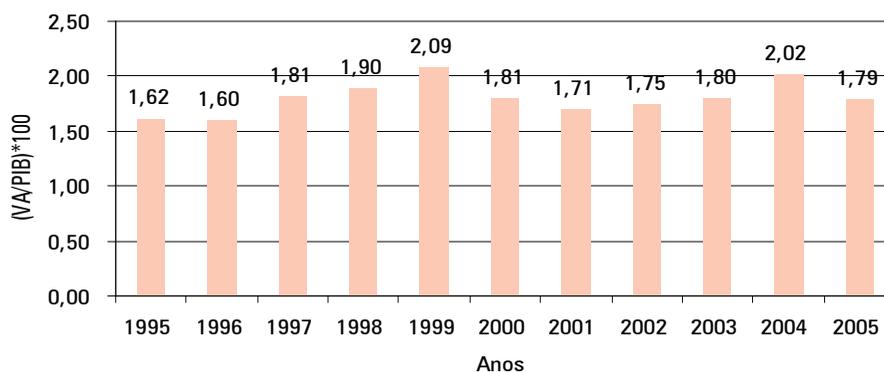
1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
27.458	27.628	32.449	33.942	37.422	33.793	32.369	33.979	35.485	42.144	38.385

Fonte: www.ibge.gov.br

O Gráfico 10 ilustra como evoluiu, no período de 1995 a 2005, a participação da indústria química na formação do PIB nacional. Pode-se observar, nesta figura, que houve um aumento nesta participação, de 1,62% em 1995 para 1,79% em 2005, com uma média de 1,81% ao longo deste período.

Não foram encontrados, na literatura econômica consultada, dados sobre os investimentos totais anuais da indústria química no Brasil. A Tabela 26 mostra os empréstimos anuais do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para os segmentos industriais químico, farmoquímico e farmacêutico, de 1998 a 2005. Observem-se, nesta tabela, os investimentos elevados no triênio 2001/2002/2003 e a sua retomada em 2005.

Em 2006 e 2007 estes segmentos industriais investiram 1,21 e 2,48 bilhões de Reais, respectivamente, em moeda corrente, sinalizando a continuidade da fase crescente de investimentos iniciada em 2005. 12,4% dos investimentos de 2007 e 24% dos de 2006 foram dos segmentos farmoquímico e farmacêutico, indicando um forte crescimento relativo recente destes segmentos (Disponível em: <www.bndes.gov.br/estatisticas>, 2008).



Fonte: Elaboração própria, com dados do IBGE

Gráfico 10

Participação percentual da indústria química na formação do PIB no Brasil, de 1995 a 2005

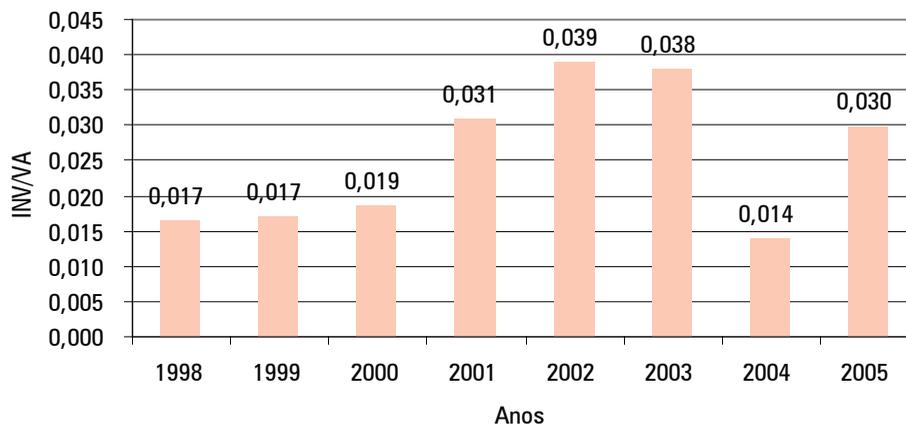
Tabela 26

Empréstimos do BNDES para investimentos dos segmentos industriais químico, farmoquímico e farmacêutico no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1998 a 2005

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Químico	538,5	602,4	576,0	926,6	1.155,7	1.222,0	487,2	1.012,9
Farmoquímico e farmacêutico	22,3	31,8	53,9	75,7	167,8	127,4	97,9	128,9
Total	560,8	634,2	630,0	1.002,3	1.323,5	1.349,4	585,1	1.141,8

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados, em R\$ correntes, do BNDES (Disponível em: <www.bndes.gov.br/estatisticas>, 2008)

O Gráfico 11 ilustra com bastante clareza o ciclo de investimentos destes segmentos industriais que se encerrou em 2004 e o início do seguinte.



Fonte: Elaboração própria, com os dados das Tabelas 22 e 23

Gráfico 11

Relação entre investimentos, com recursos do BNDES, e valor adicionado nos segmentos industriais químico, farmoquímico e farmacêutico no Brasil, de 1998 a 2005

A Abiquim calcula, desde 1998, o valor adicionado de uma amostra de empresas que fabricam produtos químicos de uso industrial, sob um enfoque contábil. Nos cálculos efetuados para 2006, a Abiquim (2007) encontrou a seguinte distribuição do valor adicionado total desta amostra de empresas pelos diferentes tipos de remuneração:

- (I) Impostos, taxas e contribuições para o governo: 39,4%
- (II) Remuneração do trabalho: 22,4%
- (III) Juros: 21,7%
- (IV) Juros sobre o capital próprio: 8,9%
- (V) Lucro retido: 7,7%

A Tabela 27 mostra como variou, a partir de 1998, o valor adicionado desta amostra de empresas como porcentagem de sua receita bruta. A Abiquim dividiu as empresas em três categorias: centrais petroquímicas, resinas termoplásticas e outras empresas. Pode-se observar, na Tabela 27, a forte queda, em média, neste quociente nas três categorias de empresas, mas, sobretudo, nos fabricantes de resinas termoplásticas. Segundo a Abiquim (2007), as principais causas desta queda foram: (i) aumento relativo da parcela de insumos adquiridos de terceiros vis-a-vis o aumento da receita bruta; (ii) diminuição das retenções (depreciação, amortização e exaustão); e (iii) decréscimo substancial das transferências (equivalência patrimonial e receitas financeiras).

Tabela 27

Valor adicionado de uma amostra de fabricantes de produtos químicos de uso industrial como % de sua receita bruta – de 1998 a 2006

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Centrais petroquímicas	33,1	39,6	24,8	24,1	33,4	23,2	30,2	30,0	23,3
Resinas termoplásticas	42,3	51,9	34,2	39,9	38,1	24,2	22,3	22,4	14,6
Outras empresas	37,4	39,5	32,1	33,5	38,7	35,8	31,0	28,0	27,2
Total	38,0	42,2	30,7	32,9	37,4	30,5	28,4	26,6	22,6

Fonte: Abiquim, 2007

3.4.4 Investimentos previstos no segmento de produtos químicos de uso industrial

Segundo a Tabela 28, as empresas que atuam no segmento de produtos químicos de uso industrial planejam investir US\$ 19,7 bilhões no Brasil até 2012, de acordo com os dados colhidos pela Abiquim. Desse total, US\$ 9,3 bilhões são de projetos aprovados e que se encontram em andamento e US\$ 8,4 bilhões são de projetos ainda em estudo, que dependerão do comportamento da economia para sua efetiva execução e, em alguns casos, da disponibilidade e acesso competitivo a matérias-primas. Há, ainda, um montante de US\$ 2 bilhões referente a investimentos diversos em manutenção, melhorias de processo, segurança, meio ambiente e troca de equipamentos, entre outros.

Abriendo os investimentos previstos para o período de 2007 a 2012 por estados, tem-se a seguinte distribuição:

Rio de Janeiro: US\$ 8,99 bilhões

São Paulo: US\$ 2,86 bilhões

Minas Gerais: US\$ 1,61 bilhões

Bahia: US\$ 1,29 bilhões

Rio Grande do Sul: US\$ 0,78 bilhões

Pernambuco: US\$ 0,67 bilhões

Paraná: US\$ 0,42 bilhões

Sergipe: US\$ 0,38 bilhões

A definir: US\$ 1,68 bilhões

Demais estados: US\$ 1,67 bilhões

Tabela 28
Investimentos previstos, em US\$ bilhões, no segmento de produtos químicos de uso industrial, por ano de realização

Ano	Expansão da oferta Aprovados ou em andamento	Expansão da oferta Planejados ou em estudo	Outros investimentos	Total de investimentos
Até 2006	1,03	0,02	0,35	1,40
2007	2,16	0,80	0,39	3,35
2008	1,97	1,47	0,37	3,81
2009	1,09	1,58	0,31	2,98
2010	0,79	1,58	0,25	2,62
2011	0,76	1,40	0,20	2,36
2012	1,46	1,51	0,16	3,13
Até 2016*	n.d.	0,69	n.d.	0,69
Total	9,26	9,04	2,03	20,34

* Valor relativo aos investimentos previstos para os projetos do Complexo Acrílico e da Unidade de Fertilizantes III, de 2013 a 2016.

n.d.: dado indisponível

Fonte: Abiquim, 2007

O principal investimento planejado atualmente na indústria petroquímica brasileira é a implantação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – Comperj, que prevê investimento em torno de US\$ 8,3 bilhões, sendo US\$ 5,2 bilhões na unidade de petroquímicos básicos. Para tanto, estão estimados a encomenda de equipamentos para atender a cinco mil itens de projeto, sem incluir as unidades downstream; para a realização dos projetos de engenharia (básico / FEED / detalhamento), serão contratadas cerca de sete milhões de horas-homem de execução de projetos. As principais matérias-primas utilizadas serão petróleo do campo de Marlim, da Bacia de Campos (quantidade: 150 mil bpd), e gás natural e/ou óleo combustível para geração de utilidades (KUPFER; HASENCLEVER; ANTUNES, 2006).

4 Caracterização Energética



4 Caracterização Energética

4.1 Consumo energético da indústria química brasileira como um todo

A Tabela 29 mostra a evolução, desde 1970, do consumo final dos energéticos usados na indústria química brasileira. Pode-se observar, nesta tabela, que o óleo combustível era a fonte de energia mais consumida nas décadas de 1970 e 1980 e que perdeu esta posição nas décadas seguintes para o gás natural e outros derivados de petróleo. Nesta última categoria, os gases de processos, como o gás de refinaria.

Tabela 29

Consumo final, em 10^3 tep, dos energéticos utilizados na indústria química brasileira em 1970, 1980, 1990, 2000, 2006 e 2007

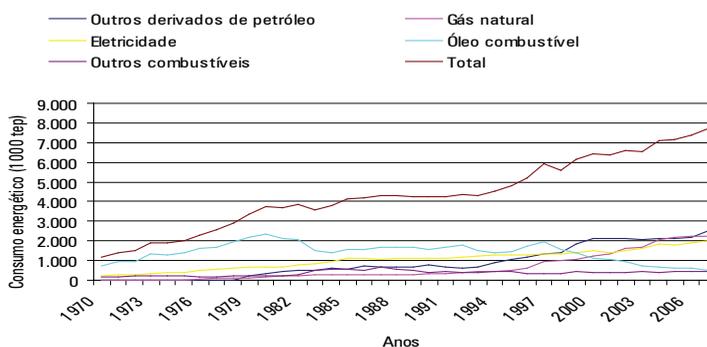
Energéticos	1970	1980	1990	2000	2006	2007
Gás natural	3	157	324	1.252	2.236	2.259
Carvão mineral	0	2	95	79	63	85
Lenha	123	87	218	74	52	51
Bagaço de cana e outras recup.	0	17	40	154	98	105
Óleo diesel	57	39	23	83	137	152
Óleo combustível	754	2.330	1.588	1.136	643	481
Gás liquefeito de petróleo	1	6	9	14	61	62
Nafta	0	33	0	0	0	0
Querosene	0	2	0	2	0	0
Gás canalizado	0	0	1	1	0	0
Eletricidade	227	686	1.145	1.483	1.880	1.985
Carvão vegetal	0	32	32	0	17	17
Outros derivados de petróleo	0	350	758	2.143	2.178	2.517
Total	1.166	3.741	4.234	6.421	7.364	7.715

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2008)

A indústria brasileira como um todo consome bastante bagaço de cana (sobretudo na indústria de alimentos e bebidas), carvão mineral, coque de carvão mineral e carvão vegetal (sobretudo na indústria siderúrgica), lenha e outras fontes primárias renováveis. Conforme se pode constatar na Tabela 29, o consumo destes energéticos é pequeno ou nulo (coque de carvão mineral) na indústria química. O mesmo ocorre com os consumos de óleo diesel e GLP.

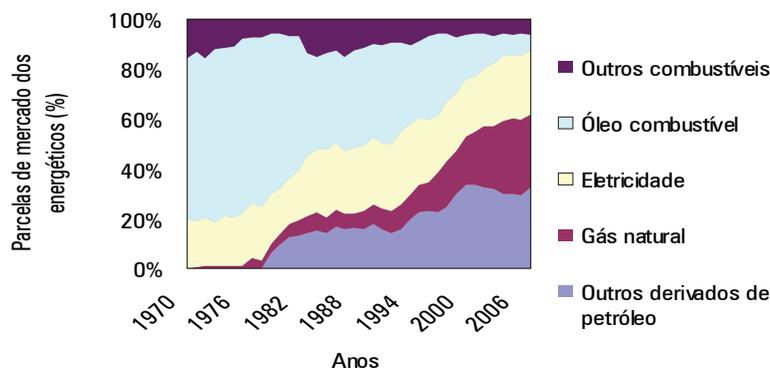
Ao Gráficos 12 e 13 ilustram como evoluíram, de 1970 a 2007, os consumos absoluto e relativo, respectivamente, dos energéticos empregados na indústria química brasileira. Nestas figuras se agregou os consumos de carvão mineral, lenha, bagaço de cana e outras recuperações, óleo diesel, GLP, nafta, querosene, gás canalizado e carvão vegetal em uma categoria denominada “outros combustíveis”. Estas figuras mostram bem o forte processo de substituição do óleo combustível por gás natural e pela categoria “outros derivados de petróleo”. O consumo de energia elétrica, em termos absolutos, tem crescido na maioria dos anos, mas a sua parcela de mercado tem oscilado bastante, entre os limites de 18 e 29%; em 2006, a sua participação no consumo energético desta indústria foi de 25,7% (Gráfico 14).

O Gráfico 14 mostra que os maiores consumos da indústria química brasileira em 2007 foram de outros derivados de petróleo (32,6%), gás natural (29,3%), e eletricidade (25,7%), vindo, a seguir, com consumos bem mais baixos, o óleo combustível (6,2%) e outros combustíveis (6,1%). À guisa de comparação, a participação relativa do gás natural no consumo energético da indústria brasileira em 2007 foi de 9,9%. O segmento químico é o maior consumidor de gás natural na indústria brasileira (EPE, 2008).



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2008)

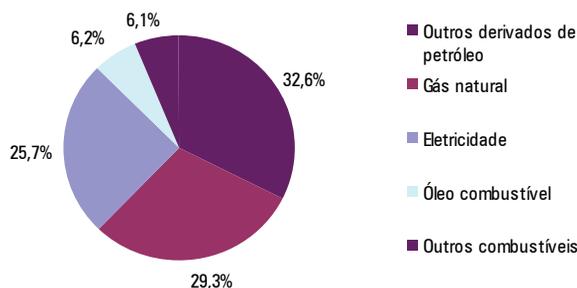
Gráfico 12
Consumo, em 10^3 tep, dos energéticos utilizados na indústria química brasileira, de 1970 a 2007



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2008)

Gráfico 13
Evolução, em %, de 1970 a 2007, das parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria química brasileira

É importante ter em mente que, como a categoria “outros derivados de petróleo” é constituída principalmente por resíduos, sobretudo gasosos, de processos de produção de derivados de petróleo e de produtos químicos que utilizam derivados de petróleo como matérias-primas de baixo custo de oportunidade, eles dificilmente serão substituídos por outros combustíveis no futuro. Logo, o principal energético que o gás natural poderá substituir no futuro é o óleo combustível, mas, se a disponibilidade do gás natural for insuficiente, e/ou seu preço for elevado, ele poderá ser substituído não só pelo óleo combustível, como também, por resíduos da produção de derivados de petróleo e de alguns produtos químicos, evidentemente restritos à sua disponibilidade.



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2008)

Gráfico 14
Participações relativas dos energéticos no consumo de energia da indústria química brasileira em 2007

O Gráfico 15 ilustra a evolução, de 1996 a 2005, das intensidades elétrica, de energia térmica e energética da indústria química brasileira. Observe-se, nesta figura, que a intensidade elétrica permaneceu quase constante durante este período e que a intensidade de energia térmica, embora tenha variado mais, não se afastou muito de um valor médio em torno de 0,14 tep/10³ R\$ de 2005.

Infelizmente, por não existir um monitoramento da produção total de produtos químicos no Brasil, não é possível calcular os consumos energéticos específicos desta indústria como um todo.

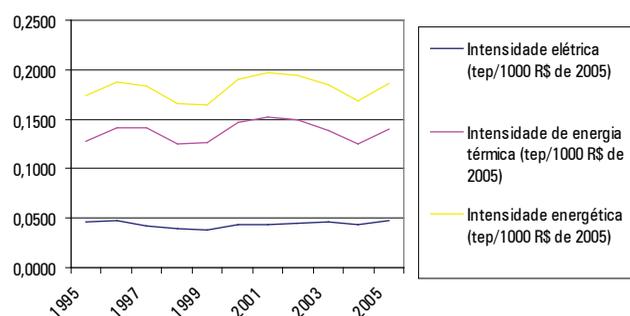
A Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE, ligada à Universidade de São Paulo, foi contratada em três momentos diferentes pelo Ministério de Minas e Energia – MME para realizar levantamentos de campo que permitissem estimar: (i) a distribuição, por usos finais, do consumo de cada um dos energéticos utilizados nos setores consumidores representados no Balanço Energético Nacional (BEN); e (ii) o rendimento da conversão em energia útil para cada uma destas combinações setor consumidor/energético utilizado.

