

# TECBaHIA

REVISTA BAIANA DE TECNOLOGIA

ISSN 0104-3285 V. 23, N. 1-3, JAN./DEZ. 2008

EDIÇÃO ESPECIAL

PÓLO INDUSTRIAL  
DE CAMAÇARI



30 Anos de Realizações



Construindo o Futuro



COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI



Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

# **Editorial**

---

**A**revista TECBAHIA com muito orgulho dedica esta edição especial à comemoração dos 30 Anos do Pólo Industrial de Camaçari. Nela são apresentadas as realizações das suas empresas, seus desafios, oportunidades e perspectivas, bem como o resultado de estudos e trabalhos de natureza científica, tecnológica e inovadora que têm sido desenvolvidos em parceria com a academia. Esta parceria tem gerado frutos e ganhos expressivos para as empresas e também para as universidades que cada vez mais devem fortalecer esta aproximação.

O Pólo Industrial de Camaçari, que é o resultado da fusão e extensão do Pólo Petroquímico de Camaçari, cujas atividades se iniciaram há 30 anos, abriga hoje 90 indústrias de variadas naturezas, incluindo-se aí a indústria automobilística, suas sistemistas, seus fornecedores, além da indústria de transformação de terceira geração, em franco crescimento.

O CEPED, cuja criação data da mesma época do Pólo Petroquímico de Camaçari, vem tendo importante participação na sua história. Já no início das suas atividades, preocupou-se o CEPED em criar o Programa Petroquímico para atender às demandas tecnológicas das empresas ali instaladas. Vários projetos foram desenvolvidos neste sentido, desde a solução de problemas operacionais (troubleshooting), estudos de melhorias de processos, otimizações energéticas, além dos serviços de laboratórios. Durante a crise do petróleo na década de 1970, o CEPED desenvolveu tecnologia e projeto básico para a produção do acetaldeído a partir do etanol, a produção do sebacato a partir do óleo de mamona, tendo realizado ainda estudos para o "revamp" da planta de gás de cidade de São Paulo. Desenvolveu também tecnologia para a produção de gás combustível a partir da gaseificação de madeira.

No setor mineral, o CEPED deu grande contribuição pela sua ativa participação no desenvolvimento do processo de produção de cobre eletrolítico, bem como no aproveitamento de correntes residuais do processo produtivo da Caraíba Metais, única produtora deste importante insumo industrial no Brasil.

No setor de informações tecnológicas, além de dar prosseguimento à edição do Manual Econômico da Indústria Química - MEIQ (periódico que objetiva fornecer informação básica sobre produtos químicos e petroquímicos nas áreas tecnológica e mercadológica para o planejamento estratégico e a tomada de decisões), vem tendo importante participação no fornecimento de publicações de maneira geral, além da edição da revista TECBAHIA.

Hoje, o CEPED intensifica as suas atividades de P&D, já com alguns projetos de desenvolvimento tecnológico aprovados, inclusive pela sua integração à recém-criada Rede Temática de Petroquímica da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP/Petrobrás, que irá propiciar o fortalecimento da infra-estrutura e desenvolvimento de novos projetos na área. Participa do Sistema Brasileiro de

Tecnologia – SIBRATEC, também recém-lançado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, que atuará em três vertentes distintas: extensionismo, serviços tecnológicos e inovação tecnológica.

Novos projetos de P&D vêm sendo contratados, e a participação do CEPED na Comissão de Tecnologia do Comitê de Fomento Industrial de Camaçari - COFIC tem despertado o interesse das empresas associadas em reforçar suas atividades.

Vivemos um momento especial da Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil. A sociedade do conhecimento está na ordem do dia, o entendimento da inovação como estratégia para o desenvolvimento permeia todos os meios acadêmicos, científicos e industriais. O programa de subvenção econômica da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP abre as portas das empresas para a captação de recursos não reembolsáveis, os Fundos Setoriais reservam uma cota especial de recursos para as regiões Norte e Nordeste e a Lei do Bem propicia a redução de imposto para aqueles que investem em P&D.

A Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação - SECTI não tem poupar esforços apoiando inúmeras ações no Estado da Bahia que desembocam nas empresas do Pólo Industrial de Camaçari, a exemplo da criação do TECNOVIA Parque Tecnológico de Salvador sob sua responsabilidade. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB, também vinculada à SECTI, cada vez mais fortalecida, vem desempenhando um papel fundamental para o desenvolvimento científico e tecnológico do Estado da Bahia através dos seus editais, como o Bahia Inovação. A Lei de inovação gestada na FAPESB com a participação da comunidade já foi aprovada na Assembléia Legislativa. O Programa de Aceleração do Crescimento para Ciência e Tecnologia destina R\$ 41 bilhões para o período de 2007-2010. Aliado a tudo isto, observamos o crescimento industrial da Bahia com o apoio do Governo do Estado, o crescimento da demanda por inovação, como condição para sobrevivência, a consolidação do Pólo Industrial de Camaçari e das Redes de Pesquisas.

Neste momento em que se comemora os 30 Anos do Pólo Industrial de Camaçari, ressurge o CEPED desempenhando o seu papel de prestar os serviços para o qual foi criado, com o respaldo da Reitoria da Universidade do Estado da Bahia - UNEB, à qual está vinculado.

Com o apoio da UNEB, que já conta com seu curso de mestrado em química consolidado, das outras universidades estaduais, das universidades federais, das secretarias de estado, seus órgãos afins, dos apoios já declarados do Governo do Estado da Bahia e do Governo Federal, uma nova era da ciência, tecnologia e inovação se descontina na Bahia.

**Adalberto Luiz Cantalino**

Diretor

CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

# SUMÁRIO

---

## PARTE I

### 30 ANOS DO PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI: DESAFIOS, OPORTUNIDADES E PERSPECTIVAS

- 5 **Apresentação – 30 Anos do Pólo Industrial de Camaçari**  
Mauro Guimarães Pereira
- 6 **Carta do Pólo Industrial de Camaçari**  
COFIC - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari e Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia
- 18 **Acordo de Cooperação COFIC-UFBA-SENAI – Programa Construindo o Futuro**  
Fernando Lira, Suzana Marques Domingues e Érico Oliveira

## PARTE II

### PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

- 23 **Desafios Tecnológicos para a Competitividade do Pólo Industrial de Camaçari**  
Suzana Marques Domingues
- 36 **Controle Avançado Utilizando DMC e Simulação Termodinâmica**  
Leo Lincoln
- 47 **Novos Reatores Braskem PVC/BA**  
Marcelo Oliveira Cerqueira, Leopoldo Braga Júnior, George Bispo Lacerda, Abelardo A. de Azevedo Junior, Icaro V. Pepe Junior, Silvana Wen Shih Lin, Geraldo Rodrigues Pereira, Florentino Pastore Neto e Márcio Barretto Pereira

- 53 **UTEC® - um Plástico de Engenharia Desenvolvido na Bahia**  
Ricardo Bou Reslan Calumby
- 69 **Metodologia Teclim e o Projeto Ecobraskem: Otimização Ambiental do Uso da Água e Geração de Efluentes**  
Asher Kiperstok, Ricardo Kalid, Emerson Sales, Karla Esquerre, Leonardo Souza, Mario Cesar Mattos, Elicelma Carvalho, Lara Teixeira, Bárbara Braga, Bruno Assis, Samara Silva, Carlos Mendes, Victor Matta Pires, Fernando Mococain, Sérgio Hortélio e Samara Andrade
- 78 **Estudo de Tratabilidade para Avaliação do Reúso dos Efluentes Industriais da Braskem**  
Maiza Ferreira Santos, Luciana Fróes, Daniel Barel, Iramália Rezende Guerra e Daniela Fontana

## PARTE III

### MATÉRIAS-PRIMAS E MATRIZ ENERGÉTICA

- 89 **Matérias-primas e Matriz Energética:uma Visão Sintética, Genérica e de Atenção para o Futuro do Pólo Industrial de Camaçari**  
João Bispo Lins Neto, Alberto Ferreira Lima, Ana Carla Petti, Antonia Lucia Santiago Correia, Antônio Constantino Pereira, Antônio Inácio Sousa, Breno Machado Marques da Silva, Carlos Magno Salgado, Evandro Gonçalves Pizeta, John Kirkpatrick, Julio Harumitsu Furukawa e Robert Gerard Oubre
- 125 **A Importância Estratégica do Gás Natural como Matéria-prima para o Pólo Industrial de Camaçari-BA**  
Mônica Oliveira Grassi, Carlos Alberto da Rocha Caruso, Suzana Marques Domingues e Antônio Constantino Pereira
- 138 **Modelagem e Simulação de uma Central Termelétrica com Cogeração e Ciclo Combinado**  
Ricardo Kalid, Emerson Sales, Asher Kiperstok, Leonardo Souza, Adriano de Sena Freitas, Victor Matta Pires e Edgar Nunes de Almeida

# *Expediente*



ISSN 0104-3285

**TECBAHIA Revista Baiana de Tecnologia** é uma publicação quadrimestral do CEPED e sucede ao Boletim Técnico, que circulou de 1974 a abril de 1993. Objetiva publicar o conhecimento técnico e científico, promover uma reflexão continuada e sistemática sobre os temas abordados e contribuir para o desenvolvimento da cultura científica no Brasil. A edição, distribuição e comercialização são de responsabilidade da **Editora Técnica do CEPED - EDITEC**. Está indexada internacionalmente no **ELSEVIER BIBLIOGRAPHIC DATABASES (QS TOC - Engineering Information Databases)** e no **ULRICH'S INTERNATIONAL PERIODICALS DIRECTORY**, e nacionalmente no **Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia** (Catálogo Coletivo Nacional - CCN, nº 092113-0) e na **Fundação Biblioteca Nacional** (Catálogo de Publicações Seriadas, nº 516821). No sistema **QUALIS** da **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes**: classificação A, circulação **local**, nas áreas de avaliação **Engenharias I e III** e classificação C, circulação **nacional**, na área de avaliação **multidisciplinar**. A abreviatura de seu título é **TECBAHIA R. Baiana Tecnol.**, que deve ser usada em bibliografias, notas de rodapé e em referências e legendas bibliográficas.

O conteúdo dos artigos assinados é de exclusiva responsabilidade dos autores e não exprime necessariamente a opinião da TECBAHIA. Autorizada a reprodução desde que seja citada a fonte original.

## Conselho Editorial

Carlos Enrique Torres Marchal, Durval Freire de Carvalho Olivieri, Edgar Dutra Zanotto, Ernesto Antonio Urquieta Gonzalez, Eustáquio Linhares Borges, Jorge Falcão Paredes, Sylvio de Queirós Mattoso e Tamás Szemrecsányi

**Editor Científico** Ricardo Baroud

**Coordenadora Científica** Suzana Marques Domingues

**Jornalista Responsável** Tânia Maria Eremkin Vieira

**Projeto Gráfico** Ricardo Baroud e Linivaldo C. Greenhalgh

**Capas - Arte-final** Magaly Nunesmaia

**Fotos** Acervo COFIC - Pólo Industrial de Camaçari sobre papel reciclado artesanalmente

**Revisão de Textos** Ana Maria dos Santos F. Teles

**Editoração Eletrônica  
e Edição de Imagens** Linivaldo C. Greenhalgh

**Impressão e Acabamento**



**UNIVERSIDADE DO  
ESTADO DA BAHIA**



Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

Rodovia BA 512, km 0  
42810-440 - Camaçari - Bahia - Brasil  
Tel.: + 55 0\*\*71 3634-7300 / 3634-7359  
Fax: + 55 0\*\*71 3632-2095  
[ceped@listas.uneb.br](mailto:ceped@listas.uneb.br)  
[www.ceped.ba.gov.br](http://www.ceped.ba.gov.br)

## GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA

JAQUES WAGNER  
Governador

**SECRETARIA DA EDUCAÇÃO**  
ADEUM HILÁRIO SAUER  
Secretário

**UNIVERSIDADE DO ESTADO  
DA BAHIA - UNEB**  
LOURISVALDO VALENTIM DA SILVA  
Reitor

**CENTRO DE PESQUISAS  
E DESENVOLVIMENTO - CEPED**  
ADALBERTO LUIZ CANTALINO  
Diretor



Secretaria da Educação

## Apoio



# **Parte I**

## **30 ANOS DO PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI: DESAFIOS, OPORTUNIDADES E PERSPECTIVAS**

### **Apresentação – 30 Anos do Pólo Industrial de Camaçari**

**MAURO GUIMARÃES PEREIRA**

Superintendente Geral

COFIC - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari

Camaçari - Bahia

**A** importância do Pólo Industrial de Camaçari para a Bahia e para o Brasil, ao completar seus 30 anos, foi mais uma vez destacada e reconhecida, quando o COFIC, em conjunto com o Governo do Estado da Bahia, através da SICM - Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração, elaborou a Carta do Pólo Industrial de Camaçari, entregue ao Governador Jaques Wagner em 26 de junho de 2008.

O trabalho contou com uma intensa participação das Secretarias da Fazenda, do Planejamento, da Infra-estrutura, da Segurança Pública e da Sudic - Superintendência de Desenvolvimento Industrial e Comercial, dentre outras áreas do Governo; das Prefeituras de Camaçari e Dias D'Ávila; do meio acadêmico, de vários segmentos da sociedade, inclusive das comunidades dos municípios citados, e de importantes parceiros, dos quais podemos destacar a FIEB - Federação da Indústria do Estado da Bahia e, no encerramento dos trabalhos, por ocasião da entrega da carta ao Governador, a Associação Commercial da Bahia e o IMIC - Instituto Miguel Calmon.

Foram desenvolvidos sete (07) temas: I - Assuntos Fiscais/Créditos de ICMS; II - Infra-Estrutura/Logística; III - Matérias-Primas e Matriz Energética; IV - Revisão do Plano Diretor do Pólo; V - Formação de Mão-de-Obra; VI - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica; e VII - Expansão e Diversificação Industrial, todos con-

siderados fundamentais para o futuro do Pólo, dentro do Projeto dos seus próximos trinta anos, batizado pelo Governador de "**Pólo + 30**".

O Projeto "**Pólo + 30**" é resultado de um diálogo maduro e do reconhecimento do papel do empresário e do Governo, no sentido de buscar o desenvolvimento da região, atrairindo novos empreendimentos geradores de emprego e renda orientados para o crescimento sustentável, adequadamente suportado pelo tema "VI - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica", capitaneado em grande parte pela iniciativa do CEPED.

O foco do crescimento sustentável, de produzir mais e melhor com o mínimo de recursos naturais, contribuirá de uma maneira substancial para a inclusão social, oferecendo bens de alta qualidade a custos menores – alimentos, vestuário, medicamentos, habitação etc. –, ampliando o acesso a esses bens às camadas menos favorecidas, ao tempo em que poupará recursos naturais para as gerações futuras.

Para a implementação dos temas da Carta, com o máximo de transparência possível, à gestão dos programas pela sociedade, está sendo finalizada a sua "Governança", na qual o Governo, através da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração, participará com a Ação Política e a logística e o COFIC-FIEB, com o apoio institucional e técnico.

# **Carta do Pólo Industrial de Camaçari**

## **Desafios, oportunidades e perspectivas para as próximas décadas**

**26 de junho de 2008**

Coordenação

**COFIC - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari  
Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia**

### **COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI**

#### **Missão**

Promover o desenvolvimento sustentável do Pólo Industrial de Camaçari e sua área de influência regional.

- Respeito à vida e ao meio ambiente
- Atuação ética
- Responsabilidade social

#### **Visão**

O Pólo Industrial de Camaçari reconhecido como referência de excelência empresarial.

#### **Conselho de Administração**

Manoel Carnaúba (Presidente)  
Marcelo Lyra Gurgel do Amaral  
Dagoberto Rodrigues  
Luiz de Mendonça  
João Alecrim Pereira  
Roberto Fiamenghi  
Marcos Henrique  
Frederico Feijó de Sá  
Sérgio Roberto C. Porto  
Ney Antônio de Souza Silva  
José Roberto Samper Gisbert  
Marconi Andraos Oliveira  
José Eduardo Lima Barreto  
Pedro Francisco Sartorato  
Ronaldo Márquez Alcântara  
Gilmar Luiz Beraldo  
Flávio do Couto B. Cavalcanti  
John Kirkpatrick  
Maria Amália Costa

#### **Objetivos**

Promover ações e obter sinergias que assegurem:

- Competitividade Sustentável
- Representatividade junto ao Estado e órgãos reguladores
- Melhores práticas em Segurança, Saúde e Meio Ambiente (SSMA)
- Comunicação transparente e imagem junto à sociedade
- Capacitação e qualificação de pessoas

#### **Princípios e Valores**

- Unidade de representação
- Transparência nas relações com a sociedade
- Promover a competitividade regional

## ÍNDICE

### 1 Apresentação

#### 2 Histórico

2.1 Descentralização Industrial

2.2 Vetor de Desenvolvimento

2.3 Segurança e Proteção Ambiental

2.4 Novo Ciclo

2.5 Liderança e Competitividade

2.6 Marcos de Excelência

### 3 Conclusões/Proposições dos Grupos de Trabalho

#### 4 Síntese por Grupo de Trabalho

4.1 GT - I - Assuntos Fiscais/Créditos de ICMS

4.2 GT - II - Infra-Estrutura/Logística

4.3 GT - III - Matérias-Primas e Matriz Energética

4.4 GT - IV - Revisão do Plano Diretor do Pólo

4.5 GT - V - Formação de Mão de Obra

4.6 GT - VI - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

4.7 GT - VII - Expansão e Diversificação Industrial

#### 5 Integrantes dos Grupos de Trabalho

## 1 APRESENTAÇÃO

**N**o dia 29 de junho de 2008, o Pólo Industrial de Camaçari completa 30 anos de operação. Esta data representa um marco significativo na trajetória do Complexo Industrial, que mudou a face da Bahia nos campos econômico, social e cultural, projetando-a como Destaque nos cenários nacional e global. É também motivo de orgulho para todos que, de alguma maneira, contribuíram para que o Pólo nascesse, crescesse e se consolidasse como maior Complexo Industrial Integrado do Hemisfério Sul, gerando emprego, renda e desenvolvimento para o Estado, o Nordeste e o País.

Hoje, o Pólo Industrial de Camaçari, através dos seus 35.000 colaboradores, dos parceiros, clientes e acionistas das empresas que o integram, trabalha no presente com os olhos no futuro, para que essa história de sucesso se repita por mais 30 anos, e a Bahia permaneça na vanguarda do desenvolvimento do Nordeste e do País.

A sua vocação natural para atrair novos empreendimentos sinaliza, no entanto, para a necessidade de superação de certos desafios, como forma de assegurar a competitividade atual e futura do Complexo Industrial.

## Agenda Positiva

Nessa perspectiva, o Cofic - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari, associação empresarial privada que representa um total de 90 empresas, aqui incluídas as 29 sistemistas do Complexo Ford, inseriu no Programa Comemorativo dos 30 Anos do Pólo uma Agenda Empresarial Positiva, com o objetivo de mapear, discutir e propor ações voltadas para o aumento da competitividade do Complexo Industrial em sete áreas prioritárias, a seguir relacionadas:

- Assuntos Fiscais e Créditos de ICMS
- Infra-estrutura e Logística
- Matérias-primas e Matriz Energética
- Formação de Mão-de-obra
- Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica
- Revisão do Plano Diretor do Pólo
- Expansão e Diversificação Industrial

A iniciativa foi compartilhada com o Governo do Estado, através da Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, envolvendo todas as empresas associadas ao Cofic, prefeituras municipais de Camaçari e Dias D'Ávila, entidades empresariais, comunidade acadêmica, sindicatos, comunidades vizinhas, dentre outros parceiros. A construção da Agenda Positiva teve o propósito de obter compromissos públicos, com intuito empresarial de contribuir para o novo ciclo de expansão e diversificação do Pólo Industrial de Camaçari, através do encaminhamento de propostas que busquem aumentar ainda mais a competitividade do Complexo Industrial, para atração de novos investimentos.

A síntese do trabalho realizado, com suas conclusões e proposições, encontra-se neste documento que denominamos 'Carta do Pólo Industrial de Camaçari - Desafios, Oportunidades e Perspectivas para as Próximas Décadas', cuja entrega temos a honra de formalizar ao Governador Jaques Wagner, com duas vertentes a serem abordadas:

## Nível Federal

- Política de garantia de abastecimento (quantidade e qualidade) e de preços competitivos para as matérias-primas petroquímicas;
- Política que privilegie o Gás Natural como matéria-prima (uso mais nobre), que agregue valor na cadeia produtiva, gerando emprego e renda;
- Suporte ao Governo Estadual nas questões de infraestrutura, inclusive modal marítimo - portos, modal ferroviário, rodoviário e aeroportuário;
- Suporte ao equacionamento de uma matriz energética mais competitiva.

## Nível Estadual

- O aproveitamento das oportunidades identificadas nos trabalhos conjuntos entre o COFIC e o Governo do Estado, para (no mínimo) tornar a Bahia uma forte opção de investimentos, comparável às regiões mais competitivas do País.

Expressamos nossos agradecimentos a todos que contribuíram para a estruturação dessa Agenda Positiva, em especial ao Governador Jaques Wagner, que designou o senhor Secretário da Indústria, Comércio e Mineração, Rafael Amoedo, como coordenador e interlocutor junto a todas as áreas do Governo Estadual, e que nos apoiou em todas as fases do trabalho.

**Marcelo Lyra**

Presidente do COFIC

**Mauro Pereira**

Superintendente do COFIC

**Rafael Amoedo**

Secretário de Indústria, Comércio e  
Mineração do Estado da Bahia

## 2 HISTÓRICO

Há três décadas a economia brasileira ainda experimentava os reflexos do Milagre Econômico, sinalizando para uma taxa média de crescimento do PIB da ordem de 7% ao ano. Havia, na época, uma real perspectiva de aumento da demanda por produtos químicos e

petroquímicos, cuja produção até então se concentrava no Sul do País, mais precisamente no Estado de São Paulo, que não dispunha de capacidade instalada adicional para atender ao novo ciclo de consumo.

Foi neste cenário que surgiu a necessidade de implantação de um novo Pólo Petroquímico no Brasil. A escolha do local resultaria de árdua disputa nos planos econômico e político, prevalecendo a opção pela Bahia, graças ao empenho e determinação de técnicos e governantes visionários, que abraçaram a causa e deram-lhe a devida consequência nos anos subsequentes.

### 2.1 Descentralização Industrial

A opção pela Bahia foi um divisor de águas para a política industrial brasileira, naturalmente vocacionada a dar continuidade à expansão econômica dos estados mais desenvolvidos, nas regiões economicamente mais favorecidas. Porém, mais uma vez prevaleceu o argumento daqueles que, como o economista Rômulo Almeida e o Governador Luiz Viana Filho, advogavam, com firmeza e convicção, a necessidade e oportunidade de estender-se o desenvolvimento do País para regiões menos favorecidas, como a nordestina. O resultado desse embate não demorou a aparecer: venceu o Nordeste, venceu a Bahia, venceu o Brasil.

Até então, a Bahia atravessava um período de involução econômica, experimentava um recesso produtivo que a relegava ao posto máximo de Estado agrário com modesta expressão no Nordeste brasileiro. Sobressaía-se a cultura do cacaú, numa época em que o setor agropecuário respondia por 40% do PIB do Estado, o setor terciário por 48% e a indústria por apenas 12%.

### 2.2 Vetor de Desenvolvimento

A implantação, na década de 1950, da Refinaria Landulfo Alves, a primeira do Brasil e única da região, foi passo decisivo para a mudança desse quadro, que persistiria na década seguinte, inobstante a implantação do Centro Industrial de Aratu. Foi a partir do final da década de 1970, com o início das atividades do Pólo Petroquímico de Camaçari, como era denominado inicialmente, que a Bahia ingressou definitivamente num ciclo de profundas transformações econômicas, sociais e culturais.

O Pólo trouxe investimentos, tecnologia, elevado padrão de desempenho técnico e empresarial, bem como opor-

tunidades de trabalho para milhares de pessoas que ajudaram a construir uma nova Bahia. Uma Bahia industrializada, moderna, com participação expressiva na economia nacional e permanente conexão com a economia global. Graças ao Pólo de Camaçari, a indústria assumiu definitivamente a liderança da economia baiana, tornando-se o mais importante setor na formação do PIB do Estado. Em 2004, essa participação já alcançava 49%, superando inclusive a do setor terciário, estimada em 39,8%.