A FDTE realizou estes levantamentos para 1984, 1994 e 2004 e os seus resultados foram designados como Balanços de Energia Útil – BEU (MME, 2005). No que se referem à indústria química, os dados de 1984 foram obtidos com base em informações bastante confiáveis, levantadas pelo Conselho Nacional de Petróleo, antecessor da ANP. As estimativas para 1994 já se valeram de um espaço amostral bem mais reduzido, mas ainda significativo. Os cálculos para 2004, por seu turno, se basearam nos consumos só de sete empresas da indústria química e requereram a utilização de informações do levantamento de 1994 para se manterem coerentes com os dois outros levantamentos. Seu grau de confiabilidade, portanto, é baixo.

Os usos finais da energia considerados neste trabalho foram os mesmos do BEU:

- aquecimento direto: energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas;
- calor de processo, na forma de vapor gerado: energia usada em caldeiras e aquecedores de água ou circulação de fluídos térmicos;
- força motriz: energia usada em motores estacionários ou de veículos de transporte individual ou coletivo, de carga, tratores, etc;
- refrigeração: energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar condicionado tanto de ciclo de compressão ou de absorção;
- processos eletroquímicos: energia usada em células eletrolíticas, processos de galvanoplastia, eletroforese e eletrodeposição;
- iluminação: energia utilizada em iluminação de interiores e externa;
- outros usos finais: energia utilizada em computadores, telecomunicações, máquinas de escritório, xerografia e equipamentos eletrônicos de controle.

A Tabela 30 apresenta os coeficientes de destinação estimados pela FDTE para a indústria química brasileira em 2004. Utilizando estes coeficientes com os dados de consumo dos energéticos empregados na indústria química brasileira em 2006, obtêm-se os resultados expostos na Tabela 31.



Fonte: Elaboração própria, com dados do Balanço Energético Nacional e do IBGE – Contas Nacionais

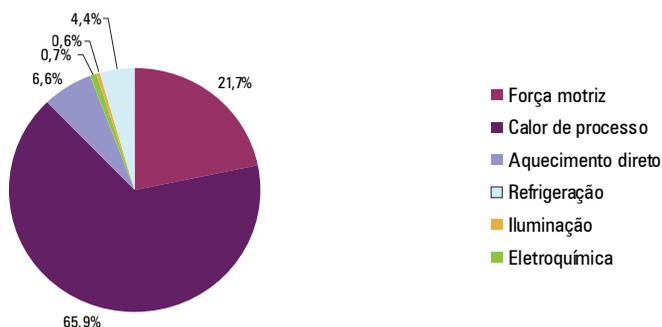
Gráfico 15
Intensidades elétrica, de energia térmica e energética da indústria química brasileira, em tep/10³ R\$ de 2005, de 1995 a 2005

Tabela 30
Coefficientes de destinação do BEU para a indústria química brasileira em 2004

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras	Total
Gás natural	0,033	0,957	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Carvão vapor	0,000	0,091	0,909	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Carvão metalúrgico	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Lenha	0,000	0,846	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Produtos da cana	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Outras fontes primárias	0,000	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Óleo diesel	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Óleo combustível	0,000	0,830	0,170	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Gasolina	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
GLP	0,049	0,149	0,802	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Querosene	0,000	0,074	0,926	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Gás	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Coque de carvão mineral	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Eletricidade	0,737	0,019	0,019	0,025	0,026	0,174	0,002	1,000
Carvão vegetal	0,000	0,200	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Álcool etílico	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Outros derivados de petróleo	0,000	0,935	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Alcatrão	0,000	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000

Fonte: MME, 2005

O Gráfico 16 mostra que, segundo o levantamento efetuado pela FDTE para 2004, o uso dominante da energia na indústria química brasileira é o calor de processo, responsável por 65,9% do seu consumo energético total, seguido pela força motriz, com 21,7% do consumo total, aquecimento direto, com 6,6%, e eletroquímica, com 4,4%. Cada um dos outros três usos finais respondem por menos que 1% do consumo energético total.



Fonte: Elaboração própria, com dados do BEN e BEU

Gráfico 16

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético total da indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação do BEU para 2004

Tabela 31

Distribuição, por usos finais, em 10³ tep, do consumo dos energéticos empregados na indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação do BEU para 2004

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras	Total
Gás natural	73,9	2.140,3	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2.236,5
Carvão vapor	0,0	5,7	57,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7
Carvão meta-lúrgico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lenha	0,0	44,1	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,1
Produtos da cana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outras fontes primárias	0,0	49,0	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,0
Óleo diesel	137,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	137,4
Óleo combustível	0,0	533,5	109,1	0,0	0,0	0,0	0,0	642,5
Gasolina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GLP	3,0	9,1	49,2	0,0	0,0	0,0	0,0	61,4
Querosene	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gás	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coque de carvão mineral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eletricidade	1.384,7	35,0	35,0	47,2	48,4	326,4	2,9	1.879,5
Carvão vegetal	0,0	3,4	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	17,1
Álcool etílico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outros derivados de petróleo	0,0	2.036,0	141,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2.177,5
Alcatrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1.599,0	4.856,0	484,9	47,2	48,4	326,4	2,9	7.364,9

Fonte: Elaboração própria, com dados do BEN e BEU

A Tabela 32 apresenta os rendimentos de conversão estimados pela FIPE para cada par energético/ uso final na indústria química brasileira em 2004, enquanto que a Tabela 33 mostra rendimentos de conversão de referência para os mesmos pares, correspondendo às tecnologias mais eficientes, sob o aspecto consumo energético, disponíveis no mercado. No BEU utiliza-se estes rendimentos de referência para estimar potenciais de economia de energia (MME, 2005) nos diversos segmentos consumidores.

Alguns dos valores das Tabelas 32 e 33 parecem, à primeira vista, irrealisticamente elevados.

Tabela 32

Rendimentos de conversão do BEU para a indústria química brasileira em 2004

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Eletriquímica	Outras
Gás natural	0,480	0,880	0,520	-	-	-	-
Carvão vapor	-	0,770	0,320	-	-	-	-
Carvão metalúrgico	-	-	0,320	-	-	-	-
Lenha	-	0,770	0,320	-	-	-	-
Produtos da cana	-	0,770	0,320	-	-	-	-
Outras fontes primárias	-	0,770	0,320	-	-	-	-
Óleo diesel	0,480	0,880	0,520	-	-	-	-
Óleo combustível	0,480	0,880	0,520	-	-	-	-
Gasolina	0,280	-	-	-	-	-	-
GLP	0,280	0,880	0,520	-	0,002	-	-
Querosene	0,280	0,880	0,520	-	0,002	-	-
Gás	0,480	0,880	0,520	-	-	-	-
Coqs. de carvão min.	-	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	0,900	0,970	0,690	0,600	0,240	0,580	1,000
Carvão vegetal	-	0,770	0,320	-	-	-	-
Álcool etílico	0,340	-	-	-	-	-	-
Outros derivados de petróleo	-	0,880	0,520	-	-	-	-
Alcatrão	-	0,880	0,520	-	-	-	-

Fonte: MME, 2005

Tabela 33
Rendimentos de conversão de referência do BEU para a indústria química brasileira

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás natural	0,590	0,900	0,550	-	-	-	-
Carvão vapor	-	0,820	0,350	-	-	-	-
Carvão metalúrgico	-	-	0,350	-	-	-	-
Lenha	-	0,820	0,350	-	-	-	-
Produtos da cana	-	0,820	0,350	-	-	-	-
Outras fontes primárias	-	0,820	0,350	-	-	-	-
Óleo diesel	0,560	0,900	0,550	-	-	-	-
Óleo combustível	0,560	0,900	0,550	-	-	-	-
Gasolina	0,300	-	-	-	-	-	-
GLP	0,290	0,900	0,550	-	0,002	-	-
Querosene	0,300	0,900	0,550	-	0,002	-	-
Gás	0,590	0,900	0,550	-	-	-	-
Coqs. de carvão min.	-	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	0,940	0,980	0,750	0,700	0,280	0,620	1,000
Carvão vegetal	-	0,820	0,350	-	-	-	-
Álcool etílico	0,350	-	-	-	-	-	-
Outros derivados de petróleo	-	0,900	0,550	-	-	-	-
Alcatrão	-	0,900	0,550	-	-	-	-

Fonte: MME, 2005

Aplicando os coeficientes de destinação da Tabela 30 e os rendimentos de conversão da Tabela 32 sobre os consumos de cada energético utilizado na indústria química brasileira, chega-se à distribuição, por usos finais, da energia útil consumida nesta indústria, conforme apresentado na Tabela 34.

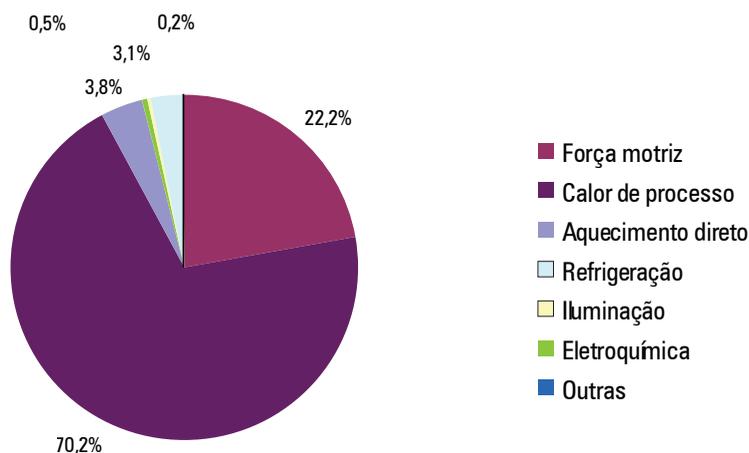
Tabela 34

Distribuição, por usos finais, em 10³ tep, do consumo de energia útil dos energéticos empregados na indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação e rendimentos de conversão do BEU para 2004

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras	Total
Gás natural	35,5	1.883,4	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1.930,6
Carvão vapor	0,0	4,4	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6
Carvão metalúrgico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lenha	0,0	33,9	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	36,5
Produtos da cana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outras fontes primárias	0,0	37,7	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	53,4
Óleo diesel	65,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,9
Óleo combustível	0,0	469,5	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0	526,2
Gasolina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GLP	0,8	8,1	25,6	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5
Querosene	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gás	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coqs. de carvão min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eletricidade	1.246,2	33,9	24,1	28,3	11,6	189,3	2,9	1.536,4
Carvão vegetal	0,0	2,6	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
Álcool etílico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outros derivados de petróleo	0,0	1.791,7	73,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1.865,3
Alcatrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1.348,5	4.265,2	232,6	28,3	11,6	189,3	2,9	6.078,4

Fonte: Elaboração própria, com dados do BEN e BEU

A distribuição percentual, por usos finais, do consumo total de energia útil da indústria química brasileira em 2006 está representada no Gráfico 17. Comparando-se com o exposto no Gráfico 16, percebe-se uma maior participação, no Gráfico 17, das categorias calor de processo e força motriz, devido às elevadas eficiências de conversão envolvidas.



Fonte: Elaboração própria, com dados do BEN e BEU

Gráfico 17

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo total de energia útil da indústria química brasileira em 2006, utilizando os coeficientes de destinação e rendimentos de conversão do BEU para 2004

4.2 Consumo energético das principais cadeias produtivas

Nesta parte do relatório são apresentados os resultados dos cálculos dos consumos de energia térmica e energia elétrica, e sua distribuição por usos finais, para os 63 produtos químicos monitorados pela Abiquim, para os quais se dispõem de dados de produção e de consumos energéticos específicos, fornecidos por um ou mais dos três estudos mencionados na seção 2.2 (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM, SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007). Estes produtos são agregados segundo as cadeias produtivas definidas a seção 1.4.

Como tem havido progressos tecnológicos significativos na indústria química mundial, sobretudo no que diz respeito à otimização do consumo de energia térmica, quando se dispõe de informações consistentes de consumos energéticos específicos em mais de um dos três estudos referidos acima, utiliza-se, nesta seção, os dados do estudo mais recente.

Os dados de consumos energéticos específicos utilizados nestes três estudos, inclusive o que foi aplicado à indústria química brasileira, são valores que refletem a prática internacional, já que não existem valores publicados que reflitam a prática nacional. Isto, no entanto, não constitui uma limitação da abordagem adotada neste trabalho, já que a maioria dos produtos químicos relevantes para as finalidades deste projeto é fabricada segundo processos adotados no mundo todo, sendo, os mais importantes deles, objeto de licenciamento de poucas empresas que se especializaram no desenvolvimento de novos processos.

As estatísticas de consumos energéticos específicos nesta seção foram as compiladas pelo Departamento de Energia do governo americano (TOLMASQUIM, SZKLO; SOARES, 2003), já que elas são relativamente recentes e cobrem boa parte das necessidades deste estudo. Diversos dados sobre consumos específicos mínimos de energia térmica e informações a respeito da distribuição da energia térmica por usos finais foram obtidos do relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Os dados restantes foram retirados do estudo mais antigo, envolvendo balanços energéticos, elaborado por Brown, Hamel e Hedman (1985).

Dados de consumos energéticos específicos e de distribuição destes consumos por usos finais de alguns dos 63 produtos químicos considerados neste capítulo foram obtidos em visitas técnicas a algumas plantas químicas, durante o segundo semestre de 2008.

4.2.1 A cadeia do etileno

A Tabela 35 mostra os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais para os produtos que compõem a cadeia do etileno. As referências consultadas não indicam o consumo de energia elétrica para iluminação, já que este pouco se relaciona com os processos industriais envolvidos, mas sim com o projeto arquitetônico e a instalação elétrica de cada planta industrial.

Comparando-se os dados das Tabelas 29 e 35, constata-se que os produtos da cadeia do etileno considerados neste trabalho foram responsáveis por 32,7% do consumo total de energia, 39,7% do consumo de energia térmica e 12,5% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006.

O Gráfico 18 ilustra a distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do etileno em 2006. Pode-se observar, nesta figura, o uso dominante do aquecimento direto em fornos/reatores, seguido pelo vapor de processo. O craqueamento térmico, ou pirólise, do qual resulta o etileno, junto com outros produtos, é o principal responsável pelo elevado consumo de energia térmica em fornos/reatores nesta cadeia. Conforme se pode verificar na Tabela 35, o estireno é o produto desta cadeia que demanda mais vapor de processo. A maior demanda de eletricidade da cadeia provém da fabricação de polietileno.

Tabela 35

Produtos da cadeia do etileno: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ² (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia térmica ¹ (tep/t)	Energia elétrica ¹ (tep/t)		Energia térmica			Eletricidade	
				Aquecimento direto ³		Vapor de processo ³	Força motriz	Força motriz
	Fornos/reatores	Secadores ⁴						
Etileno	0,4252	0,0210	3.135.114,4	1.226.407	0	5.332		65.837
Polietileno	0,0167	0,0506	2.224.690,5	0	0	37.152	0	112.569
Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	0,1556	0,0189	456.839,9	71.084	0	0	0	8.634
Só dicloreto de etileno	0,1056	0 ⁵	90.881,1	9.597	0	0	0	0
Policloreto de vinila	0,055	0,0143	676.262,8	0	0	37.194	0	9.671
Óxido de etileno	0,0676	0,0275	289.724,0	0	0	19.585	0	7.967
Etilenoglicol	0,0841	0,0296	203.971,7	3.036	0	14.118	0	6.038
Tereftato de polietileno	0,6111	0,0631	218.526,6	108.169	25.373	0	0	13.789
Fibras de poliéster	0,0987	0,0459	88.824,4	7.101	1.666	0	0	4.077
Etilbenzeno	0,0758	0,0024	446.132,0	0	0	33.817	0	1.071
Estireno	0,939	0,0048 ⁴	459.838,5	0	0	431.788	0	2.207
Poliestireno	0,1181	0,0079	360.956,6	42.629	0	0	0	2.852
Total	-	-	8.651.762,5	1.468.023	27.039	578.986		234.712

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003) e visitas técnicas

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Este dado não foi encontrado na literatura consultada

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

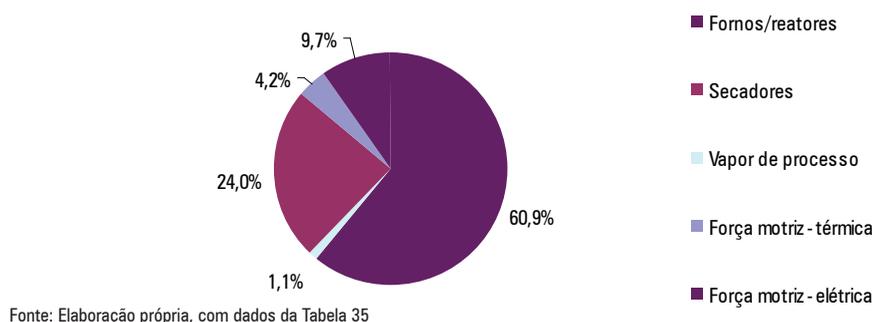


Gráfico 18
Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do etileno em 2006

Duas das fontes de literatura técnica consultadas neste trabalho (TOLMASQUIM, SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007) apresentam dados de consumos energéticos específicos mínimos para os produtos da cadeia do etileno, associados a processos industriais que constituem o estado da arte em termos de consumo de energia. Na Tabela 36 estima-se o consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizados estes processos, e a sua distribuição por usos finais.