### 2.3 Segurança e Proteção Ambiental

O Complexo de Camaçari foi também pioneiro na adoção de sistemas coletivos-integrados de segurança industrial e nos cuidados ambientais adotados desde o início de suas atividades, os quais eram considerados avançados para a época. São exemplos o Plano de Auxílio Mútuo entre as empresas para controle de emergência, o Anel Florestal, concebido para estabelecer uma distância mínima de segurança entre as indústrias e a comunidade urbana, e os sistemas centralizados de tratamento de efluentes e resíduos industriais, gerenciados pela Cetrel - Empresa de Proteção Ambiental, que tem o seu desempenho hoje reconhecido no Brasil e em outros países, pelos níveis de excelência alcançados.

### 2.4 Novo Ciclo

A abertura da economia brasileira, na década de 90, possibilitou o ingresso, em larga escala, de produtos importados a preços mais competitivos em relação aos praticados pelos fabricantes de similares nacionais. Este fato representou forte ameaça ao setor industrial, com repercuções negativas para o segmento químico/petroquímico no País. Abriu, ao mesmo tempo, janelas de oportunidades para as indústrias do Pólo de Camaçari, que se viram obrigadas a promover os ajustes operacionais e empresariais exigidos pelo novo desafio conjuntural. Tais ajustes, pautados na busca de maior competitividade, apressariam o redesenho do modelo societário adotado na implantação do Complexo Industrial, culminando, anos mais tarde, com a criação da Braskem, atualmente o terceiro maior empreendimento privado do País, líder na produção de termoplásticos na América Latina.

A reestruturação que resultou na criação da Braskem, em 2002, inaugurou um novo ciclo na petroquímica brasileira. A mudança significou migrar do modelo fracionado de empresas que caracterizou a implantação do Pólo de Camaçari, há 30 anos, para outro mais verticalizado, que integra plantas industriais que se complementam em uma mesma cadeia produtiva, possibilitando ganhos de escala, racionalização de custos, sinergia de conhecimentos e níveis elevados de eficiência e competitividade, para uma atuação em mercados cada vez mais exigentes e voláteis.

Hoje, o Pólo de Camaçari avança em nova etapa, que se caracteriza pela expansão, adensamento e diversificação dos empreendimentos existentes, com ênfase na complementação da sua cadeia produtiva, principalmente no que se refere à produção de bens finais. A implantação do Complexo Ford, em 2001, foi um marco significativo nessa direção, assim como a vinda de empreendimentos mais recentes como a Continental e Bridgestone/Firestone, no segmento de pneus.

Entre os empreendimentos mais recentes destaca-se a Columbian Chemical que, ao produzir o negro-de-fumo utilizado pelos fabricantes de pneus, apresenta-se como mais um exemplo das múltiplas possibilidades de integração do segmento químico/petroquímico com o segmento automotivo.

Há ainda os projetos de expansão como o da Bahia Pulp, que ampliará de 115.000 toneladas/ano para 360.000 toneladas/ano a produção de celulose solúvel em Camaçari, e as novas indústrias que utilizam matéria-prima renovável, como a Oleoquímica, do Grupo Ultra/Oxiteno. Ambos representam um aporte de capital da ordem de U\$ 650 milhões e deverão ampliar a oferta de empregos diretos e indiretos, comprovando, mais uma vez, a importância do Pólo de Camaçari como fator de atratividade de novos investimentos para o Estado da Bahia.

### 2.5 Liderança e Competitividade

Atualmente, o Complexo de Camaçari abriga mais de 90 empresas (aqui incluídas as 29 sistemistas da Ford) não apenas químicas e petroquímicas, mas também de outros segmentos de atividade como metalurgia do cobre, têxtil, celulose, fertilizantes, automóveis, bebidas e serviços. Vem

daí a nova denominação: Pólo Industrial de Camaçari. Um empreendimento vitorioso, cuja vocação é crescer junto com a Bahia. Integram o Complexo Industrial de Camaçari empresas que são líderes nos seus respectivos segmentos de atuação, com negócios na Bahia, em vários outros estados brasileiros e outras partes do mundo.

O Pólo responde por 30% do PIB baiano, percentual que pode chegar a 50% se for considerada a integração do Complexo Industrial com a região de produção da Petrobras e a Refinaria Landulfo Alves. Sua importância socioeconômica fica evidenciada por indicadores expressivos, entre os quais se destacam:

- Investimento global superior a 12 bilhões de dólares (valor histórico sem considerar as expansões e os aportes em infra-estrutura realizados pelo Estado);
- Investimentos novos de US\$ 4,3 bilhões até 2011;
- Capacidade instalada acima de 11,5 milhões de toneladas/ano de produtos químicos e petroquímicos básicos, intermediários e finais;
- Capacidade instalada para produzir 220 mil toneladas/ano de cobre eletrolítico no segmento de metalurgia do cobre;
- Produção de 250 mil veículos/ano pela Ford;
- No segmento automotivo, 60% dos automóveis comercializados pela Ford no Brasil são procedentes de Camaçari;
- Faturamento de aproximadamente US\$ 15 bilhões/ano;
- Exportações acima US\$ 2,3 bilhões/ano, que representam mais de 35% do total exportado pelo Estado da Bahia, destinando-se a praticamente todo o mundo;
- Contribuição anual R\$ 1 bilhão em ICMS para o Estado da Bahia. Responde por mais de 90% da receita tributária do município de Camaçari, detentor da maior receita de ICMS do Estado da Bahia, depois de Salvador;
- Geração de 15 mil empregos diretos e 20 mil através de empresas contratadas;
- Investimentos superiores a R\$ 13 milhões/ano em programas sociais.

## **2.6 Marcos de Excelência**

Ao longo dos seus 30 anos de atividade, o Pólo Industrial de Camaçari também construiu marcos de excelência que se refletem no seu desempenho operacional e traduzem uma visão empresarial pro-ativa e ambientalmente responsável. Entre eles, se destacam:

- Pioneirismo em sistemas integrados de proteção ambiental.
- O mais completo monitoramento ambiental do País, abrangendo ar, solo, rios, mar e águas subterrâneas.
- Eficiência dos sistemas coletivos de proteção ambiental, reconhecida nacional e internacionalmente.
- Programas de redução de emissão de gases para atmosfera.
- Aprimoramento contínuo dos processos produtivos – investimento em tecnologias limpas (reúso de água, economia de energia etc.).
- Desempenho em Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA) acima dos padrões exigidos pela Legislação.
- Auditoria de gestão em SSMA em todas as empresas – através do Prêmio Pólo de Segurança, Saúde e Meio Ambiente, coordenado pelo Cofic.
- Índice de acidentes com afastamento de duas (02) ocorrências para cada um milhão de horas/homem de trabalho, contra 17 da indústria nacional.
- Dispõe de um dos mais completos estudos de riscos do país, envolvendo a maioria das empresas do Complexo Industrial, através do Projeto APPOLÔ (Análise Preliminar de Perigo).
- Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) em todas as empresas, incluindo transporte de produtos químicos.
- Permanente interface e credibilidade junto aos órgãos ambientais.
- Diálogo com as comunidades vizinhas, através do Conselho Comunitário Consultivo e do Nudec - Núcleo de Defesa Comunitária.

## Visão de Futuro

Superar os desafios estruturais e conjunturais que ameaçam a sua competitividade, transformando-os em oportunidades para um crescimento sustentável de suas atividades nas próximas décadas, é a meta principal do Pólo Industrial de Camaçari, que tem como visão continuar servindo à Bahia e ao Brasil, com elevado desempenho operacional, excelência empresarial e responsabilidade socioambiental, gerando oportunidades de emprego, renda e riqueza para o País.

## 3 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES DOS GRUPOS DE TRABALHO

A seguir estão descritas as principais conclusões e proposições resultantes dos sete (07) workshops realizados pelos respectivos grupos de trabalho (conforme detalhamento no item 4) formados por representantes das empresas associadas ao Cofic, secretarias e órgãos do Governo do Estado da Bahia e por representantes das prefeituras dos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila.

Na primeira etapa foram identificados os desafios a serem enfrentados na busca de maior competitividade do Pólo Industrial de Camaçari, para em seguida transformá-los em oportunidades. Todo o trabalho foi realizado em parceria entre o COFIC e o Governo do Estado, através da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração - SICM.

Para que haja eficácia na adoção e implantação das conclusões e proposições será necessário que COFIC e Governo do Estado se mantenham vigilantes no cumprimento dos programas, em um horizonte de tempo que vá além dos atuais gestores, sejam eles públicos, privados, de entidades empresariais, comunidade acadêmica, sindicatos, terceiro setor e comunidades vizinhas.

## 4 SÍNTESE, POR GRUPO DE TRABALHO

### GT - I - ASSUNTOS FISCAIS/CRÉDITOS DE ICMS

**Objetivo:** no plano nacional, influenciar através da Federação das Indústrias do Estado da Bahia - FIEB, a Reforma Tributária. No nível estadual, assegurar a igualdade de condições tributárias e fiscais, em relação às regiões mais competitivas do país.

#### Desafios e Oportunidades:

1. Cessar a Acumulação de Crédito de ICMS. Decreto assinado pelo Governo do Estado em 19/05/2008, reduzindo alíquotas de ICMS.
2. Equacionar o Estoque de Crédito Acumulado: Trabalho a ser realizado entre COFIC/SICM e SEFAZ.

### GT - II - INFRA-ESTRUTURA/LOGÍSTICA

**Objetivo:** equacionar os gargalos existentes, com vistas a um Pólo ainda mais competitivo globalmente, com desempenho de primeira classe e atrativo para novos investimentos.

**Desafios e Oportunidades:**

**1. Transporte e Distribuição**

**a. Modal Rodoviário**

- I. Restaurar e readequar o Sistema BA 093; BR-324 e BR-116. Assinado com o BNDES e IFC convênio para análise e proposta de modelo (PPP e/ou Concessão);
- II. Implantar Via Expressa (ligação com o Porto);
- III. Implantar plataforma de logística na RMS;
- IV. Implantar terminal intermodal de Simões Filho e Aratu.

**b. Modal Ferroviário**

- I. Restaurar e readequar a capacidade existente Camaçari Salvador/Paulínea/Juazeiro e Recife;
- II. Implantar contorno de Candeias e Santo Amaro;
- III. Conexão com o Porto de Salvador, Aratu e Cotelândia;
- IV. Transporte de passageiros Camaçari / Salvador;
- V. Passagem de nível na BR-116.

**c. Modal Marítimo**

- I. Construir 2º Terminal de Contêiner no Porto de Salvador;
- II. Dragagem de aprofundamento dos Portos de Salvador e Aratu, para 15 m;
- III. Construir Terminal de Grãos no Porto de Aratu;
- IV. Zona Industrial no Porto de Aratu.

**d. Modal Aerooviário**

- I. Ampliação do Terminal de Passageiros e Cargas e 2ª pista no Aeroporto de Salvador;
- II. Aeroporto Industrial.

**e. Tubo e Dutoviário**

- I. Análise de legado patrimonial, estudo de expansão com análise de restrições.

**2. Segurança Patrimonial e Pessoal**

a. CIEPI

- I. Implantação da Companhia Independente Especial de Polícia Industrial.

**3. Modelo de Gestão**

- a. O primeiro caso de análise de modelagem já foi assinado com o Banco Mundial - IFC e o BNDES, com vistas a viabilizar o projeto do Sistema BA 093.

**GT - III - MATERIAS-PRIMAS E MATRIZ ENERGÉTICA**

**Objetivo:** equacionar o suprimento de matérias-primas e matriz energéticas competitivas, para assegurar a capacidade atual e futura do segmento petroquímico do Pólo Industrial de Camaçari, considerando como oportunidade o plano de expansão de refino da Petrobras.

**Desafios e Oportunidades:**

- 1. Promover maior integração entre Petrobras/RLAM e o Pólo de Camaçari, com vistas a incrementar a competitividade do Complexo Industrial.
- 2. Desenvolver uma política industrial para a competitividade da nafta petroquímica.
- 3. Reavaliar a Matriz Energética nacional priorizando o uso de bioenergia, hidrelétricas e energia nuclear, liberando o gás natural (GN) para uso mais nobre na Petroquímica e Fertilizantes.
- 4. Equacionar, de forma integrada, as demandas por recursos hídricos.
- 5. Expandir o Programa Acelera Bahia, com foco na disponibilização de Etanol como matéria-prima para a indústria petroquímica.
- 6. Desenvolver ações, no sentido de:
  - a. Fabricar, na Bahia, os produtos que são adquiridos para fora do Estado, inclusive exterior.
  - b. Transformar, na Bahia, os produtos que são vendidos fora do Estado, inclusive exterior.
  - c. Estudar a recomposição dos elos da cadeia produtiva não otimizados desde a origem do Pólo,

bem como aqueles fechados ao longo dos anos, a exemplo do que o Grupo Unigel está fazendo com a planta de estireno da Dow.

- d. Assegurar a oferta de Gás Natural em quantidade, qualidade e preços competitivos.
- e. Garantir o suprimento de energia elétrica competitiva.
- f. Desenvolver uma política industrial para a competitividade do óleo combustível.

#### **GT - IV - PLANO DIRETOR DO PÓLO**

**Objetivo:** delimitação e ordenamento integrado-sustentado de áreas industriais, respeitando os aspectos socioambientais e da segurança urbana, como fatores relevantes para assegurar a competitividade e a expansão do Pólo, nos próximos 30 anos.

#### **Desafios e Oportunidades:**

1. Identificada área para a futura expansão do Pólo, de comum acordo com o Governo do Estado - SUDIC e as Prefeituras de Camaçari e Dias D'Ávila, no setor leste.
2. Esta área deverá ser objeto de legalização e proteção física, pelo Governo do Estado, através da SUDIC, o mais breve possível, enquanto as condições ainda permitem.

#### **Conclusões / Proposições:**

- Criação de regras para instalação das empresas por áreas específicas (ORDENAMENTO), de acordo com a sua natureza setorial, considerando possíveis sinergias com as empresas existentes;
- Criação de uma governança (COORDENAÇÃO) para o Pólo Industrial, com a redefinição do papel do COFIC, com viés mais gestor e diretor;
- Criação de um Comitê Gestor para permanente gerenciamento (PLANEJAMENTO) no curto, médio e longo prazos do Plano Diretor, liderado pelo COFIC, com a participação dos governos Estadual, Municipal (Camaçari e Dias D'Ávila), Cetrel, empresas, visando dinamizar as ações que lhes competem;

- Convenção condominial (INTEGRAÇÃO) com respectivos custos rateados entre empresas, governos estadual e municipais;
- Os Governos do Estado e dos Municípios deverão ter um papel decisivo na preservação das áreas destinadas aos Pólos Industriais (DELIMITAÇÃO);
- A instalação de uma nova fábrica no Pólo deverá passar por avaliação/aprovação do Comitê Gestor (DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS), que deverá observar critérios previamente definidos, a exemplo de: questões técnicas, agregação de valor, integração das cadeias, crescimento e desenvolvimento regional, sinergias para o complexo industrial;
- Questões de SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE são valores primordiais reconhecidas por todas as empresas instaladas ou que venham a se instalar na Poligonal do Pólo Industrial de Camaçari;
- Definição de INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO, visando não somente garantir a excelência das operações, como também realimentar o planejamento estratégico no médio e longo prazos;
- Consolidar a implantação do ANEL FLORESTAL, como barreira de proteção e separação do Complexo Industrial das áreas urbanas e viabilizar a interligação ao Corredor Ecológico;
- Revisão do Plano Diretor por Decreto Lei 10.035 (26/06/2006), envolvendo Governos Estadual, Municipal, COFIC, definindo toda a área destinada para o Pólo Industrial de Camaçari.

#### **GT - V - FORMAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA**

**Objetivo:** formação, qualificação e disponibilidade de mão-de-obra para o Pólo Industrial de Camaçari, como fatores relevantes para assegurar a sua competitividade.

#### **Desafios e Oportunidades:**

1. O Pólo projetou a sua necessidade de mão-de-obra para os próximos cinco (05) anos em, no mínimo, 5.029 profissionais.
2. Apresentou ainda os programas de parceria com universidades e outras instituições, no

apoio à Pós-graduação em Química e Engenharia Química (Mestrado e Doutorado); motivação à Graduação em Engenharia Química, Mecânica e Química; estímulo à Carreira Técnica; formação de Operadores e Programas de Estágio.

3. Em complemento às parcerias citadas, ficou identificada a necessidade de intensificar a integração das empresas com as entidades de ensino público e privado, no sentido de capacitar a mão-de-obra demandada pelo Pólo.
4. Identificou-se ainda a necessidade de aprimoramento do conteúdo curricular para atender adequadamente as necessidades do Pólo.
5. E, na base de toda essa formação, que os governos municipais e estadual intensifiquem a melhoria do ensino nos níveis Fundamental e Médio, principalmente aprimorando a formação e aperfeiçoamento de professores.

#### **GT - VI - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

**Objetivo:** integrar os ambientes institucionais, estruturais e a sociedade para uso dos recursos naturais ancorados em P&D e Inovação Tecnológica, com vistas à competitividade e à sustentabilidade.

#### **Desafios e Oportunidades:**

1. Energia: maximizar o uso das atuais e garantir a utilização das fontes alternativas, como etanol, biomassa, biodiesel, dentre outras.
2. Água: captação; aumentar eficiência dos processos de troca térmica; aproveitamento de efluentes; redução de perdas; controle de contaminação do solo (Conservação, Reúso e Reciclo).
3. Matéria-prima: intensificar uso de etanol e biomassa; além da otimização das atuais, com catalisadores com maior conversão e seletividade; aproveitar resíduos, como fonte de matéria-prima para outros processos.
4. Eficiência dos Processos Produtivos: melhorar nível de automação; capacitação de equipes; técnicas de análise e otimização energética para reduzir custos variáveis; adequação de escalas.

5. Infra-estrutura para testes e serviços e articulação com Universidades, Centros de Pesquisas.
6. Fomento de projetos conjuntos para o uso racional dos recursos naturais, minimização na fonte da geração de resíduos, efluentes e emissões, e redução dos impactos ambientais.

#### **GT - VII - EXPANSÃO E DIVERSIFICAÇÃO INDUSTRIAL**

**Objetivo:** identificar oportunidades de investimentos para a expansão e diversificação industrial, com maior integração e agregação de valor, dos diversos segmentos industriais.

#### **Desafios e Oportunidades:**

1. Criar oportunidade de integração da indústria automotiva com a indústria de transformação petroquímica - Projetos Decas;
2. Utilizar experiência do Projeto Decas para os demais segmentos industriais do Pólo - Metalurgia, Celulose, Químico e Petroquímico, com maior integração desses setores;
3. Criar uma Governança Corporativa formada pelas três esferas de governo, junto com a classe empresarial (Cofic e Fieb), para assegurar a implantação das iniciativas geradas pelos Grupos de Trabalho, voltadas para a expansão, integração, consolidação da indústria de transformação e sustentabilidade do Pólo;
4. É importante notar inúmeras oportunidades identificadas, desde a integração do Pólo com a RLAM, matérias-primas alternativas (Etanol, Gás Natural, Biodiesel, Biomassa, dentre outras);
5. Bem como, os produtos que são adquiridos fora, inclusive no exterior, que poderiam estar sendo produzidos localmente; ou aquelas matérias-primas que vendemos e que poderiam ser transformadas aqui.
6. Mais ainda: existem oportunidades na cadeia, que não foram otimizadas na origem do Pólo ou outras que foram fechadas ao longo dos anos, que são grandes oportunidades a serem exploradas, que estão detalhadas nos trabalhos concluídos, base desta síntese.

## 5 GRUPOS DE TRABALHO

### I - ASSUNTOS FISCAIS / CRÉDITOS DE ICMS

#### Integrantes do GT 1

Frederico Feijó de Sá - Elekeiroz (Coordenador)  
 Osvaldo Lobato - Braskem  
 Flávio Amaral - Quattor  
 Geraldo Neves - Dow Química  
 Ana Paula Teixeira - Oxiteno  
 Silvio Roberto Romão - Deten

### II - INFRA-ESTRUTURA E LOGÍSTICA

#### Integrantes do GT 2

Marconi Andraus - Dow (Coordenador)  
 Adriano do Sousa - Monsanto  
 Almir Santos - Seinfra  
 Ana Cristina Colla - Monsanto  
 Ana Paula Ferreira - Ford  
 André Pinto - Ford  
 André Risério - Petrobras  
 Aroldo Júnior - Sudic  
 Carlos Queiroz - ABB  
 Cel. Telles - SSP-Ba  
 Cézar Nascimento - Seplan  
 Claudio Cardoso - Câmara Americana  
 Dílson Fonseca - Sudic  
 Edson Biscaia - Sudic  
 Emerson Soares - DHL  
 Evanilson Andrade - Sudic  
 João Lins - Braskem  
 Luiz Fernando - Cetrel  
 Márcio Correa - SICM  
 Marco Martins - Caraíba  
 Marco Medeiros - Codeba  
 Matheus Dias - Seinfra  
 Neville - Seinfra  
 Osvaldo Magalhães  
 Paulo Villa - Usuport  
 Roberto Rezende - DHL  
 Samoel Costa - Prefeitura de Dias D'Ávila  
 Valdo Pontes - Cetrel  
 Vilma Vernin - Taminco

### III - MATERIAIS-PRIMAS E MATRIZ ENERGÉTICA

#### Integrantes do GT 3

João Lins - Braskem (Coordenador)  
 Edgar Powell - Acqua Service  
 Antônio Constantino Pereira - Braskem  
 Breno Silva - Monsanto  
 Júlio Furukawa - Petrobras  
 Antônia Lúcia Correia - Petrobras - Fafen  
 Antônio Inácio Souza - Dow Química  
 Antônio Emílio Meireles - Quattor  
 Roberto Oubre - Air Products

### IV - REVISÃO DO PLANO DIRETOR

#### Integrantes do GT 4

Jorge Carmelo - Braskem (Coordenador)  
 Accioly Vieira de Andrade Filho - Sudic  
 Marcelo Gantois - Deten  
 Álvaro Oyama - INCECC  
 Celestino Boente - Bahiagas  
 Sérgio Tomich - Cetrel  
 Juliana Paes - Prefeitura de Camaçari  
 Samoel Costa - Prefeitura de Dias D'Ávila

### V - FORMAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA

#### Integrantes do GT 5

Raimundo Augusto - Dow (Coordenador)  
 Annibal Filho - Basf  
 Ana Moreno - Ford  
 Ana Rita - Dow  
 Aline Bastos - Elekeiroz  
 Carlos Alberto - Petrobras - Fafen  
 Érico Oliveira - Cofic  
 Fernanda Abbado - Du Pont  
 Humberto Garrido - Braskem  
 Ingrid Ferreira - Monsanto  
 Irandir Brito - Quattor  
 Isabel Andrade - Quattor  
 Marcelo Gantois - Deten  
 Maria Ester Cerqueira - Bahia Pulp

## **VI - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

### **Integrantes do GT 6**

Suzana Marques Domingues - Braskem (Coordenadora)  
Adalberto Cantalino - CEPED  
André Novato - Petrobras - Fafen  
Adriano Souza - Monsanto  
Antônio Vieira Lima - Petrobras - Fafen  
Fernando Lira - Cofic  
João Filho - Ford  
Judson Rohr - Dow Brasil  
Luiz Serra - ABB  
Osvaldo Ferraz - Oxiteno  
Paulo Freire - Cetrel  
Ricardo Souza - Elekeiroz  
Roberto Morais - Unigel  
Roberto Garcia - Millennium

## **VII - EXPANSÃO E DIVERSIFICAÇÃO INDUSTRIAL**

### **Integrantes do GT 7**

José Alberto Franco - Petrobras - Fafen (Coordenador)  
Alberto Lima - Bahia Pulp  
Antônio Constantino Pereira - Braskem  
Celestino Boente Garcia - Bahiagás  
Giorgio Telesforo Sampaio - Cetrel  
João Baptista Rebello - Arembepe Energia  
João Alberto Tude - Consultor Técnico  
Jorge Brito Saliba - Oxiteno  
Laércio Cavagnolli - Bridgestone/Firestone  
Marcus Dias - Ford  
Ricardo Hamad - Grupo Unigel  
Ricardo Soares - Monsanto

Todos os grupos tiveram o encerramento dos trabalhos na SICM, com a participação do Dr. Antônio Matias, da Chefia de Gabinete, e do Assessor Especial Floro Freire.