Tabela 36
Produtos da cadeia do etileno: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo em 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ² (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia	Energia		Energia térmica				Eletricidade
	térmica	elétrica ¹		Aquecimento direto ³		Vapor de processo ³	Força motriz	Força motriz
	(tep/t)			Fornos/reactores	Secadores ⁴			
Etileno	0,3059 ³	0,012 ⁵	3.135.114,4	882.309	0	3.836	72.886	37.621
Polietileno	0,0091 ¹	0,0262	2.224.690,5	0	0	20.245	0	58.287
Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	0,1384 ¹	0,0189	456.839,9	63.227	0	0	0	8.634
Só dicloreto de etileno	0,1056 ³	0 ⁵	90.881,1	9.597	0	0	0	0
Policloreto de vinila	0,049 ¹	0,0143	676.262,8	0	0	33.137	0	9.671
Óxido de etileno	0,0499 ¹	0,0201	289.724,0	0	0	14.457	0	5.823
Etilenoglicol	0,0623 ¹	0,021	203.971,7	2.249	0	10.458	0	4.283
Tereftato de polietileno	0,5511 ¹	0,0569	218.526,6	97.548	22.882	0	0	12.434
Fibras de poliéster	0,098 ³	0,0459	88.824,4	7.051	1.654	0	0	4.077
Etilbenzeno	0,07 ¹	0,0024	446.132,0	0	0	31.229	0	1.071
Estireno	0,7985 ¹	0,0048	459.838,5	0	0	367.181	0	2.207
Poliestireno	0,012 ³	0,0048	360.956,6	4.331	0	0	0	1.733
Total	-	-	8.651.762,5	1.066.312	24.536	480.543	72.886	145.841

1 Fonte: (Tolmasquim, Szko e Soares, 2003)

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Este dado não foi encontrado na literatura consultada

6 Fonte: visita técnica

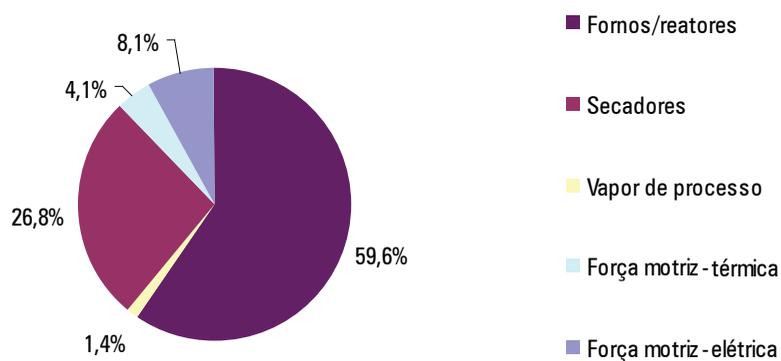
O Gráfico 19 mostra que a distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo não é muito diferente do ilustrado na Figura 23 para o consumo real estimado para 2006. Há só pequenos aumentos nas participações do vapor de processo e do aquecimento direto em secadores, obtidos de ligeiros decréscimos na participação do aquecimento direto em fornos, do consumo de eletricidade em força motriz e do consumo de energia térmica em força motriz.

4.2.2 A cadeia do propileno

A Tabela 37 apresenta os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais (exceto iluminação) para os produtos que compõem a cadeia do propileno.

A comparação dos dados das Tabelas 37 e 29 permite concluir que os produtos da cadeia do propileno considerados neste trabalho foram responsáveis por 6,2% do consumo total de energia, 6,9% do consumo de energia térmica e 4% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006.

A distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do propileno em 2006 está ilustrada no Gráfico 20.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 36

Gráfico 19

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do etileno em 2006

Tabela 37

Produtos da cadeia do propileno: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ² (t)	Consumo energético (tep)			
	Energia térmica ¹	Energia elétrica ¹		Energia térmica			Eletricidade
				Aquecimento direto ³		Vapor de processo ³	Força motriz
	(tep/t)			Fornos/reactores	Secadores ⁴		
Propileno	0,0617	0,0136	1.834.419,5	113.184	0	0	24.948
Polipropileno	0,0179	0,0105	1.060.845,2	0	0	18.989	11.139
Fibras de polipropileno	0,657	0,126	174.131,8	10.868	43.359	60.177	21.941
Óxido de propileno	0,1171	0,0256	195637,0	0	0	22.909	5.008
Acrlonitrila	0,0435	0,0096	84.811,0	3.689	0	0	814
Fibras acrílicas	1,0719	0,1245	29.690,0 ⁵	573	25.396	5.856	3.696
Fenol e acetona	0,2571 ⁶	0,0302 ⁶	287.034,7	369	0	73.428	8.668
Total	-	-	3.666.569,2	128.683	68.755	181.359	76.214

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

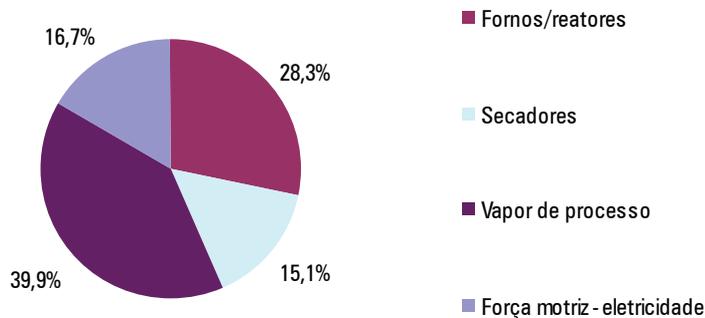
3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas (Disponível em: <<http://www.abrafas.org.br>>. Acesso em: 06 abr. 2008)

6 Fonte: Visita técnica

Observa-se, no Gráfico 20, o uso dominante do vapor de processo, seguido pelo aquecimento direto em fornos e reatores, força motriz e aquecimento direto em secadores, nesta sequência. A produção conjunta de fenol e acetona é a que demanda mais vapor de processo, enquanto que a pirólise que produz o propileno, junto com outros produtos, é o principal responsável pelo consumo de energia térmica em fornos/reactores nesta cadeia. Conforme indicado na Tabela 37, são os processos de fabricação das fibras de polipropileno e das fibras acrílicas que demandam calor por aquecimento direto em secadores. Os produtos cujos processos de fabricação requerem mais energia elétrica nesta cadeia são o propileno, as fibras de polipropileno e o polipropileno, nesta ordem.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 29

Gráfico 20
Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do propileno em 2006

Na Tabela 38 estima-se o consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizadas as rotas mais eficientes para fabricar os produtos da cadeia do propileno, e a sua distribuição por usos finais.

Tabela 38

Produtos da cadeia do propileno: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ² (t)	Consumo energético (tep)			
	Energia térmica ¹ (tep/t)	Energia elétrica ¹ (tep/t)		Energia térmica			Eletricidade
				Aquecimento direto ³		Vapor de	Força motriz
				Fornos/reactores	Secadores ⁴	Processo ³	
Propileno	0,0578	0,0136	1.834.419,5	106.029	0	0	24.948
Polipropileno	0,0172	0,0098	1.060.845,2	0	0	18.247	10.396
Fibras de polipropileno	0,657	0,126	174.131,8	10.868	43.359	60.177	21.941
Óxido de propileno	0,1042	0,0256	195637,0	0	0	20.385	5.008
Acrlonitrila	-0,143 ³	0,0096	84.811,0	-12.128	0	0	814
Fibras acrílicas	1,0004	0,0949	29.690,0 ⁵	535	23.702	5.465	2.818
Fenol e acetona	0,2335	0,0167	287.034,7	335	0	66.687	4.793
Total	-	-	3.666.569,2	105.640	67.061	170.961	70.719

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

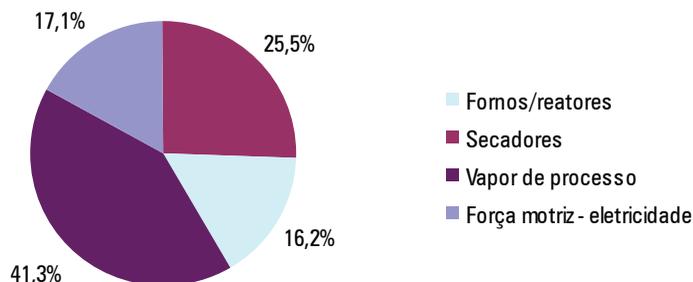
2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas (Disponível em: <<http://www.abrafas.org.br>>. Acesso em: 06 abr. 2008)

O Gráfico 21 mostra a distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo. Ela não é muito diferente do ilustrado no Gráfico 20 para o consumo real estimado para 2006. Há pequenos aumentos nas participações do vapor de processo, força motriz e do aquecimento direto em secadores, em detrimento da participação do aquecimento direto em fornos/reactores.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 30

Gráfico 21

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do propileno em 2006

4.2.3 A cadeia do BTX

Os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, exceto iluminação, para os produtos que compõem a cadeia do BTX (benzeno, tolueno e xilenos) encontram-se na Tabela 39.

Tabela 39

Produtos da cadeia do BTX: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia térmica (tep/t)	Energia elétrica		Energia térmica ¹			Eletricidade ¹	
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz	Refrig. ⁴
				Fornos	Secadores ⁴			
Benzeno, tolueno e xileno	0,0652 ¹	0,0045 ¹	1.531.052,0 ²	99.825	0	0	6.890	0
Ácido tereftálico (TPA)	0,0645 ¹	0,0344 ¹	206.240,0 ²	13.302	0	0	7.095	0
Ciclohexano	0,0887 ¹	0,0084 ¹	58.252,1 ²	0	0	5.167	181	308
Caprolactama	0,6811 ¹	0,0519 ¹	44.906,0 ²	30.585	0	0	2.331	0
Ácido adípico	0,2189 ⁷	0,0129 ⁷	82.614,2 ²	0	0	18.084	1.066	0
Nylon-6	0,5552 ¹	0,0789 ¹	40.823,6 ⁶	0	1.133	21.532	3.221	0
Nylon-6,6	0,7732 ¹	0,1812 ¹	103.596,7 ⁶	0	0	80.101	18.772	0
Anidrido maleico	0,3382 ¹	0,0791 ¹	15.879,0 ²	5.370	0	0	1.256	0
Anidrido ftálico	0,478 ³	0 ⁵	103.491,0 ²	49.469	0	0	0	0
Resinas fenólicas	0,239 ³	0 ⁵	155.989,2 ²	0	0	37.281	0	0
Total	-	-	2.342.843,8	198.551	1.133	162.165	40.812	308

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

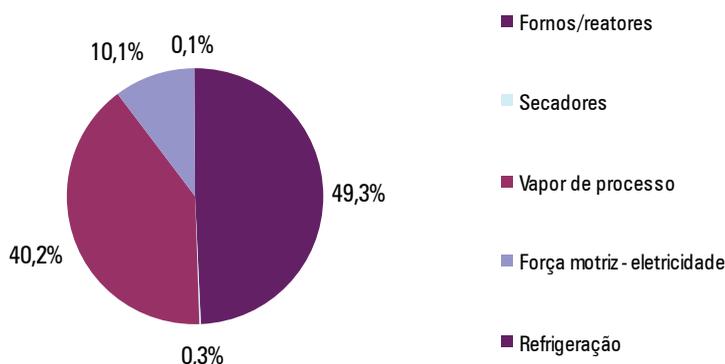
5 Este dado não foi encontrado na literatura consultada

6 Estimativas elaboradas a partir de dados da Abiquim e parâmetros fornecidos por Tolmasquim, Szklo e Soares (2003)

7 Fonte: Visita técnica a uma planta química

Comparando-se os dados das Tabelas 29 e 39 constata-se que os produtos da cadeia do BTX analisados neste trabalho foram responsáveis por 5,5% do consumo total de energia, 6,6% do consumo de energia térmica e 2,2% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006.

O Gráfico 22 ilustra a distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do BTX em 2006.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 39

Gráfico 22

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia do BTX em 2006

Esta figura indica que o uso dominante em 2006 foi o aquecimento direto em fornos e reatores, seguido pelo vapor de processo e força motriz, nesta sequência, e que houve usos bastante limitados de aquecimento direto em secadores e refrigeração. Os produtos que demandaram mais aquecimento direto em fornos/reatores foram o benzeno, tolueno e xileno, e o anidrido ftálico, enquanto que a produção de nylon-6,6 é a que requereu maiores consumos tanto de vapor de processo como de energia elétrica nesta cadeia.

A Tabela 40 traz estimativas do consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizadas as rotas mais eficientes para fabricar os produtos da cadeia do BTX, e a sua distribuição por usos finais.

O Gráfico 23 ilustra a distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo em 2006. Comparando-se com a distribuição representada no Gráfico 22 para o consumo real estimado para aquele ano, constata-se que há um aumento na participação do vapor de processo, em detrimento da participação do aquecimento direto em fornos e reatores.

4.2.4 A cadeia dos fertilizantes

A Tabela 41 apresenta os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, exceto iluminação, para os produtos que compõem a cadeia dos fertilizantes.

Uma comparação entre as Tabelas 29 e 41 revela que os produtos da cadeia dos fertilizantes analisados neste trabalho foram responsáveis por 19,4% do consumo total de energia, 18,6% do consumo de energia térmica e 21,8% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006.

Tabela 40

Produtos da cadeia do BTX: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia térmica	Energia elétrica		Energia térmica ¹			Eletricidade ¹	
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz	Refrig. ⁴
	(tep/t)			Fornos	Secadores ⁴			
Benzeno/tolueno/xileno	0,0519 ¹	0,0033 ¹		79.462	0	0	5.052	0
Ácido tereftálico (TPA)	0,0402 ¹	0,0332 ¹	206.240,0 ²	8.291	0	0	6.847	0
Ciclohexano	0,0789 ¹	0,0084 ¹	58.252,1 ²	0	0	4.596	181	308
Caprolactama	0,4605 ¹	0,0346 ¹	44.906,0 ²	20.679	0	0	1.554	0
Ácido adípico	0,2189 ⁷	0,0129 ⁷	82.614,2 ²	0	0	18.084	1.066	0
Nylon-6	0,494 ¹	0,0789 ¹	40.823,6 ⁶	0	1.008	19.159	3.221	0
Nylon-6,6	0,6178 ¹	0,1448 ¹	103.596,7 ⁶	0	0	64.002	15.001	0
Anidrido maleico	0,2466 ¹	0,0791 ¹	15.879,0 ²	3.916	0	0	1.256	0
Anidrido ftálico	0,478 ³	0 ⁵	103.491,0 ²	49.469	0	0	0	0
Resinas fenólicas	0,239 ³	0 ⁵	155.989,2 ²	0	0	37.281	0	0
Total	-	-		161.816	1.008	143.122	34.178	308

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

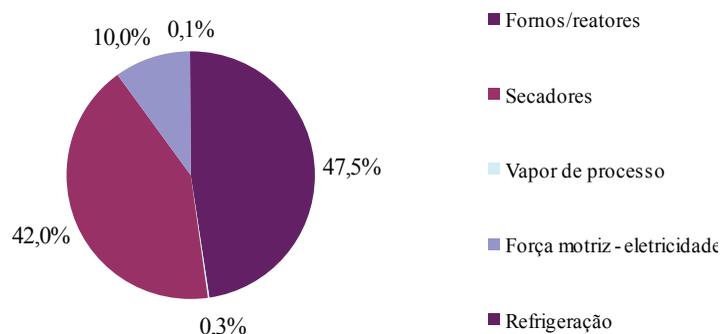
3 Fonte: (IEA, 2007)

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Este dado não foi encontrado na literatura consultada

6 Estimativas elaboradas a partir de dados da Abiquim e parâmetros fornecidos por Tolmasquim, Szklo e Soares (2003)

7 Fonte: Visita técnica a uma planta química



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 40

Gráfico 23

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia do BTX em 2006

O Gráfico 24 mostra a distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia dos fertilizantes em 2006.

Tabela 41

Produtos da cadeia dos fertilizantes: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção (t)	Consumo energético (tep)						
	Energia térmica	Energia elétrica		Energia térmica ^{1,3}				Eletricidade ¹		
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz - térmica	Força motriz - elétrica	Refrig. ⁴	Fornos ⁴
	(tep/t)			Fornos	Secads.					
Amônia	0,3339 ³	0,0352 ¹	1.347.747,6 ²	311.859	0	45.451	92.703	35.581	11.860	0
Uréia	0,0548 ¹	0,0052 ¹	1.419.188,0 ²	0	0	77.772	0	7.380	0	0
Ácido nítrico	0,0544 ¹	0,0036 ¹	601.617,5 ²	32.728	0	0	0	2.166	0	0
Nitrato de amônio	0,0089 ¹	0,0031 ¹	470.544,0 ²	0	0	4.188	0	1.459	0	0
Sulfato de amônio	0,1824 ¹	0,0399 ¹	236.480,0 ²	0	0	43.134	0	9.436	0	0
Ácido sulfúrico	0,0145 ¹	0,0017 ¹	6.199.806,4 ²	89.897	0	0	0	10.540	0	0
Ácido fosfórico para fertilizantes	0,0986 ¹	0,0175 ¹	939.559,0 ⁵	0	0	92.641	0	16.442	0	0
Ácido fosfórico para outros usos	0,4467 ⁴	0,8104 ⁴	267.527,0 ^{2,5}	119.504	0	0	0	2.168	0	214.636
Fosfato de amônio	0,0134 ¹	0,0045 ¹	1.103.225,0 ²	0	14.783	0	0	4.965	0	0
Superfosfatos	0,0194 ¹	0,0189 ¹	4.921.000,0 ⁵	0	95.467	0	0	93.007	0	0
Total	-	-	17.506.694,5	553.988	110.251	263.186	92.703	183.144	11.860	214.636

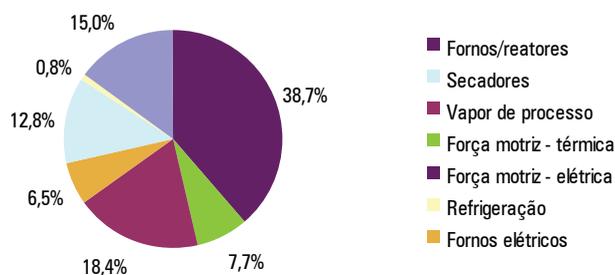
1 Fonte: (Tolmasquim, Szlo e Soares, 2003) e visitas técnicas a plantas químicas

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007) e visitas técnicas a plantas químicas

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

5 Fonte: (ANDA, 2008)



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 41

Gráfico 24

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado dos produtos da cadeia dos fertilizantes em 2006

Pode-se verificar, nesta figura, que os principais usos finais da energia nesta cadeia em 2006 foram constituídos pelos fornos que consomem combustíveis, com destaque para a produção de amônia e ácido fosfórico para outros usos que não fertilizantes, vapor de processo, uso no qual se destaca a produção de ácido fosfórico para fertilizantes, força motriz com energia elétrica, onde se destaca a produção de superfosfatos, e fornos elétricos, equipamentos utilizados na produção de ácido fosfórico para outros usos.

Estimativas do consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizadas as rotas mais eficientes para fabricar os produtos da cadeia dos fertilizantes, e a sua distribuição por usos finais, encontram-se na Tabela 42.