**Nosso reconhecimento e agradecimento ao Dr. Manoel Carnaúba, ex-presidente do Cofic, pela valiosa e decisiva contribuição em todas as etapas do trabalho que resultou na Carta do Pólo Industrial de Camaçari.**

## **EMPRESAS ASSOCIADAS AO COFIC**

ABB  
ACRINOR/UNIGEL PLÁSTICOS/PROQUIGEL  
AIR PRODUCTS BRASIL  
AMBEV - COMPANHIA DE BEBIDAS DAS AMÉRICAS  
AREMBEPE ENERGIA  
BAHIAGÁS - COMPANHIA DE GÁS DA BAHIA  
BAHIA PULP  
BASF  
BMD - TÊXTEIS  
BRASKEM - UNIDADE PE1  
BRASKEM - UNIDADE PE2  
BRASKEM - UNIDADE PE3  
BRASKEM - UNIDADE DE INSUMOS BÁSICOS  
BRASKEM - UNIDADE CPL  
BRASKEM - UNIDADE PVC  
BRASKEM - UNIDADE CLORO SODA  
BRIDGESTONE FIRESTONE DO BRASIL  
CARAÍBA METAIS  
CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
CETREL - EMPRESA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL  
CHESF - COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO  
CIBRAFÉRTIL - CIA. BRASILEIRA DE FERTILIZANTES  
COPENOR - CIA. PETROQUÍMICA DO NORDESTE  
CONTINENTAL DO BRASIL PRODUTOS AUTOMOTIVOS  
COLUMBIAN CHEMICALS DO BRASIL  
DETEN QUÍMICA  
DOW BRASIL (ARATU)  
DOW BRASIL (TDI)  
DU PONT DO BRASIL  
ELEKEIROZ  
EMCA - EMPRESA CARIOCA DE PRODUTOS QUÍMICOS

ENERGÉTICA CAMAÇARI MURICY  
 FAFEN - ENERGIA  
 FERTILIZANTES HERINGER  
 FORD MOTO COMPANY BRASIL - UNID. CAMAÇARI\*  
 IMBE CAMAÇARI  
 IPC DO NORDESTE  
 ITF CHEMICAL  
 KORDSA BRASIL  
 LOG IN - LOGÍSTICA INTERMODAL  
 MILLENIUM INORGANIC CHEMICALS DO BRASIL  
 MONSANTO NORDESTE  
 NETLOG LOGÍSTICA & SERVIÇOS / ACQUA SERVICE  
 OXITENO DO NORDESTE IND. E COMÉRCIO  
 PEROXY BAHIA INDÚSTRIA QUÍMICA

PETRÓLEO BRASILEIRO - PETROBRAS (GÁS)  
 PETROBRAS - BACAM  
 PETROBRAS - FAFEN - FÁBRICA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS  
 PETROBRAS TRANSPORTE - TRANSPETRO  
 QGN - QUÍMICA GERAL DO NORDESTE  
 QUANTAS BIOTECNOLOGIA  
 QUATTOR PETROQUÍMICA  
 SANSUY - IND. DE PLÁSTICOS  
 TAMINCO DO BRASIL  
 TEQUIMAR TERMINAL QUÍMICO DE ARATU  
 TIGRE - TUBOS E CONEXÕES  
 UTE BAHIA I  
 WHITE MARTINS GASES INDUSTRIALIS DO NE

---

\*NOTA – O Complexo FORD inclui 27 empresas parceiras.

# **Acordo de Cooperação COFIC–UFBA–SENAI**

## **Programa Construindo o Futuro**

**FERNANDO LIRA**

FM Lira Consultoria

Av. Santa Luzia, 149/301 – Salvador (BA)

[flira@coficpolo.com.br](mailto:flira@coficpolo.com.br)

**SUZANA MARQUES DOMINGUES**

BRASKEM S.A. - Unidade de Petroquímicos Básicos – Camaçari

Rua Eteno, 1561 - Pólo Industrial de Camaçari (BA)

[suzana.domingues@braskem.com.br](mailto:suzana.domingues@braskem.com.br)

**ÉRICO OLIVEIRA**

COFIC - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari

Rodovia BA 512, km 1,5 - Fazenda Olhos D'água - Camaçari (BA)

[erico@coficpolo.com.br](mailto:erico@coficpolo.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

**A**s indústrias do Pólo Industrial de Camaçari, nos seus diversos segmentos, enfrentam múltiplos desafios para garantir a sua competitividade, a sua sustentabilidade e o seu crescimento. Para a superação destes desafios, o maior ativo das empresas são, sem dúvida, os seus integrantes; são os seus profissionais qualificados, dedicados, criativos e inovadores que tornam possível encontrar os caminhos para a perpetuidade do negócio.

Nestes seus 30 anos de existência, vários destes profissionais que iniciaram a construção do pólo e a operação de suas unidades industriais já estão se retirando do mercado e outros, com novas competências e habilidades exigidas pelas mudanças tecnológicas deste período, irão substituí-los.

A qualificação necessária para estes novos profissionais é mais abrangente, estendendo os conhecimentos técnicos especializados ao alinhamento com a visão de negócio, inovação e sustentabilidade. Por se tratar de tema altamente relevante para as indústrias, algumas ações foram tomadas no âmbito do Comitê de Fomento Industrial de Camaçari - COFIC, para garantir profissionais adequados a esta realidade, habilitados e capacitados a contribuir para a superação dos desafios e para uma maior competitividade das empresas no mercado. Estas ações foram iniciadas a partir de um acordo de cooperação com a Universidade Federal da Bahia - UFBA e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI em julho de 2004, e que se estendeu em 2007 pela renovação deste acordo com escopo mais abrangente.

## 2 O ACORDO DE COOPERAÇÃO COFIC-UFBA-SENAI - HISTÓRICO

O Acordo de Cooperação entre os parceiros COFIC-UFBA-SENAI tem como foco principal a formação de novos profissionais para as empresas, a requalificação daqueles que já integram seus quadros e o apoio aos professores da universidade e do SENAI em atividades de ensino e pesquisa de interesse comum. No campo da pós-graduação, busca-se promover cursos de especialização *lato sensu* para capacitação em áreas específicas e apoio a cursos de mestrado e doutorado nas áreas de maior interesse.

Após a assinatura do acordo em julho de 2004, em meados do ano seguinte o Conselho de Administração do

COFIC aprovou a implantação dos cursos de especialização em Processamento Petroquímico (CENPEQ) e Engenharia de Equipamentos (CENEQ), realizados em 2006-07, quando foram formados 25 e 20 especialistas, respectivamente, atendendo necessidades imediatas das empresas associadas. No início de 2007 foi aprovada uma nova etapa de projetos, com plano de atividades e resultados compartilhados pelas instituições parceiras.

Nesta nova etapa foi concebido, junto com as lideranças das instituições parceiras e a Comissão de Tecnologia do COFIC, o programa *Construindo o Futuro*, com o objetivo de estruturar os projetos previstos pelo acordo, orientar a sua execução e acompanhar as ações entre os parceiros.

## 3 O PROGRAMA CONSTRUINDO O FUTURO – OBJETIVO E RESULTADOS

O Programa *Construindo o Futuro* constitui-se de um conjunto de ações que visam incentivar a escolha da carreira técnica e apoiar a qualidade da formação até a entrada no mercado de trabalho. Estas ações, portanto, vão desde a promoção da carreira de engenharia e química nas escolas de nível médio da região metropolitana de Salvador e municípios próximos, seguida pela premiação com bolsas para os melhores alunos durante os anos de graduação, e até mesmo de cursos para profissionais já formados em áreas de interesse das empresas do Pólo de Camaçari. Adicionalmente, o programa incentiva o conhecimento prático patrocinando *kits* de equipamentos para aulas sobre processos unitários, bem como algumas publicações de interesse.

O resultado esperado é a formação de profissionais com reconhecida capacitação técnica na região.

Para o incentivo à escolha da carreira técnica no nível médio, foi exibido, em várias escolas da região da grande Salvador, Camaçari, Dias D'Ávila e Candeias, um vídeo sobre o Pólo Industrial de Camaçari, seus diversos produtos, a importância das áreas técnicas para as indústrias e a possibilidade de crescimento dos profissionais, com diversos depoimentos de integrantes das empresas. Esta ação tem como objetivo aumentar o entendimento dos jovens sobre a carreira de engenharia e afins e sua atuação profissional.

Para assegurar a permanência destes jovens nos cursos, elevar seu desempenho em todo o período de formação e

atender à grade curricular no menor tempo possível, o programa contempla atividades que motivem os alunos de graduação, com bolsas de estudo àqueles que apresentam melhor rendimento escolar até o terceiro ano, bolsas para desenvolvimento de projetos com propósito multidisciplinar nos dois anos subsequentes e incentivo a programas específicos realizados nas instituições de ensino que envolvam a participação extra-classe. Simultaneamente, contribui junto à universidade para uma melhoria contínua do conteúdo do currículo dos cursos de graduação nas carreiras técnicas.

Para os alunos já graduados está sendo desenvolvida uma proposta de residência industrial, com o objetivo de introduzir os novos profissionais ao trabalho nas empresas a partir do desenvolvimento de um projeto específico com tutores nas empresas e na universidade.

Para os profissionais que já atuam nas empresas associadas ao COFIC, estão sendo estruturados cursos de curta duração e palestras para renovar a capacitação das equipes de trabalho, por meio da atualização ou do aprofundamento do seu conhecimento nos campos considerados prioritários.

Os indicadores de sucesso do programa deverão refletir-se, ao longo dos próximos anos, em maior quantidade e qualificação dos alunos de nível médio inscritos nos vestibulares para profissões na área de exatas, maior número e melhor preparação dos profissionais egressos dos cursos de Engenharia e Química da UFBA e dos cursos Superiores de Tecnologia do SENAI, e capacitação da equipe de técnicos das empresas.

#### 4 PLANO DE AÇÃO 2008-2010

Ao longo de 2008 foram obtidos os seguintes resultados nos programas de motivação dos alunos das escolas do Nível Médio e dos cursos de Graduação, ações estas que envolveram um orçamento da ordem de R\$ 400.000,00:

- Contatos foram estabelecidos com 43 escolas dos municípios atendidos, tendo sido apresentadas 41 palestras em 33 escolas de Nível Médio mostrando as oportunidades de trabalho no Complexo Industrial de Camaçari e motivando os alunos para seguir carreiras técnicas.
- O Show da Química<sup>1</sup>, o Onda Elétrica<sup>2</sup>, a Olimpíada de Química<sup>3</sup> e o ENGEPLAN<sup>4</sup>, programas que

envolvem a participação dos alunos da graduação dos cursos de Engenharia e de Química da UFBA, voltados para o aprendizado e a motivação dos alunos das escolas de Nível Médio de Salvador, foram contemplados com suporte financeiro do programa para sua realização.

- Quarenta e cinco alunos do 1º ao 3º ano da graduação dos cursos de Química, Engenharia Química e Engenharia Mecânica da UFBA foram contemplados com bolsas de R\$ 300,00/mês ao longo do curso. Da mesma forma, seis alunos do SENAI-Cimatec, do 1º ano dos Cursos Superiores de Tecnologia em Logística, Mecatrônica, Soldagem e Inspeção de Equipamentos, foram também beneficiados com a bolsa de Incentivo à Graduação, estimulando a dedicação aos estudos.
- O Projeto de Educação Tutorial - PET beneficiou um grupo de dez alunos – quatro do curso de Engenharia Química, quatro de Mecânica e dois de Química da UFBA – com bolsas de R\$ 400,00/mês. Orientados por uma professora-tutora, desenvolvem o projeto “Obtenção de Produtos Químicos a partir do Etanol” explorando, assim, matéria-prima de fonte renovável.
- Aulas práticas em plantas-piloto do SENAI-Cetind complementaram a formação dos alunos do 1º e do 2º semestres das disciplinas LAB I e LAB II do Curso de Engenharia Química da Escola Politécnica.
- Seis *kits* de equipamentos foram adquiridos e modificações estão sendo implementadas no Laboratório da Graduação em Engenharia Química da UFBA para sua instalação, visando proporcionar suporte experimental adequado para as disciplinas da grade curricular dos cursos de Engenharia. Da mesma forma, um cromatógrafo e equipamentos periféricos foram adquiridos e instalados no Instituto de Química da UFBA, beneficiando os alunos desta formação.
- Sessenta livros foram adquiridos para complementar o acervo das bibliotecas do Instituto de Química e da Escola Politécnica, permitindo atingir todos os alunos destas unidades da UFBA.
- Quatro cursos com 80 horas de duração estão sendo programados juntamente com o SENAI-Cetind-Cimatec, para realização ao longo de 2009, visando complementar a formação e atualizar a capacitação técnica dos profissionais das empresas associadas e das instituições parceiras do Programa. Os temas

abordados incluem Analisadores On-line de Processo, Gestão e Otimização de Processos de Produção, Projeto e Análise Econômica de Investimentos, e Manutenção e Confiabilidade de Processo.

- Palestras serão ministradas por profissionais das indústrias sobre temas práticos e de interesse como Integração Energética, Gestão Integrada de Manutenção, Controle e Automação de Processos Industriais e Segurança de Processo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Complexo Industrial de Camaçari atravessa, 30 anos após sua inauguração, um momento de mudanças para se adequar ao dinamismo do mercado. Assim, manter a competitividade e o crescimento necessários no difícil cenário econômico atual significa superar desafios e

aproveitar as oportunidades que se apresentam, com o máximo de criatividade. Garantir a disponibilidade dos recursos naturais utilizados nos processos produtivos – matéria-prima, energia e água – com custos compatíveis é o grande desafio nos próximos anos.

Em vista de tais desafios, algumas ações se concentram na formação e na captação de profissionais competentes, como o programa *Construindo o Futuro*, simultaneamente à busca por processos com eficiência crescente e ao desenvolvimento e uso de novas tecnologias que atendam os processos de produção utilizados dentro do conceito de sustentabilidade.

Será por meio da criatividade e da inovação do seu quadro profissional que estes caminhos serão buscados e trilhados para garantir o uso racional dos recursos naturais, mantendo-os para as gerações futuras.

---

## NOTAS

**1** O Grupo Show da Química, idealizado pelo Instituto de Química (UFBA), nasceu em março de 2005 com o objetivo de resgatar o trabalho do antigo 'Clube da Química', e visa ensinar a química de forma lúdica, com embasamento científico, não deixando de lado o compromisso social da popularização da ciência.

Atualmente, o grupo é composto por 13 estudantes do curso de graduação da UFBA e dois professores. O trabalho é desenvolvido pelos próprios estudantes sob orientação dos professores. A atividade tem como ponto forte uma apresentação teatral à qual é acrescentada uma demonstração de reação química de grande impacto visual (por exemplo, mudança de coloração e presença de chama). No final de cada encenação o 'mistério' é desvendado com a explicação química do fenômeno. O aprendizado se torna, assim, muito mais interessante para o público, proveitoso e com aplicação no cotidiano já que em algumas encenações focalizam situações corriqueiras.

Essas atividades são de grande importância para os alunos integrantes do programa, pois a busca por novos experimentos requer leitura sobre o tema a ser abordado e, desta forma, o estudante renova e amplia seus conhecimentos sobre a química. Além disto, cada um dos integrantes passa por experiências relevantes para a sua vida profissional como, por exemplo, liderar um grupo, aceitar as diferenças e saber respeitar os limites das outras pessoas.

As apresentações são realizadas gratuitamente em escolas públicas da Região Metropolitana de Salvador. Além destas, o grupo também realiza apresentações em eventos como congressos, seminários, encontros, feiras de ciências, manifestações comemorativas e outros locais de interesse.

**2** O principal estímulo para a realização deste Projeto de Extensão, idealizado/organizado pelo Departamento de Engenharia Elétrica (Escola Politécnica/UFBA), foi a observação do distanciamento da sociedade em relação à Ciência. Na tentativa de mudar este cenário, o Projeto Onda Elétrica possibilita a interação do público com os experimentos montados, facilitando a relação de experiências vividas no dia-a-dia com o uso e a aplicação da eletricidade com conceitos teóricos.

Os experimentos serão interativos, de forma a solidificar o conhecimento de maneira prática, lúdica e estimulante, sem repetir a sala de aula.

Esta foi a forma encontrada pelos futuros engenheiros eletricistas engajados no Projeto para dar sua contribuição social, incentivando o surgimento de novos cientistas e o fortalecimento da pesquisa científica no país.

O Programa Onda Elétrica acontece na Escola Politécnica e é voltado para os estudantes de ensino médio e fundamental das escolas públicas e privadas, ONGs que trabalhem na área de educação e ao público em geral.

Conta com o patrocínio da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da Bahia (CREA-BA), da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA) e do COFIC.

**3** É uma atividade científico/cultural de caráter competitivo para alunos do ensino médio e tecnológico, que vem ocorrendo anualmente desde 2006. Integrante do Programa Nacional de Olimpíadas de Química e uma promoção da Associação Brasileira de Química (ABQ), com o apoio do Conselho Regional de Química (CRQ-VII), é uma atividade de extensão do Instituto de Química da UFBA. São objetivos do evento:

- estimular o ensino, o estudo e a pesquisa no campo da química;
- incentivar, através do ensino da química, o entrosamento entre professores da universidade e professores e estudantes das escolas de ensino médio e tecnológico;
- despertar no estudante baiano o interesse pelo estudo da química, preparando-o para competições regionais,

nacionais e internacionais nessa área do conhecimento;

- identificar jovens talentos para o estudo da química, estimulando-os a prosseguir esses estudos nas instituições de ensino superior;
- incentivar os alunos de segundo grau da região a aprofundar os conhecimentos em química, visando formar mão-de-obra mais capacitada para atuar neste segmento do conhecimento.

**4** O ENGEPLAN - Engenharia para um Pequeno Planeta, também chamado de Galpão Tecnológico, é um empreendimento de natureza didático-técnico-científica em realização pela Escola Politécnica da UFBA. Consta de um projeto já aprovado [Edital MCT/FINEP/FNDCT PROMOVE Engenharia no Ensino Médio 05/2006] que visa à instalação de uma infra-estrutura na Escola Politécnica para demonstração de informações, processos e experiências práticas nas áreas das engenharias ligadas ao cotidiano. Estes recursos darão suporte a cursos, palestras e oficinas voltados para a divulgação do conhecimento técnico-científico, principalmente aos alunos do Nível Médio e à sociedade em geral.

## **Parte II**

# **PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

## **Desafios Tecnológicos para a Competitividade do Pólo Industrial de Camaçari**

**SUZANA MARQUES DOMINGUES**

Engenheira Química (UFPE). Especialização em catálise (UFBA). Mestrado em Engenharia Química (Pennsylvania State University, EUA) e MBA em Gestão Empresarial (FGV). Responsável pela área de Tecnologia de Processos da Unidade de Insumos Básicos da Braskem, em Camaçari, e coordenadora da Comissão de Tecnologia do Comitê de Fomento Industrial de Camaçari (COFIC).

[suzana.domingues@braskem.com.br](mailto:suzana.domingues@braskem.com.br)

**Braskem S.A. - Unidade de Petroquímicos Básicos**

Rua Eteno, 1561 - Pólo Industrial de Camaçari - Bahia - Brasil

## **RESUMO**

A comemoração dos 30 anos do Pólo Industrial de Camaçari no ano de 2008 trouxe a necessidade de reflexão sobre os desafios para a sustentação e o crescimento do complexo instalado nos próximos 30 anos. Neste propósito uniram-se as partes interessadas, governo, instituições de ensino e pesquisa e empresas sediadas no pólo, para debater sobre estes desafios e propor ações visando garantir a competitividade das empresas no futuro. A tecnologia e a inovação têm um papel fundamental para tratar alguns destes desafios encontrados. O grupo de trabalho criado para discutir sobre este tema com a visão de P&D levantou alguns pontos básicos que influenciam na competitividade da maioria das empresas instaladas. São eles: energia, água e matéria-prima. Energia e matéria-prima em muitos casos se confundem porque estão atrelados, na sua maioria, aos derivados de petróleo e gás natural. Nestes itens, os desafios estão em prover disponibilidade, preços competitivos, flexibilidade e qualidade. As indústrias devem ter como foco a eficiência dos processos e a adequação tecnológica com vistas ao melhor aproveitamento destes recursos naturais e à redução do impacto ao meio ambiente. Para os recursos hídricos há dois fatores abordados: a possível escassez da água e a consciência ambiental. Embora pareça um recurso abundante, a água precisa ser utilizada com critério, principalmente porque há períodos de seca na região que podem reduzir a sua disponibilidade. Adicionalmente, os processos geram efluentes que precisam ser tratados e que, normalmente, não são reutilizados. Os desafios, portanto, estão em reduzir o consumo e as perdas, priorizar processos de reúso, reciclo e tratamento do efluente. Adicionalmente, foi discutida a infra-estrutura necessária para vencer estes desafios através da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico, bem como os recursos humanos que devem ser formados com foco em inovação. Várias ações foram propostas para estes temas, as quais devem ser acompanhadas por meio de um plano de ação estruturado com ações de curto, médio e longo prazo e com responsáveis para garantir a sua implantação. A adequação de escala e tecnologia das plantas industriais do Pólo de Camaçari, o melhor uso dos recursos naturais e o desenvolvimento de novos produtos para dar mais competitividade à cadeia são desafios a serem perseguidos com soluções inovadoras, incrementais ou de ruptura, transformando estes desafios em oportunidades e garantindo a competitividade e a sustentabilidade das indústrias no mercado global. A integração de empresas, governo e centros tecnológicos e de ensino promovendo a capacitação de pessoas, a infra-estrutura adequada de pesquisa e o alinhamento das demandas são essenciais para o sucesso desta proposta.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Pesquisa e desenvolvimento. Competitividade de pólos industriais. Pólo Industrial de Camaçari.

## **1 INTRODUÇÃO**

O Pólo Industrial de Camaçari na Bahia celebrou no ano de 2008 trinta anos de existência. Na sua formação, em 1978, era um pólo dedicado às indústrias químicas e petroquímicas que, com a entrada, nestes 30 anos, de empresas de outros ramos como metal-mecânico, automobilístico e papel e celulose, atualmente integra cerca de 90 empresas atuando em diversos segmentos. A grande maioria delas vive um momento de mudanças para se adequar ao dinamismo do mercado. Para manter a competitividade e o crescimento no cenário atual, existem muitos desafios e oportunidades em cada um dos segmentos instalados. Os mais relevantes dizem respeito à disponibilidade e ao custo dos recursos naturais que são utilizados nos processos produtivos. São eles: matéria-prima, energia e água. Aliados a estes três pilares estão a eficiência e a tecnologia dos processos envolvidos e os recursos humanos adequados.

A base de matéria-prima e energia para a maioria das indústrias do pólo vem, principalmente, de fonte fóssil (derivados de petróleo e gás natural) e, com os atuais preços praticados pelo mercado, aliados aos potenciais riscos de escassez futura, resta às empresas buscar alternativas para garantir, além da sua sobrevivência, o seu crescimento e a sua perpetuidade.

Neste contexto, a área de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação tem uma contribuição relevante. É através de soluções inovadoras, incrementais ou de ruptura, que será possível garantir a competitividade e a sustentabilidade das indústrias no mercado global.

Na comemoração dos 30 anos do Pólo, foram criados vários grupos de trabalho para discutir os desafios em áreas prioritárias com órgãos do governo e partes interessadas. Estes grupos realizaram *workshops* onde foram levantadas as oportunidades para elevar a competitividade e o crescimento do Complexo Industrial. No tema ‘Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico’, o grupo formado por representantes da indústria junto com representantes das Universidades e Centros de Pesquisa, Órgãos de Fomento e de Ciência e Tecnologia do

governo promoveu um debate sobre os pilares de sustentação do Complexo para os próximos 30 anos, identificando alguns destes desafios e oportunidades que estão sumarizados a seguir.

## Energia

Neste tema foram identificados como relevantes: risco de apagão, disponibilidade e qualidade dos combustíveis e outras fontes de energia, custo, eficiência energética das unidades industriais, nível de emissões e fontes alternativas.

## Matéria-prima

Embora as matérias-primas sejam específicas para os diversos segmentos, os desafios são similares. Foram identificados como itens relevantes: custo, qualidade, contaminantes, disponibilidade, flexibilidade dos processos a fontes alternativas e perdas.