Tabela 42

Produtos da cadeia dos fertilizantes: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção (t)	Consumo energético (tep)						
	Energia térmica	Energia elétrica		Energia térmica ^{1,3}			Eletricidade ¹			
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz - térmica	Força motriz - elétrica	Refrig. ⁴	Fornos ⁴
	Fornos	Secads.		(tep/t)						
Amônia	0,1673 ³	0,0095 ¹	1.347.747,6 ²	156.256	0	22.773	46.449	9.603	3.201	0
Uréia	0,0349 ¹	0,0012 ¹	1.419.188,0 ²	0	0	49.530	0	1.703	0	0
Ácido nítrico	0,0127 ¹	0,0001 ¹	601.617,5 ²	7.641	0	0	0	60	0	0
Nitrato de amônio	0,0089 ¹	0,0031 ¹	470.544,0 ²	0	0	4.188	0	1.459	0	0
Sulfato de amônio	0,1623 ¹	0,0399 ¹	236.480,0 ²	0	0	38.381	0	9.436	0	0
Ácido sulfúrico	0,0017 ¹	0,0017 ¹	6.199.806,4 ²	10.540	0	0	0	10.540	0	0
Ácido fosfórico para fertilizantes	0,0306 ¹	0,0103 ¹	939.559,0 ⁵	0	0	28.751	0	9.677	0	0
Ácido fosfórico para outros usos	0,4467 ⁴	0,8104 ⁴	267.527,0 ^{2,5}	119.504	0	0	0	2.168	0	214.636
Fosfato de amônio	0,0134 ¹	0,0045 ¹	1.103.225,0 ²	0	14.783	0	0	4.965	0	0
Superfosfatos	0,0194 ¹	0,0189 ¹	4.921.000,0 ⁵	0	95.467	0	0	93.007	0	0
Total	-	-		293.941	110.251	143.623	46.449	142.618	3.201	214.636

1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003) e visitas técnicas a plantas químicas

2 Fonte: (Abiquim, 2007)

3 Fonte: (IEA, 2007) e visitas técnicas a plantas químicas

4 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

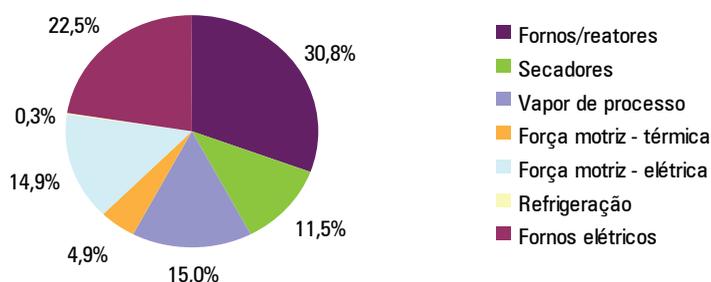
5 Fonte: (ANDA, 2008)

A distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo em 2006 está indicada no Gráfico 25. Comparando-se com a distribuição representada no Gráfico 24 para o consumo real estimado para aquele ano, constata-se que há aumentos nas participações dos fornos elétricos, força motriz com eletricidade e secadores, em detrimento das participações do aquecimento direto em fornos e reatores que consomem combustíveis, do vapor de processo e da refrigeração.

4.2.5 A cadeia do cloro-álcalis

Os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, exceto iluminação, na produção de cloro, nos vários tipos de cubas eletrolíticas, encontram-se na Tabela 43. Conforme exposto no capítulo caracterização técnica, hidróxido de sódio é produzido concomitantemente com o cloro nestas cubas. Os demais produtos que compõem a cadeia de cloro-álcalis não estão sendo abordados nesta seção por não demandarem quantidades substanciais de energia, ou por não terem sido fabricados no Brasil em 2006, que é o caso do carbonato de sódio, ou barrilha.

Os valores de consumo específico de energia elétrica associados às diversas rotas de produção de cloro e de soda cáustica foram ajustados, dentro das faixas indicadas na literatura técnica consultada, para prover a média fornecida pela Abiclor para 2006. Este mesmo tipo de ajuste foi feito para se atingir a média de consumo de energia térmica levantado pelo Department of Energy do governo americano e adotado por Tolmasquim, Szklo e Soares (2003).



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 42

Gráfico 25

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para os produtos da cadeia dos fertilizantes em 2006

Tabela 43

Produção de cloro por vários processos: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produto	Processo	Consumos específicos (tep/t)		Produção ³ (t)	Consumo energético (tep)			
		Energia térmica	Energia elétrica ¹		Energia térmica		Energia elétrica	
					Vapor de processo ²	Força motriz ²	Refrigeração ²	Eletrólise ²
Cloro	Célula de diafragma	0,1739 ^{1,2}	0,2629	880.542,0	153.126	3.472	3.009	225.013
	Célula de mercúrio	0,1161 ²	0,3083	281.284,3	32.657	1.041	867	84.812
	Célula de membrana	0,1305 ^{1,2}	0,2413	61.148,8	7.980	192	177	14.386
Total				1.222.975,0	193.763	4.705	4.054	324.211

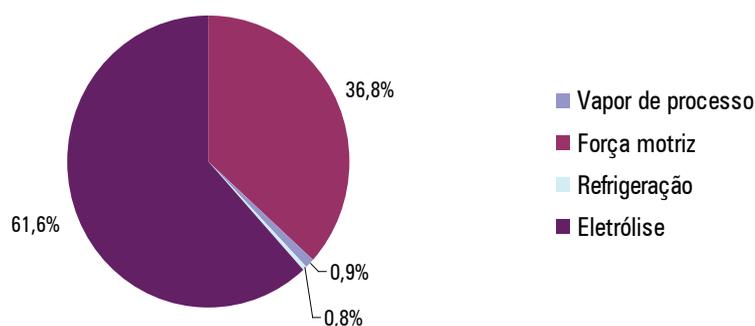
1 Fonte: (Tolmasquim, Szklo e Soares, 2003)

2 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

3 Fonte: (Abiquim, 2007; Abiclor, 2007)

Uma comparação entre as Tabelas 29 e 43 revela que a produção de cloro e soda cáustica foi por 7,1% do consumo total de energia, 3,5% do consumo de energia térmica e 17,7% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006. Estes valores revelam claramente o caráter eletro-intensivo deste processo produtivo.

A distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado na produção de cloro e soda cáustica em 2006 esta ilustrada no Gráfico 26. A eletrólise é dominante, seguida do vapor de processo. As participações da força motriz e refrigeração são muito pequenas.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 43

Gráfico 26
Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado para a produção de cloro e soda cáustica em 2006

A Tabela 44 traz estimativas do consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizadas as tecnologias mais eficientes para produzir cloro e soda cáustica nas diversas rotas eletrolíticas utilizadas, e a sua distribuição por usos finais.

O Gráfico 27 mostra a distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo em 2006. Comparando-se com a distribuição representada no Gráfico 26 para o consumo real estimado para aquele ano, constata-se uma enorme diminuição da participação do vapor de processo, que é o uso final que apresenta o maior potencial de economia de energia.

Tabela 44
Produção de cloro por vários processos: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep

Produto	Processo	Consumos específicos (tep/t)		Produção ² (t)	Consumo energético (tep)			
		Energia térmica ¹	Energia elétrica ¹		Energia térmica		Energia elétrica	
					Vapor de processo ³	Força motriz ³	Refrigeração ³	Eletrólise ³
Cloro	Célula de diafragma	0,0526	0,239	880.542,0	46.317	3.157	2.736	204.557
	Célula de mercúrio	0	0,282	281.284,3	0	952	793	77.577
	Célula de membrana	0,0143	0,2055	61.148,8	874	163	151	12.252
Total				1.222.975,0	47.191	4.272	3.680	294.386

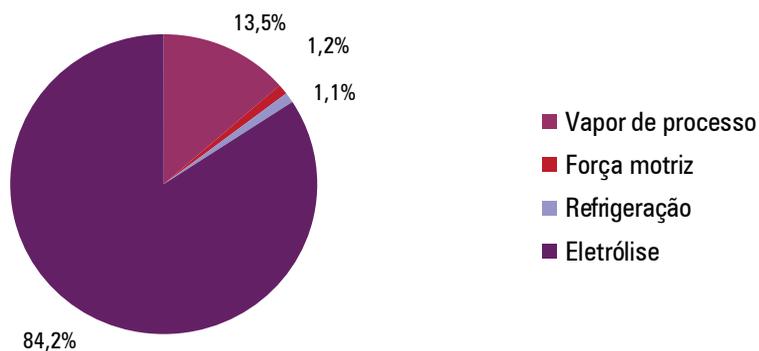
1 Fonte: (IEA, 2007)

2 Fonte: (Abiquim, 2007; Abiclor, 2007)

3 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985)

4.2.6 Outros produtos químicos com consumos energéticos elevados

A Tabela 45 apresenta os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica, a produção em 2006 e a distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, exceto iluminação, para os outros produtos químicos considerados nesta seção. Para estes produtos, que não pertencem a nenhuma das cadeias analisadas anteriormente e que apresentam consumos energéticos significativos, foi possível levantar informações sobre produção e consumos energéticos específicos.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 44

Gráfico 27

Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para a produção de cloro e soda cáustica em 2006

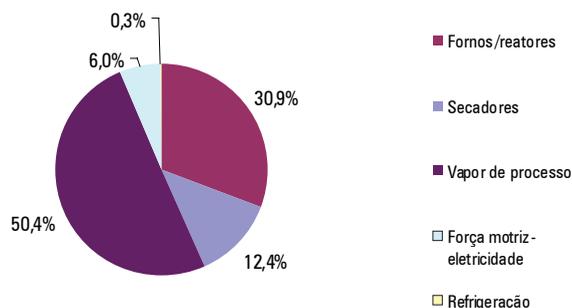
Tabela 45
“Outros produtos químicos”: consumos específicos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ⁴ (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia térmica	Energia elétrica		Energia térmica ^{1,2}			Eletricidade ^{1,2}	
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz	Refrig. ²
	(tep/t)			Fornos/reactores	Secadores ²			
Metanol	0,2390 ¹	0,0633 ²	276.788,6	66.152	0	0	17.521	0
Butadieno	0,3107 ¹	0 ³	328.126,3	0	0	101.949	0	0
Borrachas de estireno-butadieno	0,1931 ²	0,0205 ²	207.629,0	4.370	0	35.723	2.673	1.583
Polibutadieno	0,9276 ²	0,0824 ²	83.522,0	0	66.938	10.537	6.882	0
Buteno-1	0,0717 ¹	0 ³	68.297,5	4.897	0	0	0	0
Formaldeído	0,0982 ²	0 ³	447.342,9	19.900	0	24.029	0	0
Resinas fenólicas	0,2390 ¹	0 ³	155.989,2	0	0	37.281	0	0
Resinas melamínicas	0,0597 ¹	0 ³	6.979,3	0	0	417	0	0
Resinas uréicas	0,0597 ¹	0 ³	476.970,8	0	0	28.475	0	0
Metacrilatos de metila e de etila	0,0478 ¹	0 ³	29.156,0	0	0	1.394	0	0
Butanol-iso e butanol-n	0,0781 ¹	0 ³	45.128,3	0	0	3.525	0	0
Isopropanol	0,0704 ¹	0,005	12.878,0	445	0	461	0	0
Éter-metil-terc-butílico	0,0932 ¹	0 ³	328.514,9	0	0	30.618	0	0
Dióxido de titânio	0,2640 ²	0,0100 ²	79.427,0	19.543	839	587	0	0
Óxido de zinco	0,2628 ²	0,0272 ²	202.253,7	53.152	0	0	5.501	0
Total	-	-		168.459	67.777	274.996		1.583

1 Fonte: (IEA, 2007) e visita técnica a planta química
 2 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985) e visita técnica a planta química
 3 Este dado não foi encontrado na literatura consultada
 4 Fonte: (Abiquim, 2007)

Comparando-se os dados das Tabelas 29 e 45 constata-se que os produtos químicos analisados nesta seção foram responsáveis por 7,4% do consumo total de energia, 9,3% do consumo de energia térmica e 1,8% do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira em 2006.

O Gráfico 28 ilustra a distribuição, por usos finais, do consumo energético estimado na fabricação destes produtos em 2006. O vapor de processo, o aquecimento direto em fornos e reatores e o aquecimento direto em secadores, nesta sequência, foram os principais usos finais. As produções de butadieno, polibutadieno e óxido de zinco, respectivamente, foram os maiores consumidores de energia nestes usos finais em 2006.



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 45

Gráfico 28
Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético estimado para a fabricação dos “outros produtos químicos” em 2006

Estimativas do consumo energético mínimo que se teria em 2006 caso fossem utilizadas as tecnologias mais eficientes para fabricar estes produtos, e a sua distribuição por usos finais, se encontram na Tabela 46.

A distribuição, por usos finais, deste consumo energético mínimo em 2006 está ilustrada na Gráfico 29. Comparando-se com a distribuição representada na Gráfico 28 para o consumo real estimado para aquele ano, observa-se uma diminuição na participação do vapor de processo e força motriz e aumentos nas parcelas do aquecimento direto em fornos e reatores, e do aquecimento direto em secadores.

4.2.7 Um quadro geral e uma distribuição estimada do consumo energético da indústria química por usos finais

Conforme já foi exposto anteriormente, o consumo de energia elétrica em iluminação não foi considerado nas estimativas realizadas para as cadeias produtivas, nas seções anteriores, por falta de dados na literatura consultada. Para se ter valores mais próximos dos consumos reais deste energético, que 2,6% do consumo total de eletricidade em cada uma destas cadeias se destina à iluminação e se acrescentar esta parcela aos valores anteriormente calculados; esta percentagem é o valor estimado pelo Balanço de Energia Útil para a indústria química como um todo em 2004. A Tabela 47 apresenta os consumos de energia térmica, elétrica e total destas cadeias e do resto da indústria química brasileira em 2006, considerando esta estimativa do consumo de eletricidade em iluminação.

Tabela 46

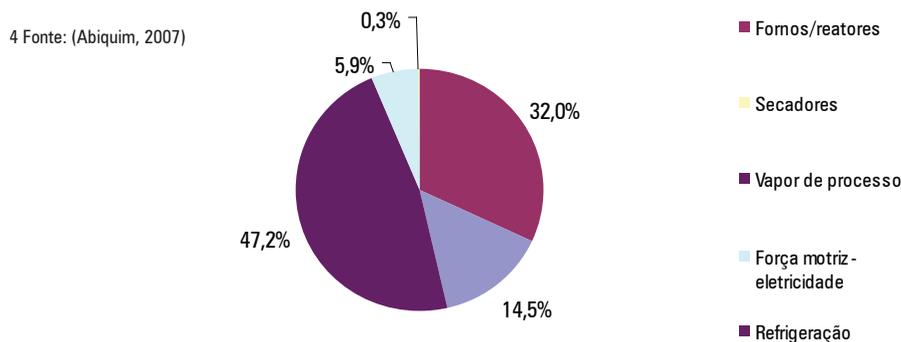
“Outros produtos químicos”: consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, em tep/t, produção em 2006, em t, e distribuição do consumo energético mínimo de 2006 por usos finais, em tep

Produtos	Consumos específicos		Produção ⁴ (t)	Consumo energético (tep)				
	Energia térmica	Energia elétrica		Energia térmica ^{1,2}			Eletricidade ^{1,2}	
				Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz	Refrig. ²
	(tep/t)			Fornos	Secadores ²			
Metanol	0,2031 ¹	0,0633 ²	276.788,6	56.216	0	0	17.521	0
Butadieno	0,1434 ¹	0 ³	328.126,3	0	0	47.053	0	0
Borrachas de estireno-butadieno	0,1931 ²	0,0205 ²	207.629,0	4.370	0	35.723	2.673	1.583
Polibutadieno	0,9276 ²	0,0824 ²	83.522,0	0	66.938	10.537	6.882	0
Buteno-1	0,0717 ¹	0 ³	68.297,5	4.897	0	0	0	0
Formaldeído	0,0982 ²	0 ³	447.342,9	19.900	0	24.029	0	0
Resinas fenólicas	0,2390 ¹	0 ³	155.989,2	0	0	37.281	0	0
Resinas melamínicas	0,0597 ¹	0 ³	6.979,3	0	0	417	0	0
Resinas uréicas	0,0597 ¹	0 ³	476.970,8	0	0	28.475	0	0
Metacrilatos de metila e de etila	0,0478 ¹	0 ³	29.156,0	0	0	1.394	0	0
Butanol-iso e butanol-n	0,0781 ¹	0 ³	45.128,3	0	0	3.525	0	0
Isopropanol	0,0741 ¹	0 ³	12.878,0	469	0	486	0	0
Éter-metil-terc-butilico	0,0932 ¹	0 ³	328.514,9	0	0	30.618	0	0
Dióxido de titânio	0,2640 ²	0,0100 ²	79.427,0	19.543	839	587	0	0
Óxido de zinco	0,216 ²	0,0033 ²	202.253,7	43.687	0	0	667	0
Total	-	-		149.082	67.777	220.125	27.743	1.583

1 Fonte: (IEA, 2007) e visita técnica a planta química

2 Fonte: (Brown, Hamel and Hedman, 1985) e visita técnica a planta química

3 Este dado não foi encontrado na literatura consultada



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 46

Gráfico 29
Distribuição, por usos finais, em %, do consumo energético mínimo estimado para a fabricação dos "outros produtos químicos" em 2006

Tabela 47
Consumos de energia térmica, elétrica e total nas cadeias produtivas consideradas neste trabalho e no resto da indústria química brasileira em 2006

Cadeias	Energia térmica		Energia elétrica		Total	
	tep	%	tep	%	tep	%
Etileno	2.176.034	39,7	240.977	12,8	2.417.011	32,8
Propileno	378.797	6,9	78.249	4,2	457.046	6,2
BTX	361.849	6,6	42.218	2,2	404.067	5,5
Fertilizantes	1.020.128	18,6	420.577	22,4	1.440.705	19,6
Cloro-álcalis	193.763	3,5	341.860	18,2	535.623	7,3
Outros produtos químicos	511.232	9,3	35.072	1,9	546.304	7,4
Resto da indústria química	843.597	15,4	720.547	38,3	1.564.144	21,2
Total	5.485.400	100,0	1.879.500	100,0	7.364.900	100,0

Fonte: Elaboração própria, com base nas estimativas de consumos energéticos efetuadas nas seções anteriores

Pode-se constatar, na Tabela 47, que as cadeias do etileno e dos fertilizantes são as maiores consumidoras de energia, a primeira, sobretudo de energia térmica e a segunda, com um consumo elevado de energia elétrica. Em relação a esta última, destaca-se, também, o consumo da cadeia de cloro-álcalis. A tabela também revela que o conjunto dos produtos químicos cujo consumo energético é estimado individualmente neste trabalho respondeu, em 2006, por 84,6% do consumo de energia térmica, 61,7% do consumo de eletricidade e 78,8% do consumo total de energia da indústria química brasileira.

A Tabela 48 mostra a distribuição estimada para 2006, por usos finais, dos consumos energéticos de cada cadeia produtiva analisada neste relatório, assim como do resto da indústria química brasileira. Neste último caso, para se estimar esta distribuição, foram assumidos os coeficientes de destinação do BEU adotados para a indústria química como um todo para 2004, com a exceção da eletrólise, que já está contemplada na cadeia de cloro-álcalis; a parcela do consumo de energia elétrica do resto da indús-

tria química que seria correspondente à eletrólise foi realocada para força motriz. Como estes coeficientes não separam o aquecimento direto em fornos e secadores, para se poder concluir a Tabela 48 e não se alterar a sinalização dada pela análise das cadeias produtivas sobre esta partição adotou-se a mesma distribuição percentual do total das cadeias para o resto da indústria química.

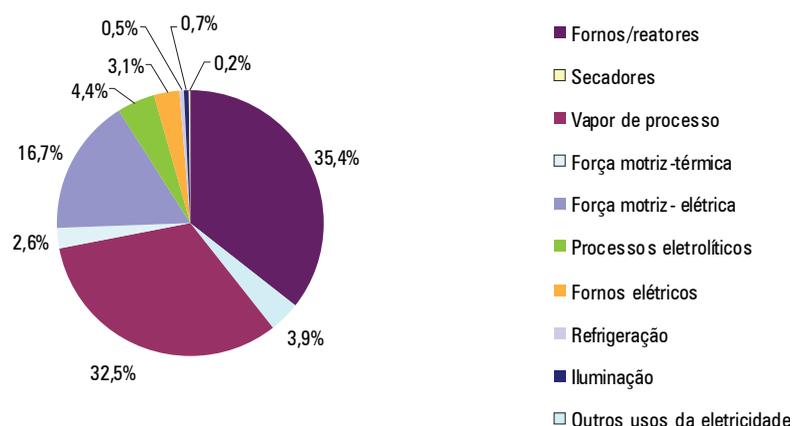
A leitura dos resultados da Tabela 48 revela que a cadeia do etileno consome mais energia do que as outras em fornos e reatores, além de empregar bastante vapor de processo e força motriz, tanto com energia térmica como com energia elétrica. A cadeia dos fertilizantes se destaca no uso de fornos, tanto os que consomem combustíveis como os elétricos, e é a que mais usa energia em secadores; ela consome grandes quantidades de vapor e é grande usuária de força motriz, produzida tanto por energia térmica como elétrica. O maior consumo de eletricidade em eletrotermia é na cadeia de cloro-álcalis. Os consumos mais significativos das cadeias do propileno e do BTX e dos “outros produtos químicos” analisados individualmente neste trabalho ocorrem em fornos/reatores e para gerar vapor de processo. O consumo mais elevado de vapor de processo e o uso mais intenso de força motriz se verificam no “resto” da indústria química.

O Gráfico 30 ilustra a distribuição por usos finais, estimada neste trabalho, do consumo energético da indústria química brasileira em 2006.

Tabela 48
Distribuição, por usos finais, dos consumos de energia térmica e de energia elétrica, em tep, das cadeias produtivas consideradas neste trabalho e do resto da indústria química brasileira em 2006

Cadeias	Energia térmica (tep)				Energia elétrica (tep)					
	Aquecimento direto		Vapor de processo	Força motriz	Força motriz	Processoseletrolític.	Fornos	Refrig.	Ilumin.	Outros
	Fornos/reatores	Secads.								
Etileno	1.468.023	27.039	578.986		234.712	0	0	0	6.265	0
Propileno	128.683	68.755	181.359	0	76.214	0	0	0	2.035	0
BTX	198.551	1.133	162.165	0	40.812	0	0	308	1.098	0
Fertilizantes	553.988	110.251	263.186	92.703	183.144	0		11.860	10.937	0
Cloro-álcalis	0	0	193.763	0	4.705	324.211	0	4.054	8.890	0
Outros produtos químicos	168.459	67.777	274.996	0	32.577	0	0	1.583	912	0
Resto da indústria química	92.118	10.060	741.419	0	655.987	0	13.418	18.095	18.555	14.530
Total	2.609.822		2.396.548			324.211		35.900	48.692	14.530

Fonte: Elaboração própria, com base nas estimativas de consumos energéticos efetuadas nas seções anteriores



Fonte: Elaboração própria, com dados da Tabela 48

Gráfico 30
Distribuição estimada, por usos finais, do consumo energético da indústria química brasileira em 2006

Comparando-se com o Gráfico 16, pode-se observar que esta distribuição é bem diferente da estimada no Balanço de Energia Útil (BEU) do Ministério de Minas e Energia para 2004 (MME, 2005a): o principal uso final é o aquecimento direto em fornos e reatores, seguido pelo vapor de processo e força motriz produzida por energia elétrica. Esta forte discrepância é explicada pela amostra muito pequena de empresas da indústria química utilizada no BEU para se estimar os valores de 2004 e, também, pelo fato da indústria química utilizar muito vapor gerado em caldeiras de recuperação, cujas fontes de calor são reações exotérmicas que ocorrem em reatores químicos graças à utilização anterior de aquecimento direto.

4.3 Autoprodução de energia elétrica na indústria química brasileira

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2008 (EPE, 2008), a capacidade instalada total de autoprodução na indústria química brasileira em 31/12/2007 era 704,2 MW, quase a totalidade (702,3 MW) composta por usinas termelétricas. 396,4 MW se localizavam na região Nordeste (393,2 MW no Estado da Bahia e 3,2 MW no Estado de Alagoas), 218,6 MW na região Sudeste (144,3 MW no Estado de São Paulo, 49,3 MW em Minas Gerais e 25,0 MW no Rio de Janeiro), 74,4 MW na região Sul (Rio Grande do Sul) e 14,8 MW na região Centro-Oeste (Goiás).

A Tabela 49 mostra a evolução, de 1994 a 2007, do consumo de energia elétrica da indústria química brasileira, assim como a desagregação deste consumo em energia adquirida da rede pública e energia autoproduzida. A tabela também desagrega a energia autoproduzida por tipo de combustível utilizado. Pode-se constatar a participação decrescente, até 2005, da geração termelétrica com derivados de petróleo e a participação crescente da geração com gás natural, indicando, claramente, um processo de substituição entre estes energéticos. Em 2006 e 2007 ocorreu uma reversão deste processo, por conta das expectativas negativas dos consumidores industriais quanto à disponibilidade e preço do gás natural, ao menos no curto e, talvez, médio prazos. Observe-se, também, na Tabela 49, a participação crescente, em todos os anos para os quais se dispõe de dados, da autoprodução com gases industriais, que foi a principal fonte de autoprodução em 2007. A autoprodução tem atendido em torno de 11% do consumo de energia elétrica deste segmento industrial nos últimos cinco anos representados na Tabela 49.

Tabela 49

Consumo de energia elétrica e sua desagregação em energia adquirida e autoproduzida, na indústria química brasileira, de 1994 a 2007

	1994	2003	2004	2005	2006	2007
Consumo total de energia elétrica (GWh)	14.946,0	18.946,0	21.612,0	21.093,9	21.855,2	23.086
Energia elétrica adquirida (GWh)	13.513,6	16.739,4	19.231,7	18.744,7	19.463,4	20.380
Autoprodução (GWh)	1.432,4	2.206,6	2.380,3	2.349,2	2.391,8	2.706
Centrais hidrelétricas	-	-	-	8,4	8,1	9
Centrais termelétricas	1.432,4	2.206,6	2.380,3	2.340,8	2.387,7	2.697
Derivados de petróleo	1.197,0	1.059,4	1.002,8	412,8	790,3	501
Gás natural	116,6	646,2	735,3	1.218,4	836,4	609
Carvão mineral	87,8	49,4	107,8	79,7	71,0	2
Biomassa	28,0	-	-	23,8	-	-
Gás industrial	3,0	451,6	534,4	606,1	686,0	1.585
Autoprodução sobre o consumo setorial	9,6	11,6	11,0	11,1	10,9	11,7

Fontes: (EPE, 2005; EPE, 2006; EPE, 2007a; EPE, 2008)

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL possui um banco de dados, de acesso público, denominado BIG, que armazena algumas informações sobre as centrais de potência elétrica instaladas no Brasil. O BIG compreende tanto centrais de serviço público, como usinas de produtores independentes e de autoprodutores. Com base neste banco de dados, elaborou-se a Tabela 50.

A Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE) do Estado de São Paulo (atual ARSESP) tem sido contratada pela ANEEL para realizar fiscalizações de usinas hidrelétricas e usinas termelétricas de pequeno porte no Estado de São Paulo. Estas fiscalizações propiciaram dados para o lançamento, em 2004, pela CSPE, de dois livros sobre tais usinas.

Tabela 50

Centrais autoprodutoras de energia elétrica na indústria química brasileira

Nome da usina	Combustível	Capacidade instalada (kW)	Proprietário	Município	UF
Bayer	Gás natural	3.840	Bayer S.A.	São Paulo	SP
Rômulo Almeida Unidade I (Ex. Camaçari – Fafen)		138.020	Fafen Energia S.A.	Camaçari	BA
		250.400	Braskem S.A.	Camaçari	BA
Camaçari		11.000	Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda.	Santo André	SP
CTS – Central Termelétrica Sul (Ex Rhodia Santo André)		4.781	Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S.A.	Camaçari	BA
Millennium					

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Nome da usina	Combustível	Capacidade instalada (kW)	Proprietário	Município	UF
Nitro Química	Gás natural, óleo 3A e enxofre líquido	12.000	Companhia Nitro Química Brasileira	São Paulo	SP
Petroflex	Gás natural	25.000	Petroflex Indústria e Comércio S.A.	Duque de Caxias	RJ
Rhodia Paulínia		12.098	Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda.	Paulínia	SP
Petroquímica União	Gás natural, gás de refinaria e óleo combustível	8.760	Petroquímica União S.A.	Santo André	SP
Solvay	Gás natural	12.600	Solvay Indupa do Brasil S.A.	Santo André	SP
UGPU (Messer)		7.700	Sociedade Brasileira Arlíquido Ltda.	Jundiaí	SP
RPBC	Óleo combustível, gás de refinaria e gás natural	22.000	Petrobrás	Cubatão	SP
Basf Guaratingutá	Óleo diesel	2.850	Basf S.A.	Guaratinguetá	SP
Bunge Guará		1.750	Bunge Fertilizantes S.A.	Guaratinguetá	SP
Byk		2.000	Altana Pharma Ltda.	Jaguariúna	SP
Merck Sharp & Dohme		3.750	Merck Sharp & Dohme Farmacêutica Ltda.	Campinas	SP
Organon		1.150	Organon do Brasil Indústria e Comércio Ltda.	São Paulo	SP
Rioplastic		720	Inústria e Comércio de Plásticos Rio Pardo Ltda.	São José do Rio Pardo	SP
Total Química				648	Total Química Ltda.
Columbian		Gás de processo e gás natural	24.400	Columbian Chemicals Brasil Ltda.	Cubatão
Capuava (Santo André)	Gás de processo e óleo 4A	18.020	Capuava Energy Ltda.	Santo André	SP
Copesul	Gás de processo	74.400	Companhia Petroquímica do Sul	Triunfo	RS
Fosfertil (Expansão do Complexo Industrial Uberaba)		24.400	Fertilizantes Fosfatados S.A.	Uberaba	MG
Elekeiroz	Enxofre e óleo diesel	11.840	Elekeiroz S.A.	Várzea Paulista	SP
Serrana	Enxofre	10.700	Fertilizantes Serrana S.A.	Cajati	SP
Bunge Araxá		23.000	Bunge Fertilizantes S.A.	Araxá	MG
Monteiros	Energia hidráulica	680	Companhia Eletroquímica Jaraguá	Candeias	MG
Pouso Alegre				352	Companhia Eletroquímica Jaraguá
Samburá		800	Companhia Eletroquímica Jaraguá		

Fontes: ANEEL, 2005; CSPE, 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

Do livro sobre usinas termelétricas (CSPE, 2004), foram extraídas algumas informações sobre usinas de autoprodutores da indústria química no Estado, adicionais às da Tabela 50, que são descritas a seguir.

A usina termelétrica Capuava, em Santo André, SP, pertence a um produtor independente de energia, a Capuava Energy Ltda., e fornece eletricidade para a Petroquímica União S.A.. A usina possui uma turbina a vapor de contrapressão, com uma capacidade instalada de 18.020 kW. O vapor requerido pela turbina (360 t/h a 1,57 MPa e 510 °C) é fornecido pela Petroquímica União S.A.; ele é proveniente do craqueamento da nafta do petróleo, no qual se consome gás de processo, e de caldeiras da instalação industrial, que consomem óleo 4A. A usina foi instalada em 1999.

A geração de energia elétrica na usina termelétrica (UTE) Columbian, localizada em Cubatão, SP, usa o vapor de uma caldeira alimentada por gás do processo de fabricação de negro-de-fumo e gás natural para movimentar uma turbina a vapor do tipo condensação, acoplada a um gerador elétrico síncrono trifásico através de um redutor de velocidade. Todos os equipamentos do ciclo térmico de Rankine foram fabricados em 1996. A capacidade da caldeira é de 116 t/h e o vapor é gerado a 6,6 MPa e 470°C.

A usina termelétrica Elekeiroz é interligada ao complexo industrial de Várzea Paulista, SP, da centenária Elekeiroz S.A.. Ela tem a particularidade de operar dois sistemas de geração independentes e com fontes energéticas diversas: vapor resultante do processo de obtenção de ácido sulfúrico a partir do enxofre, e óleo diesel. A usina opera com cinco unidades geradoras, que totalizam uma capacidade de 11.840 kW. Os equipamentos motrizes são três turbinas a vapor de condensação e dois motores diesel. O vapor, à 3,3 MPa e 325°C, é produzido em duas caldeiras de recuperação de calor, com capacidades de 37,9 t/h e 32 t/h, que aproveitam o calor gerado pela reação exotérmica envolvida na fabricação do ácido sulfúrico a partir do enxofre¹.

A geração da usina termelétrica da Merck Sharp & Dohme é feita em três unidades geradoras, cuja capacidade instalada total é de 3.750 kW, movidas por motores de combustão interna que consomem óleo diesel; elas operam desde 1999.

Na UTE Nitro Química, localizada no município de São Paulo, três caldeiras, duas aquatubulares e uma flamotubular, com capacidades de 50 e 40 t/h, produzem vapor a 4,02 MPa e 400°C, que movimentam duas turbinas de contrapressão, com uma capacidade total de 11.000 kW. Estas caldeiras queimam gás natural e óleo combustível 3A. A produção destas caldeiras é complementada com vapor gerado em uma caldeira de recuperação, na linha de produção de ácido sulfúrico da Nitro Química, a partir de enxofre. A instalação começou a operar em 1952.

A usina termelétrica da Organon é constituída por dois grupos moto-geradores, de 410 kW e 700 kW, que consomem óleo diesel. A unidade de 410 MW foi instalada em 2001 e a de 700 kW em 2004. Ambas são isoladas acusticamente.

A usina termelétrica Rioplastic opera nos horários de pico de consumo da Indústria e Comércio de Plásticos Rio Pardo Ltda. e de falhas de atendimento da concessionária distribuidora local de eletricidade. Duas unidades geradoras, de 360 kW cada, são movidas por motores de combustão interna que consomem óleo diesel. Elas foram instaladas em 2000.

A demanda de energia elétrica da Petroquímica União S.A. é atendida pela UTE Petroquímica União, de sua propriedade, pela UTE Capuava (Santo André), da Capuava Energy Ltda., e pela concessionária local de distribuição de eletricidade, a Eletropaulo. A UTE Petroquímica União opera desde 1973 segundo o ciclo Rankine e possui uma unidade geradora de 8.760 kW. O vapor provém do processo de craqueamento da nafta de petróleo, que consome gás natural e gás de refinaria, e de caldeiras que queimam óleo 4A. Das seis caldeiras instaladas, com capacidades de 80 e 150 t/h, três fornecem vapor para a UTE Capuava (Santo André), que também é alimentada por vapor produzido no processo de craqueamento. A pressão do vapor é 5,2 MPa e sua temperatura é 400°C. O equipamento motriz da UTE

¹ Na fabricação do ácido sulfúrico, o processo exotérmico fornece, aproximadamente, $38 \cdot 10^3$ kg/h de vapor, que é aproveitado no atendimento da demanda de vapor de processo da fábrica e na geração de energia elétrica.

Petroquímica União é uma turbina a vapor multiestágio, de contrapressão.

A usina termelétrica da Rhodia em Paulínia, SP, possui duas unidades, a Rhodia Paulínia Norte e a Rhodia Paulínia Sul.

A UTE Rhodia Paulínia Norte opera segundo o ciclo Rankine e possui duas unidades geradoras, uma de 1.498 kW, que foi instalada em 1957, e a outra de 2.400 kW, que opera desde 1967. O vapor para as turbinas é gerado a 3,9 MPa e 400°C em três caldeiras de capacidades 25, 55 e 150 t/h; elas queimavam, até recentemente, óleo combustível 7A e 3A.

Tal qual a UTE Rhodia Paulínia Norte, a central Rhodia Paulínia Sul também opera segundo o ciclo Rankine, mas possui uma só unidade geradora, de 10.000 kW, instalada em 1970. O vapor é gerado em duas caldeiras aquatubulares de 125 t/h, a 8,82 MPa e 8,97 MPa e 510 e 500°C, que consumiam óleo combustível.

As duas unidades da Rhodia em Paulínia foram convertidas recentemente para gás natural.