## Água

Para este recurso natural, de grande importância nos processos e considerado por muitos como abundante, existem desafios para o futuro que precisam ser encarados de forma mais contundente para evitar o risco de estiagem, não só para o Pólo Industrial de Camaçari como também para a população de Salvador e das cidades vizinhas. Neste tema, os itens relevantes estão ligados a fontes de captação, custo do tratamento, impactos ambientais, reutilização, reciclagem e perdas.

## Eficiência dos Processos Produtivos

Após 30 anos de existência do Pólo de Camaçari, a escala inadequada em alguns segmentos é fator de preocupação. Neste cenário pesam o custo variável pouco competitivo, o nível de automação inferior aos concorrentes em alguns segmentos, a idade dos ativos e a desatualização tecnológica, a competitividade dos produtos e a ameaça de substitutos, além da capacitação geral e específica das equipes para os temas relevantes, principalmente aqueles ligados a inovações tecnológicas.

## Recursos Humanos

O interesse pela carreira técnica ficou estagnado desde o final dos anos 1990 até os primeiros anos desta déca-

da. Naquele período, os mercados tiveram retração e as empresas não apresentaram novas vagas para as áreas de engenharia, química e operação, desiludindo os formandos e reduzindo os interessados em pleitear uma futura vaga nestes cursos. Este fato refletiu na qualidade dos novos estudantes das universidades baianas, uma vez que a entrada nas carreiras técnicas, com a baixa procura, apresentou uma redução no nível de aprovação para os entrantes. O desafio é retomar o interesse pelas carreiras técnicas e promover o conceito de inovação nos profissionais.

## 2 CENÁRIOS QUE INFLUENCIAM A SUSTENTAÇÃO DA COMPETITIVIDADE

As indústrias utilizam no seu processo produtivo insumos como energia, águas industriais, ar, nitrogênio e outras utilidades. Os altos custos energéticos, bem como temas relativos à preservação do meio ambiente, têm sido um ponto de preocupação que vem afetando a competitividade em diversos segmentos, tanto em nível nacional como mundial. Neste cenário, os centros de pesquisa de grandes empresas e seus parceiros tecnológicos têm focado seus esforços em otimizações e mudanças de processo, tecnologias limpas, bem como em alternativas de insumos de menor custo para sustentarem suas margens, com soluções de curto, médio e longo prazo.

## Energia

As fontes energéticas utilizadas atualmente no mundo ainda são fortemente ligadas ao petróleo e seus derivados, como mostra a Figura 1. Porém, pode-se observar o crescimento de carvão, biomassa e energia nuclear como fontes complementares. Estas alternativas oferecem uma nova base de sustentação para o crescimento mundial, equilibrando a matriz energética e, em alguns casos, contribuindo também para a redução dos gases de efeito estufa.

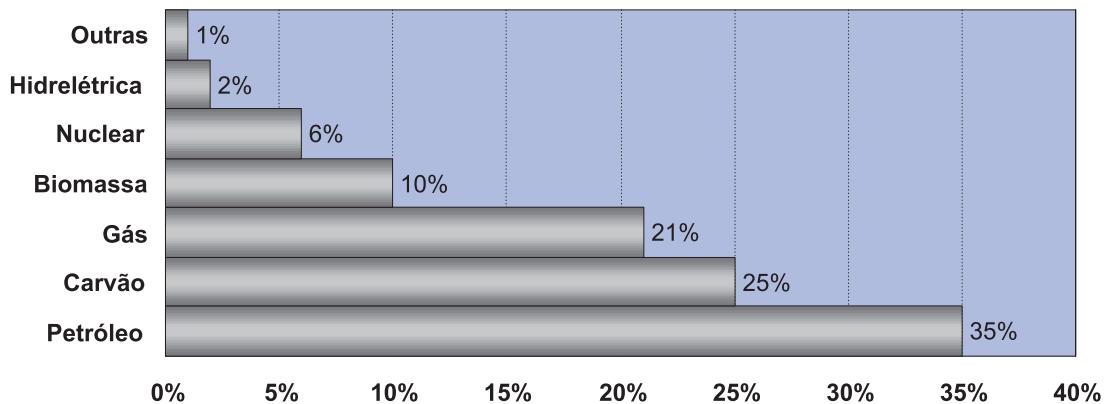
O Brasil tem a sua matriz energética suportada, em grande parte, pela energia hidrelétrica e de biomassa e com grande potencial de crescimento para a energia eólica e nuclear. Entretanto, os derivados do petróleo ainda são uma fonte importante para a produção industrial.

O Pólo Industrial de Camaçari, em contrapartida, tem o seu consumo baseado nos derivados de petróleo, como

mostra a Figura 2. Com exceção da energia de um pequeno percentual a partir de hidrelétrica, atualmente não

há o uso das demais fontes alternativas como carvão, resíduos de biomassa, energia solar, eólica ou etanol.

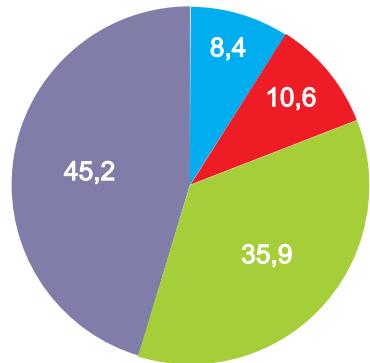
**Consumo mundial de energia primária, por fonte**



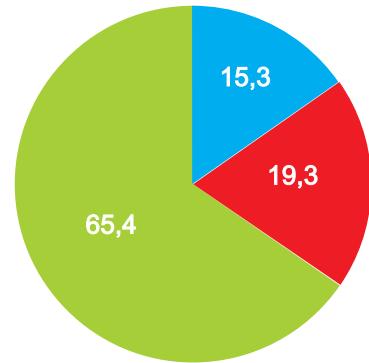
**FIGURA 1** – Consumo mundial de fontes primárias

FONTE – Agência Internacional de Energia, 2008

% de distribuição do consumo



% de distribuição dos importados



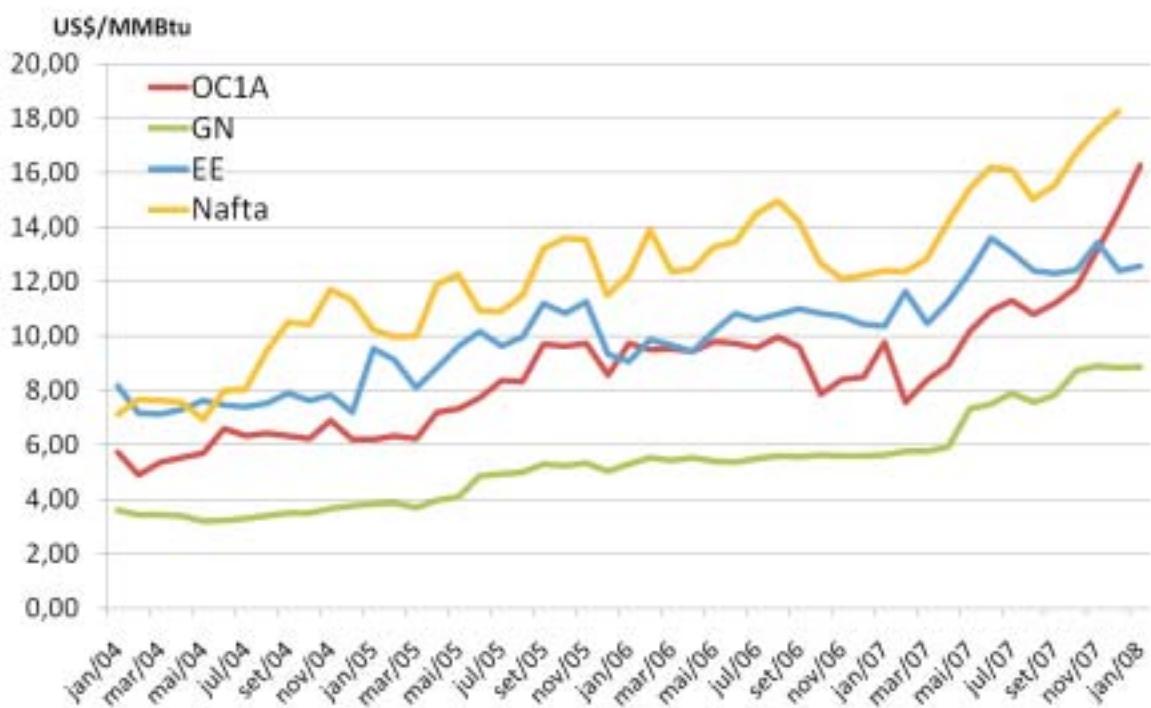
■ Óleo Combustível ■ Energia Elétrica ■ Gás Natural ■ Combustível Gerado

**FIGURA 2** – Consumo energético do Pólo de Camaçari

FONTE – Cofic, 2008a

A Central de Utilidades junto com a Central de Matérias-primas integram a Unidade de Petroquímicos Básicos da Braskem, que atende grande parte das indústrias nas suas necessidades de água, vapor, energia elétrica e demais insumos. Esta produção centralizada permite integrar a geração de energia e de vapor obtendo maior eficiência na extração do conteúdo energético dos combustíveis utilizados. Entretanto, como a disponibili-

lidade de gás na região ainda é insuficiente para a demanda industrial instalada, o consumo de óleo combustível, adicionado ao combustível gerado nos processos industriais como subproduto da nafta, é que suporta esta geração de energia e vapor necessários às indústrias. O crescimento do preço dos insumos – nafta, óleo combustível e energia elétrica – está apresentado na Figura 3.



**FIGURA 3** – Comparativo de preços das fontes de energia usadas no Pólo de Camaçari de 2004 a 2008

FONTE – Braskem, 2008a

A necessidade energética do Pólo de Camaçari é de 330,4 TEP/h, e representa 1,4% do consumo do Brasil, como mostra a Tabela 1. Este consumo é similar ao de países como Nicarágua, Congo, Senegal e Camarões, ou metade do consumo do Uruguai, El Salvador, Angola, Moçambique e Gana.

Diante do cenário atual de elevação do preço do petróleo, o desafio de sobrevivência e crescimento do Pólo de

Camaçari passa por soluções que aproveitem melhor a energia, desde a sua geração até o seu consumo. Adicionalmente, é necessário que haja uma estratégia para o desenvolvimento de fontes alternativas para equilibrar a matriz energética atual, aproveitando a condição geográfica e a disponibilidade de insumos energéticos renováveis no país, que podem tornar-se um diferencial bastante competitivo no futuro.

**TABELA 1** – Comparativo entre o consumo energético do Brasil e o Pólo de Camaçari

	TEP x 1.000	Participação (%)
<b>Consumo Brasil</b>	202.900	100,0
<b>Setor Industrial</b>	76.757	37,8
<b>Indústria Química</b>	7.364	3,6
<b>Pólo Industrial de Camaçari</b>	2.894	1,4

FONTES – EPE, 2007; Braskem, 2006

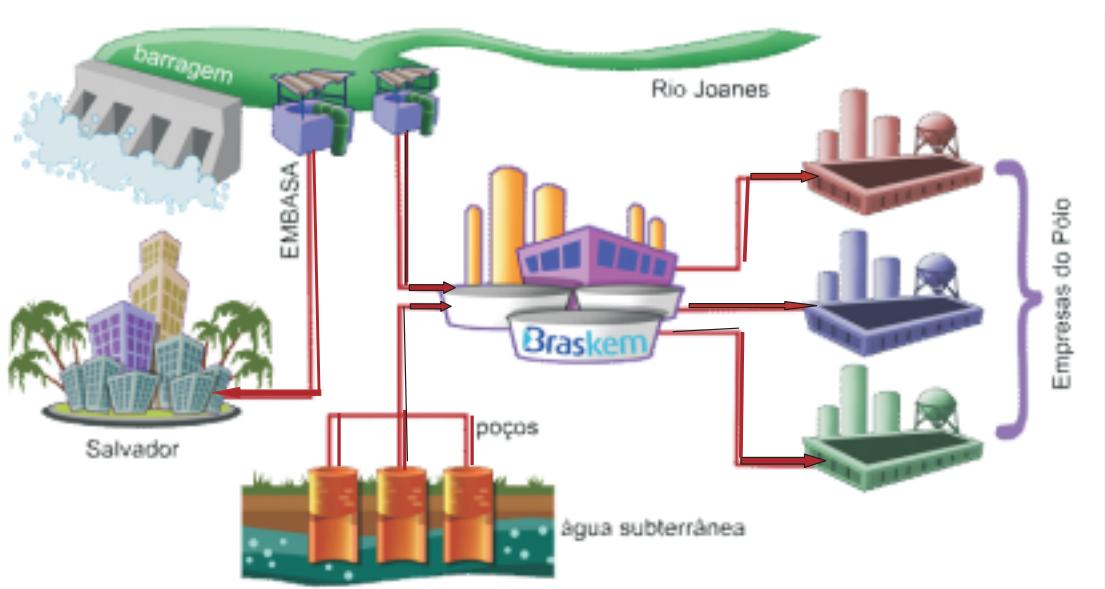
### Água, um recurso essencial

A Região Metropolitana de Salvador (RMS) e a Central de Utilidades da Unidade de Petroquímicos Básicos da Braskem (UNIB) são abastecidas pela Barragem II do Rio Joanes, próximo à região. A UNIB é o segundo maior consumidor de recursos hídricos da Bahia, atrás apenas da RMS. O consumo médio mensal de água da UNIB é de 3 milhões de metros cúbicos, equivalente a uma

cidade de 500 mil habitantes, como Feira de Santana, na Bahia.