As duas turbinas a vapor, de contrapressão, da UTE CTS – Central Termelétrica Sul (Ex Rhodia Santo André), possuem uma capacidade instalada total de 14.144 kW e são alimentadas normalmente por vapor a 8,8 MPa e 510 °C, gerado em uma caldeira aquatubular de 80 t/h. Quando esta caldeira está em manutenção, são utilizadas três caldeiras aquatubulares menores, de 28 e 35 t/h, que produzem vapor a 4,1 MPa e 400°C. Para emergências localizadas, podem ser acionados dois motores de combustão interna a óleo diesel. A usina começou a operar em 1968 e foi expandida em 1972, tendo sido convertida para gás natural recentemente.

A refinaria Presidente Bernardes, da Petrobrás, em Cubatão, SP, produz, além de diversos derivados de petróleo, também alguns produtos petroquímicos básicos, como o benzeno, tolueno e xilenos. A refinaria foi implantada em 1955, junto com uma usina termelétrica que opera segundo o ciclo Rankine e aproveita parte dos 470 . 10³ kg/h de vapor produzidos por cinco caldeiras da refinaria, a partir da queima de óleo combustível 0C, 1B e RV, gás de refinaria ou gás natural. As capacidades das caldeiras são 45, 80 e 150 t/h e o vapor é gerado a 4,1 e 11,2 MPa e 400 e 525°C. A usina possui três turbinas de condensação e uma de contrapressão, que movem quatro geradores cuja capacidade total é de 22.000 kW.

A UTE Serrana foi implantada em 1975 e opera segundo o ciclo Rankine. Possui uma unidade geradora com potência máxima contínua de 10.700 kW, movida por uma turbina de extração condensação. Vapor saturado é produzido a 4,4 MPa em uma caldeira de recuperação de calor, que aproveita o calor resultante do processamento do enxofre para a produção de ácido sulfúrico, na planta de Cajati da Bunge Fertilizantes.

Junto a uma instalação industrial da Solvay Indupa do Brasil S.A., em Santo André, há a UTE Solvay, que opera segundo o ciclo Rankine com duas unidades geradoras, uma de 11.000 kW e a outra de 1.600 kW, movidas por turbinas que consomem vapor a 7,84 MPa e 495°C. Este vapor é gerado em duas caldeiras aquatubulares, de 62 t/h, que consumiam óleo 8A, mas foram convertidas, recentemente, para gás natural.

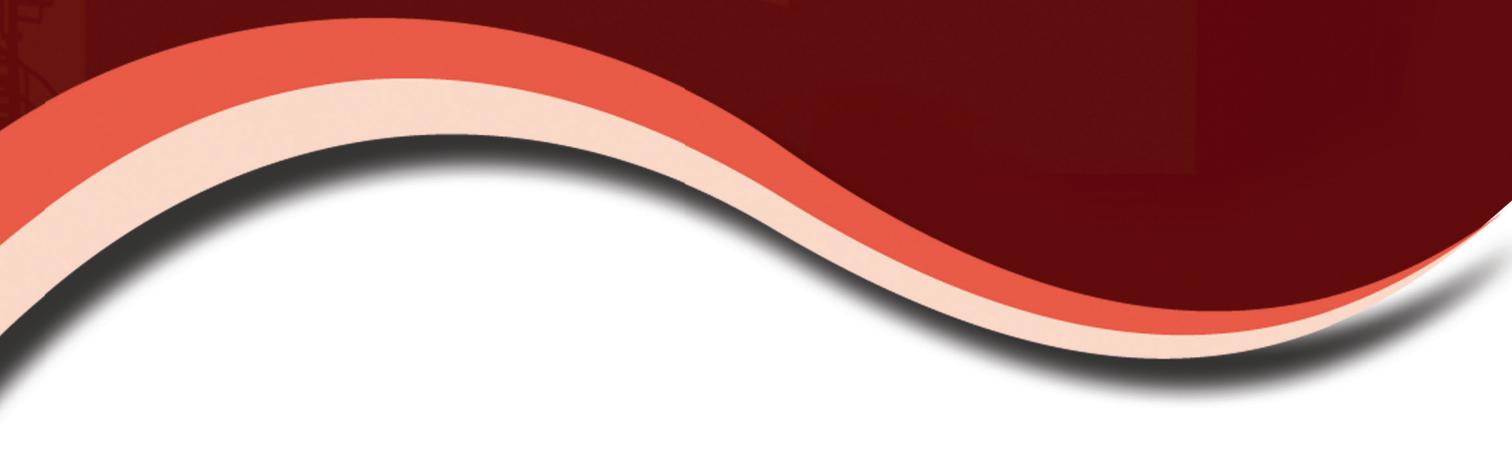
A UTE UGPU, da Air Liquide Brasil Ltda., fornece parte da demanda de energia elétrica da Pananco, fabricante dos refrigerantes Coca-Cola em Jundiaí, SP. O sistema de abastecimento de combustível (gás natural), derivado da rede de gasodutos primários do Estado de São Paulo, tem conexão com dez motores de combustão interna, aos quais se integram cinco geradores elétricos. Cada gerador tem uma potência nominal de 1.925 kVA, resultando na potência instalada de 7.700 kW. Os gases de exaustão dos motores de combustão interna passam por cinco caldeiras de recuperação de calor (capacidade de 105 t/h), gerando vapor a 0,78 MPa e 180°C, que é aproveitado na fabricação de gás carbônico para a Pananco. Com esta usina, a Air Liquide atua como produtor independente de energia junto à Pananco.

Analisando os poucos dados sobre autoprodução de energia elétrica disponibilizados pela ANEEL e os dados mais detalhados constantes na publicação da CSPE, para o Estado de São Paulo, pode-se constatar, no que diz respeito à indústria química brasileira, que:

- Predominam plantas de cogeração que operam segundo o ciclo Rankine em unidades industriais de médio e grande porte e moto-geradores que consomem óleo diesel, operando em períodos de pico de carga, ou como unidades de emergência, em plantas de menor porte;
- Há um razoável nível de competição entre gás de processo, gás natural e óleo combustível nas unidades de cogeração que operam segundo o ciclo Rankine, com várias conversões recentes de óleo combustível para gás natural. O processo inverso pode ocorrer sem grandes dificuldades, caso o gás natural se torne escasso e/ou caro;
- Tem sido usual aproveitar, em unidades de cogeração a vapor, o calor disponível na reação exotérmica envolvida na produção de ácido sulfúrico a partir do enxofre. O gás natural não compete com este aproveitamento de calor residual;

há potenciais técnicos e econômicos significativos para o aumento da autoprodução, através de unidades de cogeração, na indústria química brasileira, aproveitando vários tipos de resíduos disponíveis neste segmento industrial e o gás natural, desde que os preços deste último se mantenham competitivos.

5 Cálculo de Potenciais Técnicos de Conservação de Energia

The image features a dark red background with a faint industrial scene. In the foreground, there are decorative wavy lines in shades of orange and red, transitioning into a white area at the bottom.

5 Cálculo de Potenciais Técnicos de Conservação de Energia

5.1 Metodologia empregada

Os consumos, médio e mínimo, de energia térmica e energia elétrica de cada um dos produtos químicos analisados individualmente neste trabalho foram calculados multiplicando-se a produção física anual nacional pelos consumos energéticos específicos, médio e mínimo, de energia térmica e eletricidade (Tabelas 35 a 46).

O consumo específico médio representa a média nacional da energia consumida por unidade física de produto dentro de um processo industrial. Por outro lado, o consumo específico mínimo representa a quantidade de energia que seria consumida pelas empresas industriais se todas elas adotassem tecnologias, equipamentos e práticas de gestão que correspondem ao estado da arte, em termos de eficiência energética.

As diferenças entre os consumos, médio e mínimo, das energias térmica e elétrica fornecem os correspondentes potenciais técnicos de conservação de energia.

Tanto os consumos específicos, como os dados de produção física para cada produto ou etapa produtiva foram obtidos da literatura técnica, de anuários estatísticos e de visitas técnicas a algumas plantas industriais.

Os potenciais técnicos de conservação de energia, tanto térmica como elétrica, foram estimados por usos finais, com o auxílio de coeficientes de distribuição da energia consumida, tal qual feito no Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005).

Os coeficientes de distribuição utilizados neste trabalho para cálculo dos potenciais técnicos de conservação de energia estão indicados na Tabela 51. Eles foram estimados por meio de consultas a diversos textos da literatura técnica especializada (BROWN; HAMEL; HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM; SZKLO; SOARES, 2003; IEA, 2007) e informações obtidas em visitas técnicas a algumas plantas químicas.

Tabela 51

Principais produtos da indústria química brasileira e respectivos coeficientes de distribuição do consumo de energia, por usos finais

Cadeias	Produtos	Coeficientes de distribuição da energia consumida							
		Energia térmica				Energia elétrica			
		Aquecimento direto		Calor de processo	Força motriz	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Eletrólise
		Fornos / reatores	Secadores						
Etileno	Etileno	0,920	0,000	0,004	0,076	1,000	0,000	0,000	0,000
	Polietileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Só dicloreto de etileno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Policloreto de vinila (PVC)	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Óxido de etileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Etilenoglicol	0,177	0,000	0,823	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Tereftato de Polietileno (PET)	0,810	0,190	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras de poliéster	0,810	0,190	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Etilbenzeno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Estireno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Poliestireno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Propileno	Propileno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Polipropileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras de polipropileno	0,095	0,379	0,526	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Óxido de propileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Acrilonitrila	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras acrílicas	0,018	0,798	0,184	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fenol e acetona	0,005	0,000	0,995	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Cadeias	Produtos	Coeficientes de distribuição da energia consumida							
		Energia térmica				Energia elétrica			
		Aquecimento direto		Calor de processo	Força motriz	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Eletrólise
		Fornos / reatores	Secadores						
BTX	Benzeno, tolueno e xileno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido tereftálico (TPA)	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ciclohexano	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Caprolactama	0,000	0,000	1,000	0,000	0,370	0,630	0,000	0,000
	Ácido adipico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nylon-6	0,000	0,050	0,950	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nylon-6,6	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Anidrido maleico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Anidrido ftálico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas fenólicas	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Fertilizantes	Amônia	0,693	0,000	0,101	0,206	0,750	0,250	0,000	0,000
	Uréia	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido nítrico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nitrato de amônio	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Sulfato de amônio	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido sulfúrico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido fosfórico para fertilizantes	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido fosfórico para outros usos	1,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,990	0,000
	Fosfato de amônio	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Superfosfatos	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Cadeias	Produtos	Coeficientes de distribuição da energia consumida							
		Energia térmica				Energia elétrica			
		Aquecimento direto		Calor de processo	Força motriz	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Eletrólise
		Fornos / reatores	Secadores						
Cloro	Célula de difragma	0,000	0,000	1,000	0,000	0,015	0,013	0,000	0,972
	Célula de mercúrio	0,000	0,000	1,000	0,000	0,012	0,010	0,000	0,978
	Célula de membrana	0,000	0,000	1,000	0,000	0,013	0,012	0,000	0,975
Outros produtos	Metanol	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Butadieno	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Borrachas de estireno-butadieno	0,109	0,000	0,891	0,000	0,628	0,372	0,000	0,000
	Polibutadieno	0,000	0,864	0,136	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Buteno-1	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Formaldeído	0,453	0,000	0,547	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas fenólicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas melamínicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas uréicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Metacrilatos de metila e de etila	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Butanol-iso e butanol-n	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Isopropanol	0,491	0,000	0,509	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Éter-metil-terc-butílico	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Dióxido de titânio	0,932	0,040	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Óxido de zinco	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Os usos finais da energia considerados neste trabalho foram os mesmos do BEU:

- aquecimento direto;
- calor de processo, na forma de vapor gerado em caldeiras, ou circulação de fluidos térmicos;
- força motriz;
- refrigeração;
- processos eletroquímicos;
- iluminação;
- outros usos finais.

Diferente do BEU, no entanto, o uso final aquecimento direto foi desagregado, graças à existência de dados em muitos dos segmentos analisados, em aquecimento direto em fornos, ou reatores químicos, e aquecimento direto em secadores.

5.2 Resultados obtidos

A Tabela 52 apresenta o consumo energético total, em 2006, de 60 produtos químicos analisados neste trabalho, em tep e como porcentagem do consumo total de energia da indústria química brasileira naquele ano. Esta tabela também mostra os potenciais técnicos de conservação de energia destes produtos, tanto em termos absolutos, em tep, como em percentuais de seu consumo energético total.

Tabela 52

Consumo total de energia em 2006, em tep e como % do consumo energético da indústria química, e potencial técnico de conservação de energia também em 2006, em tep e como % do consumo energético, dos produtos químicos analisados neste trabalho

Cadeias	Produtos	Consumo total de energia		Potencial técnico de conservação de energia	
		(tep) (a)	% do consumo energético da indústria química	(tep)	((b)/(a))*100
				(b)	(%)
Etileno	Etileno	1.398.888	18,99	402.235	28,75
	Polietileno	149.722	2,03	71.190	47,55
	Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	79.719	1,08	7.858	9,86
	Só dicloreto de etileno	9.597	0,13	0	0,00
	Policloreto de vinila (PVC)	46.865	0,64	4.058	8,66
	Óxido de etileno	27.553	0,37	7.272	26,39
	Etilenoglicol	23.192	0,31	6.201	26,74
	Tereftato de Polietileno (PET)	147.331	2,00	14.466	9,82
	Fibras de poliéster	12.844	0,17	62	0,48
	Etilbenzeno	34.888	0,47	2.588	7,42
	Estireno	433.996	5,89	64.607	14,89
	Poliestireno	45.481	0,62	39.416	86,67

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR QUÍMICO

Cadeias	Produtos	Consumo total de energia		Potencial técnico de conservação de energia	
		(tep) (a)	% do consumo energético da indústria química	(tep)	((b)/(a))*100
				(b)	(%)
Propileno	Propileno	138.132	1,88	7.154	5,18
	Polipropileno	30.128	0,41	1.485	4,93
	Fibras de polipropileno	136.345	1,85	0	0,00
	Óxido de propileno	27.917	0,38	2.524	9,04
	Acilonitrila	4.503	0,06	15.817	351,22
	Fibras acrílicas	35.521	0,48	3.002	8,45
	Fenol e acetona	82.465	1,12	10.649	12,91
BTX	Benzeno, tolueno e xileno	106.714	1,45	22.200	20,80
	Ácido tereftálico (TPA)	20.397	0,28	5.259	25,78
	Ciclohexano	5.656	0,08	571	10,09
	Caprolactama	32.916	0,45	10.683	32,46
	Ácido adípico	19.150	0,26	0	0,00
	Nylon-6	25.886	0,35	2.498	9,65
	Nylon-6,6	98.873	1,34	19.870	20,10
	Anidrido maleico	6.626	0,09	1.455	21,95
	Anidrido ftálico	49.469	0,67	0	0,00
	Resinas fenólicas	37.281	0,51	0	0,00
Fertilizantes	Amônia	497.454	6,75	259.172	52,10
	Uréia	85.151	1,16	33.919	39,83
	Ácido nítrico	34.894	0,47	27.193	77,93
	Nitrato de amônio	5.647	0,08	0	0,00
	Sulfato de amônio	52.570	0,71	4.753	9,04
	Ácido sulfúrico	100.437	1,36	79.358	79,01
	Ácido fosfórico para fertilizantes	109.083	1,48	70.655	64,77
	Ácido fosfórico para outros usos	336.308	4,57	0	0,00
	Fosfato de amônio	19.748	0,27	0	0,00
	Superfosfatos	188.474	2,56	0	0,00
Cloro	Célula de diâfragma	384.621	5,22	127.855	33,24
	Célula de mercúrio	119.377	1,62	40.055	33,55
	Célula de membrana	22.735	0,31	9.295	40,88

Cadeias	Produtos	Consumo total de energia		Potencial técnico de conservação de energia	
		(tep) (a)	% do consumo energético da indústria química	(tep) (b)	((b)/(a))* 100 (%)
Outros produtos	Metanol	83.673	1,14	9.937	11,88
	Butadieno	101.949	1,38	54.896	53,85
	Borrachas de estireno-butadieno	44.350	0,60	0	0,00
	Polibutadieno	84.357	1,15	0	0,00
	Buteno-1	4.897	0,07	0	0,00
	Formaldeído	43.929	0,60	0	0,00
	Resinas fenólicas	37.281	0,51	0	0,00
	Resinas melamínicas	417	0,01	0	0,00
	Resinas uréicas	28.475	0,39	0	0,00
	Metacrilatos de metila e de etila	1.394	0,02	0	0,00
	Butanol-iso e butanol-n	3.525	0,05	0	0,00
	Isopropanol	971	0,01	0	0,00
	Éter-metil-terc-butílico	30.618	0,42	0	0,00
	Dióxido de titânio	21.763	0,30	0	0,00
	Óxido de zinco	58.654	0,80	14.299	24,38
Total		5.770.803	78,36	1.454.505	25,20

Pode-se observar, nesta tabela, que não estão associados potenciais de conservação à vários dos produtos analisados. Isto não significa que tais potenciais não existam, mas, simplesmente, que, na bibliografia consultada e nas visitas técnicas efetuadas, não foram encontrados elementos suficientes para estimá-los.

A Tabela 52 revela que o potencial técnico médio de conservação de energia dos produtos aqui analisados, como porcentagem de seu consumo energético, é de 25,2%. Os maiores potenciais de conservação, em termos absolutos, são do etileno, amônia, cloro, ácido sulfúrico, polietileno e ácido fosfórico para fertilizantes. Em termos relativos, os maiores percentuais de conservação são da acrilonitrila (cujo processo de fabricação pode se tornar uma exportadora líquida de energia), poliestireno, ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fosfórico para fertilizantes.

A Tabela 53 mostra os potenciais técnicos de conservação de energia estimados neste trabalho, divididos entre os seus principais usos finais. Foram eliminados, nesta tabela, os produtos para os quais não foram obtidos dados suficientes para permitir o cálculo de seus potenciais. Observe-se que o maior potencial de conservação, na produção de etileno – 402.235 tep, se dá, sobretudo, em energia térmica utilizada em fornos / reatores. Tal qual ocorre com o etileno, a maior parte do potencial de conservação de energia na produção da amônia (o segundo maior potencial - 259.172 mil tep) também se dá em fornos / reatores. O terceiro maior potencial está associado ao cloro produzido nas células de diafragma. Estes três produtos respondem por 53,6% do potencial de conservação de energia na indústria química.

Dos produtos da cadeia denominada “Outros produtos com consumo energético elevado”, só foram obtidos dados suficientes para estimar o potencial de conservação do metanol, do butadieno e do óxido de zinco.

O total estimado de conservação de energia para a indústria química brasileira em 2006 foi de 1.454.550 tep, representando 19,7% do total da energia consumida por este segmento industrial naquele ano.

Os Gráficos 31 e 32 ilustram este potencial para as energias térmica e elétrica, respectivamente. As barras, nestas figuras, representam, em sua totalidade, o consumo energético real, que é dado pela soma do consumo energético mínimo (azul) com o potencial de conservação (vermelho). Observe-se que tanto o consumo como o potencial de conservação de energia térmica são maiores do que os valores correspondentes de energia elétrica nesta indústria.

5.3 Potencial de conservação de energia segundo o BEU

Os dados do Balanço de Energia Útil (BEU) também permitem um cálculo de potencial técnico de conservação de energia para a indústria química brasileira; o valor resultante é de 272.468 tEP em 2006, utilizando os coeficientes de distribuição, por usos finais, e os rendimentos de conversão levantados em 2004 (MME, 2005). Este resultado é bem menor do que o obtido nas simulações do presente relatório. Isso se deve ao fato de que as simulações do Balanço de Energia Útil se restringem aos ganhos potenciais associados à troca dos equipamentos utilizados na época dos levantamentos do BEU (o último foi em 2004) pelos equipamentos correspondentes mais eficientes existentes no mercado na época, deixando de lado os importantes ganhos de eficiências que podem ser obtidos através da otimização dos fluxos energéticos, cogeração de energia térmica e mecânica/elétrica e uma melhor gestão da energia na planta. O Gráfico 33 ilustra esta diferença.

Tabela 53

Potenciais técnicos de conservação de energia na indústria química no Brasil, em 2006

Cadeias	Produtos	Potenciais técnicos de conservação de energia (tep)							Total
		Energia térmica			Energia elétrica				
		Aquecimento direto		Calor de processo	Força motriz	Força motriz	Refrigeração	Eletrólise	
		Fornos / reatores	Secadores						
Etileno	Etileno	344.098	0	1.496	28.425	28.216	0	0	402.235
	Poliétileno	0	0	16.908	0	54.282	0	0	71.190
	Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	7.858	0	0	0	0	0	0	7.858
	Policloreto de vinila (PVC)	0	0	4.058	0	0	0	0	4.058
	Óxido de etileno	0	0	5.128	0	2.144	0	0	7.272
	Etilenoglicol	787	0	3.660	0	1.754	0	0	6.201
	Tereftato de Polietileno (PET)	10.620	2.491	0	0	1.355	0	0	14.466
	Fibras de poliéster	50	12	0	0	0	0	0	62
	Etilbenzeno	0	0	2.588	0	0	0	0	2.588
	Estireno	0	0	64.607	0	0	0	0	64.607
	Poliestireno	38.297	0	0	0	1.119	0	0	39.416

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

Cadeias	Produtos	Potenciais técnicos de conservação de energia (tep)							Total
		Energia térmica				Energia elétrica			
		Aquecimento direto		Calor de processo	Força motriz	Força motriz	Refrigeração	Eletrólise	
		Fornos / reatores	Secadores						
Propileno	Propileno	7.154	0	0	0	0	0	0	7.154
	Polipropileno	0	0	743	0	743	0	0	1.485
	Óxido de propileno	0	0	2.524	0	0	0	0	2.524
	Acrlonitrila	15.817	0	0	0	0	0	0	15.817
	Fibras acrílicas	38	1.694	391	0	879	0	0	3.002
	Fenol e acetona	34	0	6.740	0	3.875	0	0	10.649
BTX	Benzeno, tolueno e xileno	20.363	0	0	0	1.837	0	0	22.200
	Ácido tereftálico (TPA)	5.012	0	0	0	247	0	0	5.259
	Ciclohexano	0	0	571	0	0	0	0	571
	Caprolactama	9.906	0	0	0	777	0	0	10.683
	Nylon-6	0	125	2.373	0	0	0	0	2.498
	Nylon-6,6	0	0	16.099	0	3.771	0	0	19.870
	Anidrido maleico	1.455	0	0	0	0	0	0	1.455
Fertilizantes	Amônia	155.603	0	22.678	46.254	25.978	8.659	0	259.172
	Uréia	0	0	28.242	0	5.677	0	0	33.919
	Ácido nítrico	25.087	0	0	0	2.106	0	0	27.193
	Sulfato de amônio	0	0	4.753	0	0	0	0	4.753
	Ácido sulfúrico	79.358	0	0	0	0	0	0	79.358
	Ácido fosfórico para fertilizantes	0	0	63.890	0	6.765	0	0	70.655
Cloro	Célula de difragma	0	0	106.810	0	316	274	20.456	127.855
	Célula de mercúrio	0	0	32.657	0	89	74	7.235	40.055
	Célula de membrana	0	0	7.105	0	28	26	2.134	9.295
Outros produtos	Metanol	9.937	0	0	0	0	0	0	9.937
	Butadieno	0	0	54.896	0	0	0	0	54.896
	Óxido de zinco	9.465	0	0	0	4.834	0	0	14.299

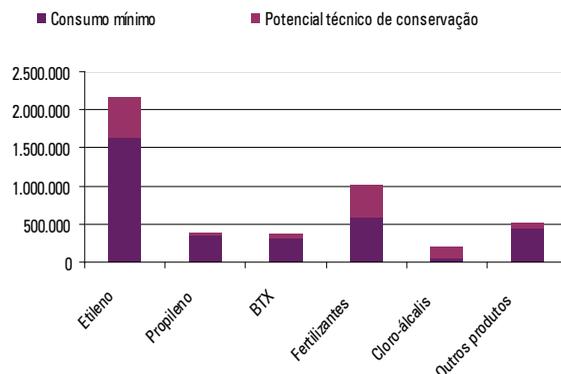


Gráfico 31

Consumo e potencial de conservação de energia térmica na indústria química brasileira em 2006

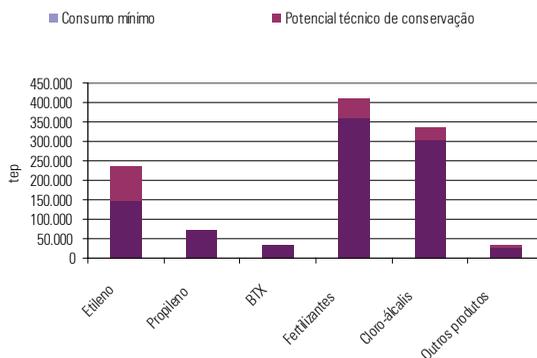


Gráfico 32

Consumo e potencial de conservação de energia elétrica na indústria química brasileira em 2006

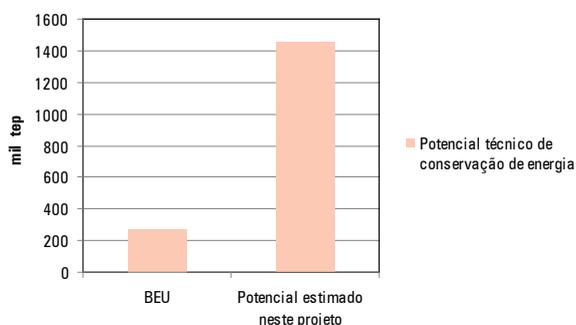
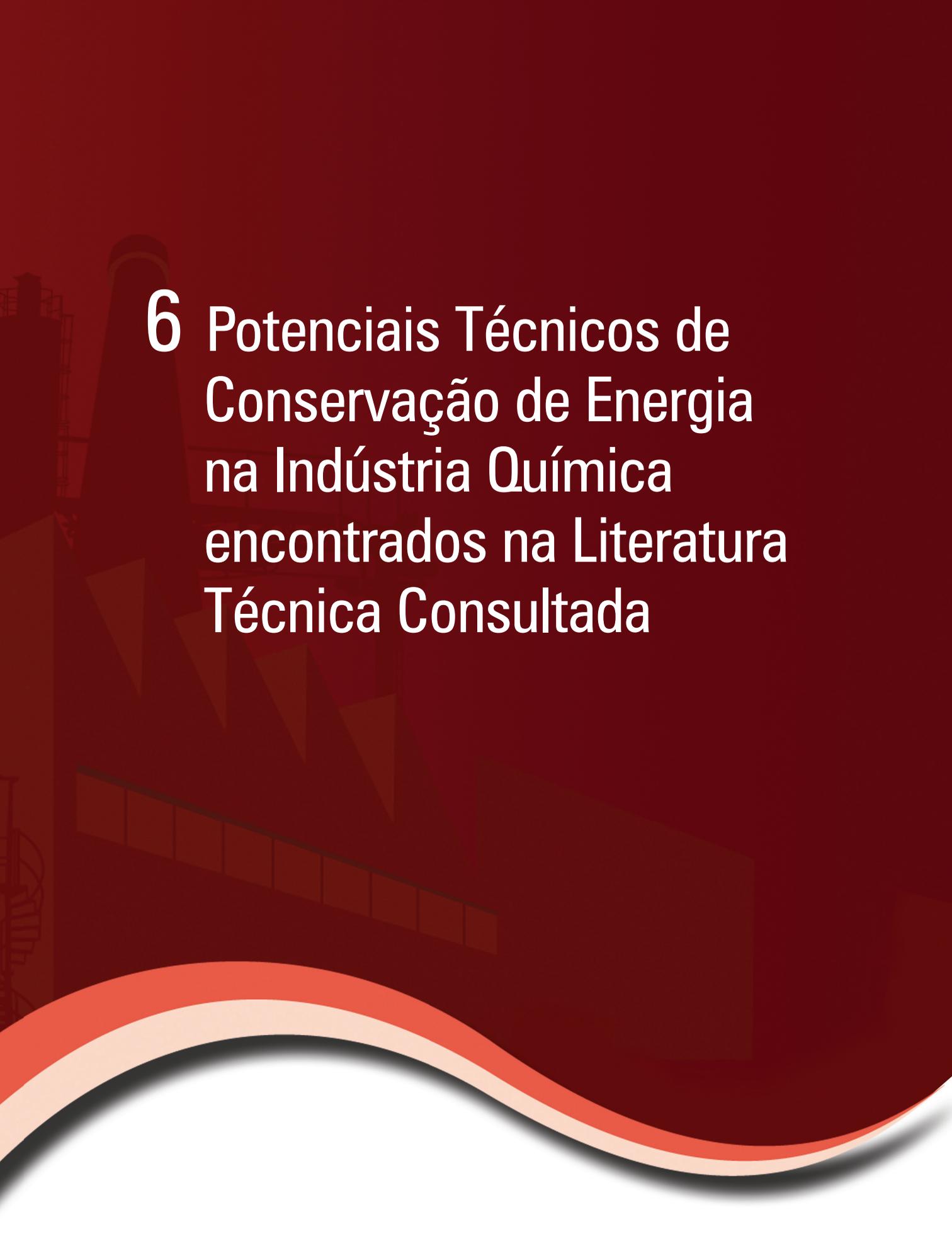


Gráfico 33

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia na indústria química brasileira estimados com os dados do BEU e neste trabalho



6 Potenciais Técnicos de Conservação de Energia na Indústria Química encontrados na Literatura Técnica Consultada

6 Potenciais Técnicos de Conservação de Energia na Indústria Química encontrados na Literatura Técnica Consultada

A Agência Internacional de Energia (AIE) estimou um potencial técnico de economia de combustíveis e matérias-primas energéticas (mais da metade da demanda energética) para a indústria química no mundo na faixa de 18 a 22% em 2005 (IEA, 2008). Na produção de cloreto de polivinila em 2004, a Agência estimou um potencial técnico de 10%; as economias estimadas para as produções de amônia e de polipropileno naquele ano foram de 20 e 40%, respectivamente (IEA, 2007). A menos das produções de amônia e polipropileno, estas estimativas de potenciais de conservação de combustíveis estão próximas das calculadas neste trabalho.

O potencial de mercado de conservação de energia encontrado em 2008 na indústria petroquímica chilena é de 2,6% (MELLADO; CERDA, 2008; MALDONADO, 2008).

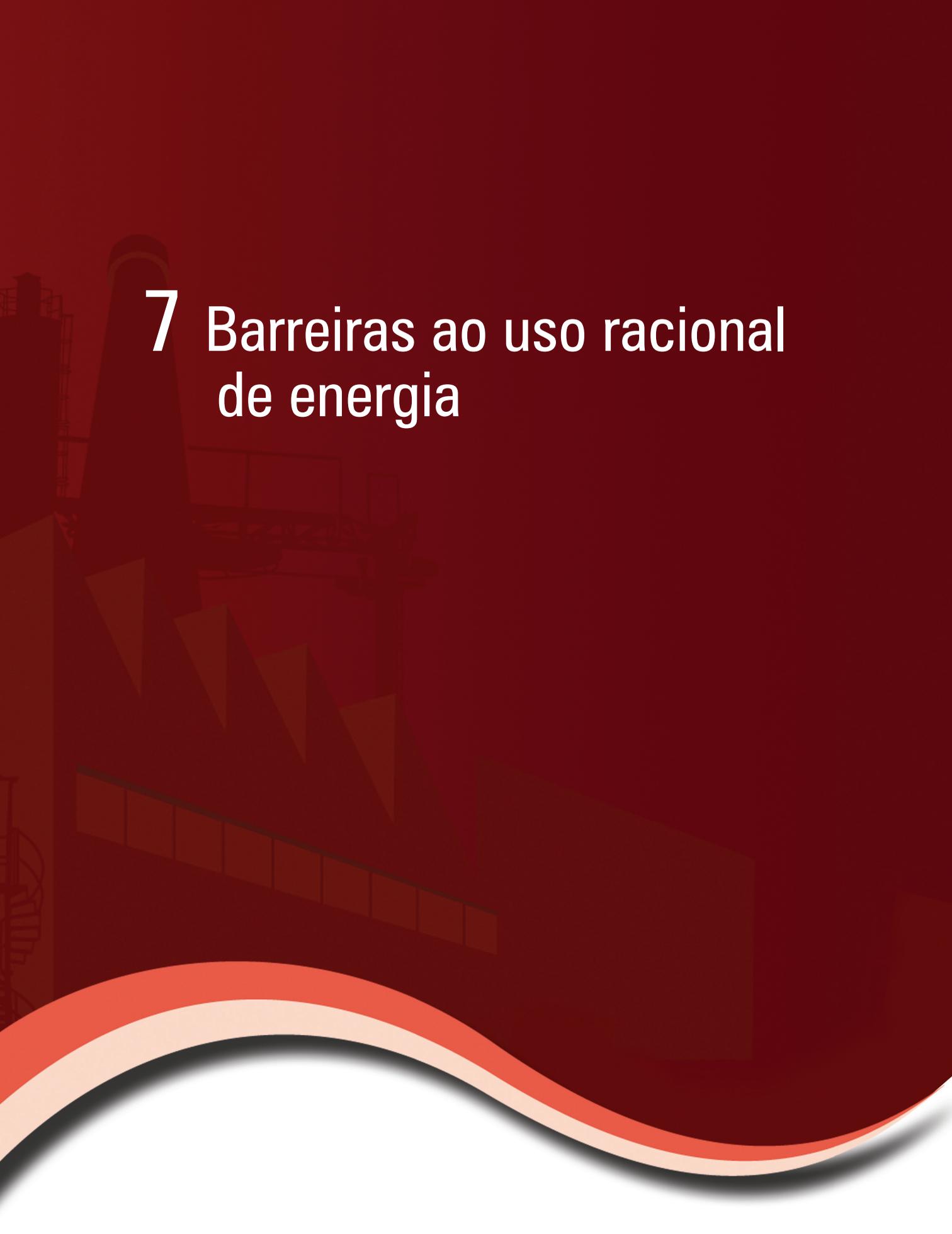
Nas análises de potenciais de conservação de energia em segmentos industriais heterogêneos para os quais se dispõe de estatísticas regulares de produção, como é o caso da indústria química, a AIE utiliza um indicador constituído por um quociente entre o consumo energético anual que se teria com as melhores tecnologias disponíveis e o consumo energético real anual do segmento (IEA, 2007). Tal indicador facilita as comparações entre segmentos industriais de diversos países. Empregando este indicador, a Agência estimou os seguintes potenciais técnicos de economia de energia nas indústrias químicas de alguns países em 2005: EUA – 33%, Arábia Saudita – 25%, Brasil – 21%, Índia – 18%, China – 16%, França – 14%, Alemanha – 14%, Japão – 14%, Canadá – 8% e Reino Unido – 7% (IEA, 2008). Note-se como o indicador calculado para a indústria química brasileira está muito próximo do potencial técnico de conservação de energia estimado neste trabalho – 19,7%.

A Abesco divulgou, em 2006, um potencial de mercado de economia de energia de 10% na indústria química brasileira (MOURA, 2006).

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), no volume que trata de eficiência energética, estima um potencial técnico de 10%, um potencial econômico de 7,5% e um potencial de mercado de 5% no consumo de energia elétrica na produção de cloro e soda cáustica, através do processo de eletrólise, com a utilização de tecnologias atualmente disponíveis no mercado (EPE, 2007b). O potencial técnico de conservação de energia elétrica estimado pela EPE está aderente com o valor calculado neste trabalho para este potencial na cadeia de cloro-álcalis.

O PNE 2030 projeta economias de energia elétrica na indústria química brasileira em 2030 que variam de 24 a 50% do consumo total deste energético naquele ano, dependendo do cenário adotado para o crescimento da economia (EPE, 2007b). Neste trabalho, calculou-se um potencial técnico de economia de energia elétrica de 9,9% para a indústria química brasileira como um todo. Este valor é significativamente inferior às estimativas da EPE, por conta de não se ter conseguido levantar informações suficientes para estimar este potencial para vários dos produtos analisados individualmente aqui, além do fato da categoria “resto da indústria química”, cujo potencial não foi avaliado neste trabalho, contemplar um consumo elevado deste energético.

7 Barreiras ao uso racional de energia



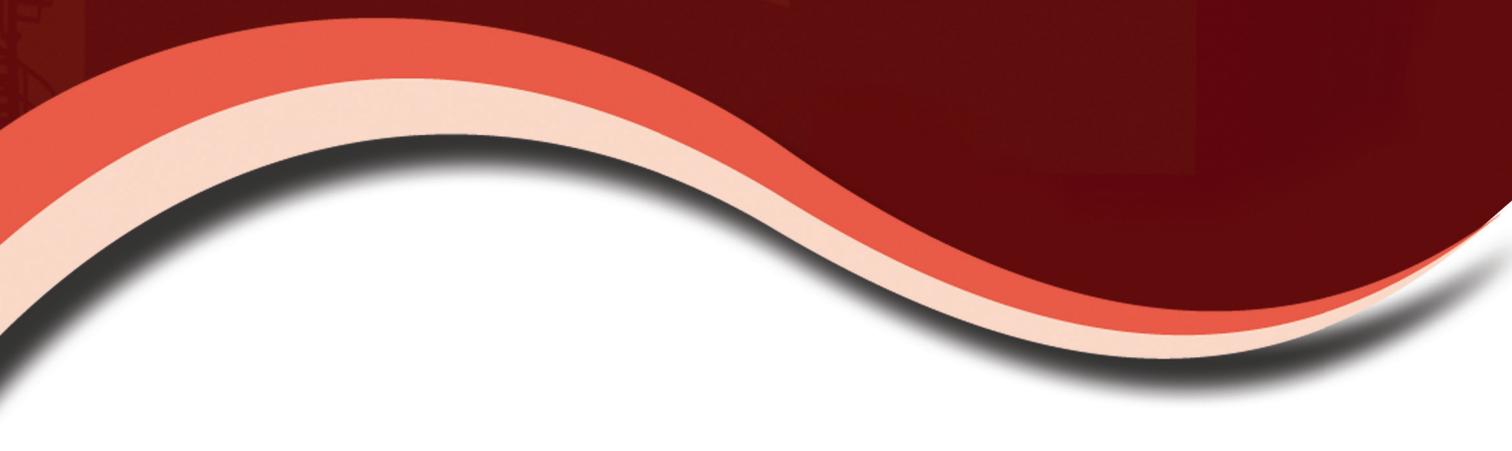
7 Barreiras ao uso racional de energia

A indústria química, da maneira como foi tratada no projeto, inclui o segmento petroquímico, as produtoras de fertilizantes e as produtoras de soda-cloro. As grandes empresas destes ramos industriais têm boa organização e seus empregados têm boa capacitação profissional. Da mesma forma, não se supõe que barreiras financeiras sejam efetivas nestes ramos industriais especificamente no que diz respeito ao uso racional de energia.

As maiores empresas da indústria química são unidades que operam em regime bastante intenso, praticamente sem paradas prolongadas. Assim, a janela de oportunidade para alterações visando racionalização do uso da energia está na substituição de equipamentos. Nesse momento, em função da conjuntura econômica e energética, decide-se por uma tecnologia ou equipamento, que irá operar por anos a fio. Consequentemente, as ações voltadas ao uso racional da energia dependem de conjunturas específicas nas poucas oportunidades de realização desses investimentos.

Por outro lado, a indústria química brasileira possui uma parcela minoritária, em termos de consumo energético, mas, ainda assim, significativa de pequenas e médias empresas, que consomem, sobretudo, energia elétrica e que, frequentemente, utilizam equipamentos de baixa eficiência e não empregam métodos modernos de gestão energética. Nestas empresas, que são em grande número, encontram-se tanto barreiras associadas à falta de conhecimento de oportunidades de conservação de energia, como, também, dificuldades para se obter financiamento para programas visando ganhos de eficiência energética.

8 Conclusões

The page features a dark red background with a faint, semi-transparent image of an industrial facility, including a tall chimney and various structural elements. At the bottom, there are decorative wavy lines in shades of red and orange, creating a modern, graphic look.

8 Conclusões

Na indústria química brasileira há possibilidades de importantes ganhos de eficiência energética que podem ser obtidos não só através da troca de processos e equipamentos por outros mais modernos e eficientes, como, também, através da otimização dos fluxos energéticos, cogeração de energia térmica e mecânica/elétrica e uma melhor gestão da energia nas plantas químicas.

O potencial técnico médio de conservação de energia dos produtos químicos analisados individualmente neste trabalho, como porcentagem de seu consumo energético, é de 25,2%. Os maiores potenciais de conservação, em termos absolutos, são do etileno, amônia, cloro, ácido sulfúrico, polietileno e ácido fosfórico para fertilizantes. Em termos relativos, os maiores percentuais de conservação são da acrilonitrila, poliestireno, ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fosfórico para fertilizantes.

O total estimado de conservação de energia para a indústria química brasileira em 2006 foi de 1.454.550 tep, representando 19,7% do total da energia consumida por este segmento industrial naquele ano.

De uma forma geral, os potenciais técnicos de conservação de energia calculados neste trabalho para a indústria química nacional estão aderentes com estimativas correspondentes encontradas na literatura técnica consultada.

O craqueamento com vapor para a produção de olefinas, com destaque para o etileno, é o processo mais energo-intensivo da indústria química. O craqueamento consome cerca de 65% da energia utilizada na produção de etileno, mas o uso de tecnologias que constituem o estado da arte, como o emprego de materiais que resistem a altas temperaturas no forno de craqueamento e a utilização de unidades de cogeração que aproveitam o calor dos gases de exaustão do forno, podem economizar até 20% deste consumo; o craqueamento catalítico também possibilita economias de energia da ordem de 20%. O restante da energia é usado na separação do etileno, através da destilação a baixas temperaturas e compressão; até 15% desta energia pode ser economizada com o emprego de tecnologias avançadas, como a separação por absorção (Bernstein et alii, 2007).

Há uma grande expectativa quanto ao uso futuro, em larga escala, de membranas em processos de separação na indústria química, substituindo processos tradicionais, energo-intensivos, como destilação, fracionamento e extração. Segundo estimativas da AIE, até 2015 é possível alcançar economias de energia da ordem de 15% com o uso de membranas em plantas piloto e unidades de demonstração. Estas economias podem subir para 17% até 2030 em unidades de demonstração e nas primeiras plantas comerciais. Finalmente, esta tecnologia deverá estar plenamente desenvolvida, com custos competitivos e comercialmente disponível em 2050, propiciando economias de energia em torno de 20% (IEA, 2006).

Segundo Martin et alii (2000), a reforma autotérmica da amônia tem razoáveis chances de propiciar grandes economias de energia no futuro, enquanto que a recuperação de plásticos deve se difundir bastante, com um médio potencial de conservação de energia.

Em um levantamento industrial efetuado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel em 2005/2006, 34 plantas foram classificadas como pertencentes à indústria química. Destas, sete não puderam ser analisadas neste projeto, pois duas delas não pertenciam, de fato, a esta categoria e os respondentes das demais não forneceram um mínimo de dados necessários para a análise. As 27 plantas remanescentes são, em sua maioria, de pequeno, ou médio porte, e quase todos os seus produtos não foram contemplados na análise dos produtos químicos avaliados individualmente neste relatório, pois são, em geral, produtos da 3ª geração da cadeia produtiva da indústria química, com consumos energéticos específicos não muito elevados. Todas as 27 plantas químicas que compõem a amostra do Procel consomem energia elétrica, seis delas consomem gás natural, quatro consomem óleo

combustível, duas GLP e uma lenha. A análise dos equipamentos declarados por estas empresas e seus consumos energéticos permitiu constatar a existência de muitos equipamentos com idades avançadas e, também, no caso de motores elétricos, unidades que operam com baixo fator de carga. Logo, para estas plantas, que constituem uma amostra representativa das pequenas e médias empresas da indústria química nacional, a simples troca de equipamentos por outros mais eficientes e, no caso dos motores elétricos, que operem com fatores de carga mais elevados, já podem produzir economias significativas, sobretudo de energia elétrica.

No Brasil, há programas de gestão ambiental muito bem elaborados nas indústrias de celulose e papel, química e de metais não-ferrosos. Em geral não há articulações destes programas no âmbito setorial; a indústria química, através da Abiquim, é uma exceção.

A utilização de medidas de eficiência energética de uma forma sistemática nestes programas é ainda rara no país, ao contrário do que se verifica em muitos segmentos congêneres no exterior. Há uma iniciativa, muito tímida ainda, da Abiquim neste sentido na indústria química, que precisaria ser expandida.

Normas de gestão otimizada de energia na indústria, compatíveis com a ISO 9000 e a ISO 14000, têm sido aplicadas com sucesso na atual década tanto em países desenvolvidos, como os EUA, Suécia e Dinamarca, como em países em desenvolvimento, como a China. Elas poderiam começar a ser utilizadas na indústria química no Brasil, em um processo que poderia ser capitaneado por associações representativas da indústria como um todo, como é o caso da Confederação Nacional da Indústria - CNI, da indústria química – como a Abiquim, ou, melhor ainda, por alguma parceria entre elas.

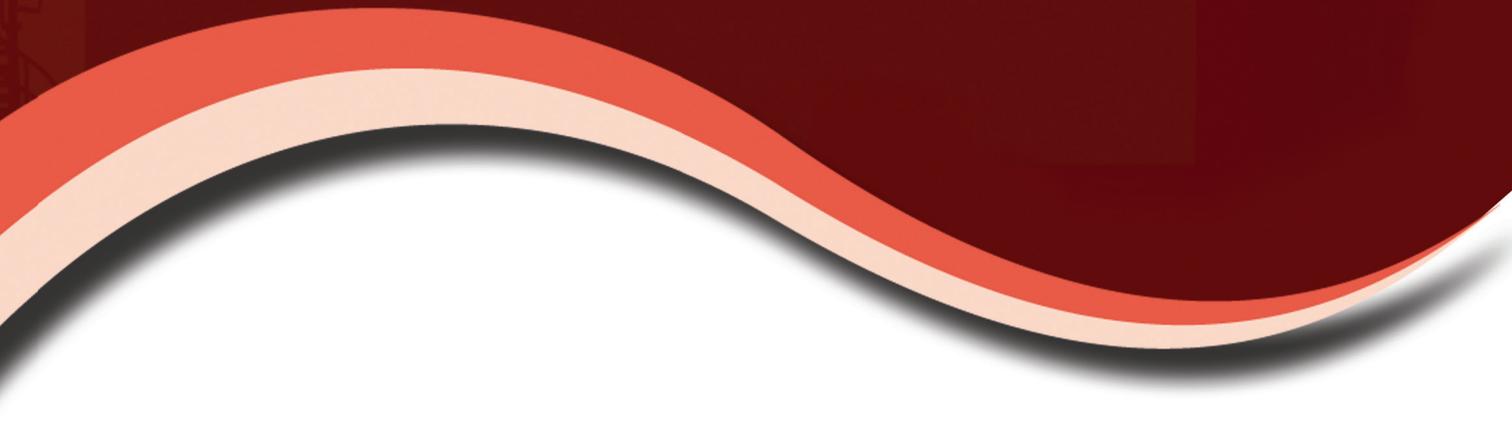
Uma estratégia essencial, pouco utilizada no Brasil, para alcançar ganhos de eficiência energética no longo prazo e conseguir saltos de competitividade sustentáveis na indústria química é através de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) com equipamentos e processos industriais eficientes. Parcerias público-privadas têm sido montadas em vários países para diminuir os riscos e incertezas associadas a estas atividades. Os EUA têm apostado nesta estratégia, sobretudo através do Department of Energy (DoE), já há bastante tempo. A Abiquim e a CNI poderiam negociar com o Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT e o Ministério de Minas e Energia – MME como, a curto prazo, recursos disponíveis na FINEP e em fundos setoriais existentes, com os de Energia e de Petróleo, poderiam ser utilizados para esta finalidade; a médio prazo, um novo fundo setorial, voltado especificamente para o desenvolvimento científico e tecnológico da indústria química nacional, poderia ser criado.

Acordos voluntários entre governo e indústria têm sido comuns na implementação de programas de eficiência energética na indústria química em diversos países. Em geral, estes acordos propiciam benefícios fiscais e/ou creditícios para as empresas participantes. Negociações neste sentido poderiam ser iniciadas envolvendo associações setoriais como a Abiquim e a CNI, de um lado, e alguns ministérios do governo federal envolvidos com esta questão, como o MME, o Ministério do Meio Ambiente – MMA e o Ministério da Fazenda.

Um aprofundamento deste estudo e a implantação, em escala de demonstração, de alguns programas de eficiência energética poderiam ser efetuados em duas frentes, uma envolvendo empresas de primeira e segunda geração da indústria química, priorizando as cadeias do etileno, dos fertilizantes e do cloro-álcalis, e a outra voltada para as empresas de pequeno e médio porte da terceira geração.

As abordagens devem ser diferentes nestas duas frentes. Para as empresas de primeira e segunda geração, que estão fortemente concentradas nos pólos petroquímicos de Santo André, Camaçari e Triunfo, os focos devem ser em acordos voluntários, na implantação de sistemas de gestão energética compatíveis com o Programa Atuação Responsável da Abiquim, e em projetos de P&D voltados para o desenvolvimento de equipamentos e processos industriais eficientes. Para as empresas de pequeno e médio porte da terceira geração deve ser fomentada a realização de contratos de performance entre elas e empresas especializadas na prestação de serviços de eficiência energética – ESCO's.

Referências



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2005.

_____. **Site**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: set. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÁLCALIS, CLORO E DERIVADOS (Abiclor). **Anuário estatístico 2006**. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (Abiquim). **Anuário da indústria química brasileira**. São Paulo, 2007.

_____. **Site**. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br>>. Acesso em: 22 mar. 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS (ABRAF). **Site**. Disponível em: <<http://www.abrafas.org.br>>. Acesso em: 06 abr. 2008.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Site**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em: 13 abr. 2008.

BAJAY, S. V. et. al. **Relatório da atividade I**: caracterização técnica, econômica e energética dos onze segmentos industriais energo-intensivos objeto de análise. São Paulo: Unicamp, 1995.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Site**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/estatísticas>>. Acesso em: jul. 2008.

BERNSTEIN, L. et al. Industry. In: METZ, B. et. al. ed. **Climate change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco de energia útil 2005**. Brasília, DF, 2005.

BRASKEM. **Site**. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br>>. Acesso em: 22 mar. 2008.

BROWN, H. L.; HAMEL, B. B.; HEDMAN, B. A. **Energy analysis of 108 industrial processes**. Washington: Fairmont Press Editions, 1985.

COMISSÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA (CSPE). **Usinas termelétricas de pequeno porte no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2004.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (EPE). **Balanco energético nacional 2005**: sumário executivo. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

_____. **Balanco energético nacional 2006**: sumário executivo. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

_____. **Balanco energético nacional 2007**: sumário executivo. Rio de Janeiro, 2007a.

_____. **Balanco energético nacional 2008**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **Plano nacional de energia 2030**: eficiência energética. Rio de Janeiro, 2007b.

ERENO, D. Plástico renovável. **Pesquisa Fapesp**, 142, dez. 2007.

FOSFERTIL. **Site**. Disponível em: <<http://www.fosfertil.com.br>>. Acesso em: 22 mar. 2008.

GALVANI. **Site**. Disponível em: <<http://www.galvani.com.br>>. Acesso em: 22 mar. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Site**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02. ago. 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy technology perspectives 2006**: Scenarios and Strategies to 2050. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2006.

_____. **Tracking industrial energy efficiency and co2 emissions**. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2007.

_____. **Worldwide trends in energy use and efficiency**. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2008.

KUPFER, D; HASENCLEVER, L.; ANTUNES, A. **Nota técnica**: setor químico, estudos prospectivos setoriais temáticos: módulo 4, estudo da dimensão territorial do PPA. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2006.

MALDONADO, P. Uso eficiente de la energía en Chile, una tarea pendiente: industria e minería. In: GLOBAL ENERGY ASSESSMENT (GEA), Campinas, SP, agosto de 2008. **Anais...** São Paulo, 2008.

MARIUZZO, P. Foco do setor químico está na substituição de derivados de petróleo e no controle ambiental. **Inovação**, 3(1), p.6-9, 2007.

MARTIN, N. et. al. Emerging energy-efficient industrial technologies. **LBNL Report**, n. 46990, 2000.

MELLADO, P.; CERDA, C. Energy efficiency in industry: the Chilean experience, paper presented. INTERNATIONAL ENERGY MANAGEMENT SYSTEM STANDARDS . Aug. 2008. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABNT, 2008.

MOURA, R. C. Resultado de eficiência energética na indústria: visão da ABESCO. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Campinas, SP. **Anais...** São Paulo, 2006.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. (coord.). **A matriz energética brasileira na virada do milênio.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S.; SOARES, J. B. **Mercado de gás natural na indústria química e no setor hospitalar no Brasil.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ,, 2003.

VIGLIANO, R. Menos dependente da nafta: expansão da indústria será garantida com matérias-primas alternativas. **Brasil Energia**, n. 326, jan. 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Wagner Cardoso
Gerente de Infraestrutura

Equipe Técnica
Francine Costa Vaurof
Rafaella Sales Dias
Rodrigo Sarmento Garcia

Adriana Ribeiro
Produção Editorial

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

Renata Lima
Normalização

Consultores

Carlos Roberto Rocha
Sérgio Bajay
Filipe Debonzi Gorla

Equipe Técnica

ELETOBRAS / PROCEL

PROCEL INDÚSTRIA

Alvaro Braga Alves Pinto
Bráulio Romano Motta
Carlos Aparecido Ferreira
Carlos Henrique Moya
Marcos Vinícius Pimentel Teixeira
Roberto Ricardo de Araujo Goes
Rodolfo do Lago Sobral

Colaboradores

George Alves Soares
Humberto Luiz de Oliveira
Marília Ribeiro Spera
Roberto Piffer
Vanda Alves dos Santos

Cristine Bombarda Guedes
Revisão Gramatical

Kelli Mondaini
Revisão Gráfica

CT Comunicação
Projeto Gráfico/Editoração



Ministério de
Minas e Energia