O total de água captada para a UNIB está em torno de 4.200 m<sup>3</sup>/h, sendo um terço a partir de poços artesianos e dois terços de água superficial a partir do Rio Joanes.

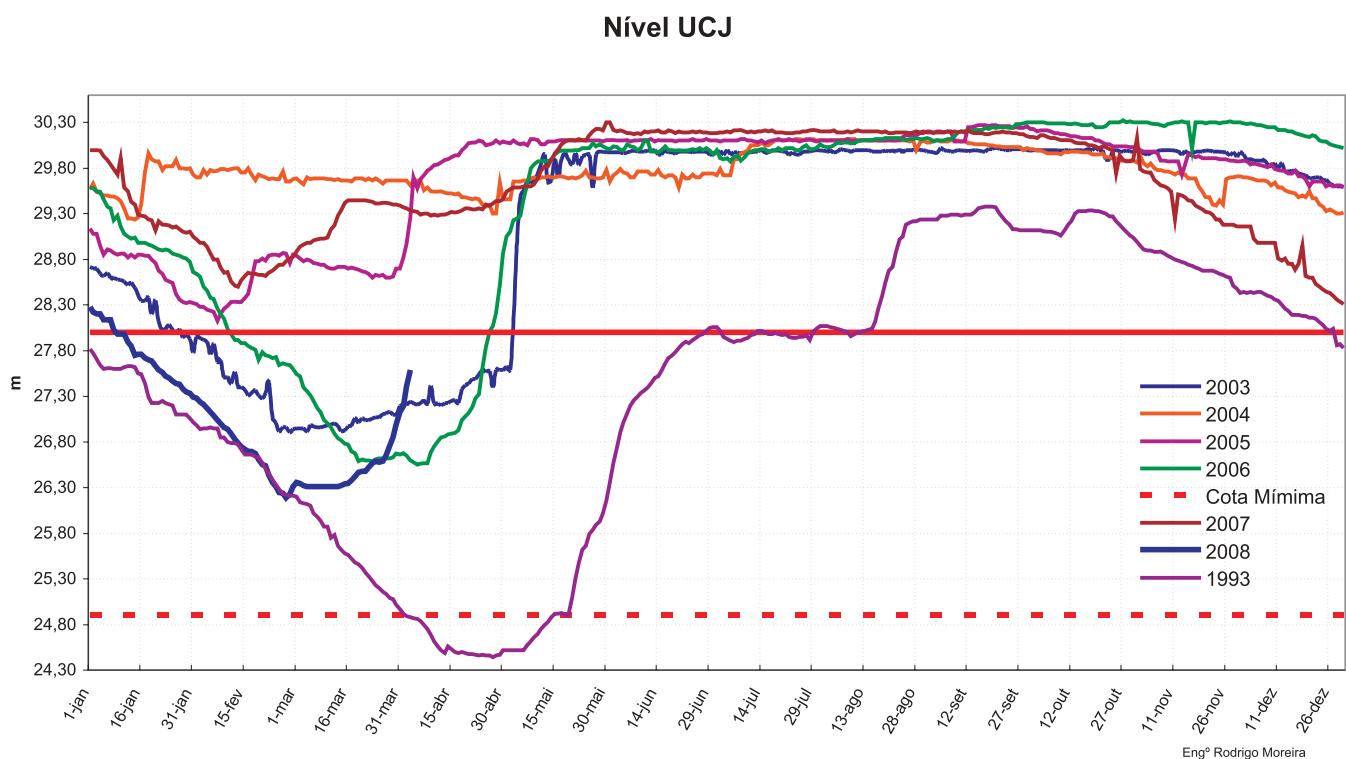
A Figura 4 mostra as fontes de captação para a UNIB e demais empresas do Pólo Industrial.

**FIGURA 4** – Fontes de captação de água para o Pólo Industrial

FONTE – COFIC, 2008b

A disponibilidade de água para uso nos processos industriais no Pólo passa por momentos de incerteza durante os períodos de seca. A maior fonte de captação, o Rio Joanes, é a mesma da cidade de Salvador, o que promove uma competição pelo recurso. A Figura 5 mostra momen-

tos de risco com o baixo nível do Rio Joanes de 2003 a 2008. No ano de 1993 observa-se que o nível chegou abaixo da cota mínima. Em situações de queda acentuada, é necessário fazer um plano de conscientização e ações para reduzir o consumo e evitar desperdício.



**FIGURA 5 – Mapa do nível de água na Unidade de Captação do Rio Joanes (UCJ) de 1993 a 2008**  
FONTE – Braskem, 2008b

Como a Central de Utilidades da Braskem é a responsável pela maior parte do abastecimento de águas industriais no Pólo, as campanhas de conscientização, quando necessárias, são promovidas pela empresa em parceria com o COFIC. Não há substituto para a água, o que aumenta a responsabilidade de todos pela sua utilização de forma consciente.

Deve ser meta das empresas a redução anual do seu consumo de água das fontes, para garantir sua perenidade e a possibilidade de implantação de novas empresas no Pólo Industrial, suportando a cadeia produtiva.

Existem diversos trabalhos que apontam o potencial de reúso dos recursos hídricos dentro dos processos industriais. Esta solução reduz não só a captação de água das fontes como a geração de efluentes e deve ser promovida entre as empresas do Pólo para minimizar os impactos ambientais.

#### **Matéria-prima e sustentação da cadeia produtiva**

As fontes de matérias-primas atualmente utilizadas no Pólo Industrial de Camaçari são gás natural e nafta,

minério de cobre, madeira, borracha, minério de titânio e aço. Algumas destas matérias-primas também são fontes de energia, como é o caso da nafta, do gás natural e da madeira. As fontes fósseis estão, portanto, atreladas ao mercado de energia, com os desafios apresentados anteriormente.

As fontes alternativas para a matéria-prima também estão atreladas às opções energéticas, que são a biomassa e o etanol. Da mesma forma que para o uso combustível, estas fontes atuam apenas de forma complementar, uma vez que os grandes volumes processados pelas indústrias e a competitividade do seu conteúdo energético impedem uma substituição de maior porte no curto e médio prazo.

Como na maioria dos processos industriais, a matéria-prima corresponde a uma grande parcela dos custos variáveis, resta às empresas do Pólo Industrial direcionarem o foco do curto prazo para a melhor utilização das fontes atualmente em uso, buscando aumento da eficiência dos seus processos, reduzindo perdas e subprodutos de menor valor. Em paralelo, a busca pela inovação com outras matérias-primas deverá fazer parte da estratégia das empresas para sustentar a competitividade no médio e longo prazo.

### **3 PESQUISA, DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO: O CAMINHO PARA O CRESCIMENTO**

A tecnologia traz possibilidades de transformar alguns desafios em oportunidades. Os ganhos incrementais de processo para aumentar os rendimentos, a atualização tecnológica das unidades ou a substituição por novas tecnologias, o desenvolvimento de produtos diferenciados, a automação e o controle dos processos, a otimização energética, as tecnologias de tratamento e reúso de efluentes, os processos de redução/captura de CO<sub>2</sub> e outros temas demonstram estas possibilidades. O desafio está em prover a infra-estrutura adequada para atender a estas demandas. A realidade no Estado da Bahia é de uma infra-estrutura de P&D e Inovação aquém do tamanho destes desafios.

Para promover estas mudanças e trilhar o caminho do desenvolvimento e da competitividade das unidades industriais instaladas, é preciso garantir o suporte

tecnológico que advém dos Institutos e Centros de Tecnologia (ICTs) e dos núcleos de competência das empresas. É necessário, portanto, prover o estado de infra-estrutura adequada à inovação em diversas áreas como: pesquisa fundamental e aplicada; testes e serviços especializados em todos os segmentos do Complexo Industrial com qualidade e agilidade nos resultados; desenvolvimento de novos produtos; desenvolvimento de tecnologia para utilização dos produtos em todo o ciclo de vida (reciclagem); atualização tecnológica para adequação à legislação e à segurança. Adicionalmente, deve ser fomentado o desenvolvimento local de tecnologia de uso mundial pelas multinacionais e a definição em conjunto Empresa-ICTs de temas-chaves para pesquisas de médio e longo prazo, como por exemplo, nanotecnologia e fontes renováveis.

Para cada um dos desafios e oportunidades levantados como base, o grupo de trabalho responsável pelo tema identificou os focos tecnológicos que devem ser priorizados, relacionados a seguir.

#### **Energia**

- Otimizar o uso das fontes energéticas (maior eficiência de queima e troca térmica, controle do processo, cogeração) – a melhor forma de reduzir o custo de energia é reduzindo o consumo.
- Reduzir emissões atmosféricas (NOx, SOx, VOC, material particulado).
- Viabilizar técnica e economicamente fontes alternativas (biomassa, biogás, carvão, eólica, etc.).
- Preparar os processos e equipamentos para a qualidade e a diversidade de fontes energéticas potenciais (óleos pesados, gás natural e nafta com contaminantes, carvão com alto teor de cinzas, biomassa).
- Ecoeficiência.
- Sequestro de carbono.

#### **Matéria-prima**

- Otimizar a performance das unidades – produzir mais com menos.
- Aumentar o valor agregado de correntes internas como matéria-prima para outros produtos.

- Aproveitar o resíduo como fonte de matéria-prima para outros processos dentro ou fora do Complexo.
- Viabilizar técnica e economicamente fontes alternativas (gaseificação de carvão e biomassa, etanol).
- Flexibilizar as unidades para uso de matérias-primas alternativas e de baixa qualidade.
- Buscar tecnologia para remoção de contaminantes de matéria-prima/produtos para permitir a diversificação das fontes, o atendimento a novas restrições e o uso de processos de produção/catalisadores mais seletivos e sensíveis.

## Água

- Elevar a eficiência dos processos de troca térmica para redução da água de resfriamento (70% da água de uma indústria são utilizados para resfriamento, para onde deve ser focada a possibilidade de reúso e reciclo).
- Aproveitamento de efluentes.
- Redução de perdas.
- Controle da contaminação do subsolo.

A intensidade do esforço de melhor utilização dos recursos hídricos está mostrada na pirâmide a seguir.



## Eficiência dos Processos

- Uso intenso de automação, controle avançado e otimizadores on-line de produção.
- Técnicas de análise e otimização energética para reduzir os custos variáveis.
- Catalisadores de nova geração e insumos para melhorar a seletividade e a conversão de matérias-primas.
- Sobrevida dos ativos:
  - adequação de escala com ampliação da capacidade e atualização tecnológica para melhorar a competitividade;
  - diferenciação para elevar a competitividade com novos nichos de mercado e novos produtos;
  - integração de cadeias;
  - ciclo de vida dos produtos.

## ➤ Capacitação das equipes:

- atualização do conhecimento;
- melhoria na formação dos novos quadros, identificação de talentos e retenção;
- capacitação aprofundada em áreas de maior interesse e relevância (especialização, mestrado, doutorado).

Para que estes focos tecnológicos sejam contemplados nas estratégias das indústrias do Pólo, é necessário prover as condições adequadas para o desenvolvimento de ações objetivas na área de P&D. Para estruturar estas ações, os desafios e necessidades prioritárias que foram levantados pela Comissão são:

- Identificação de talentos, retenção, capacitação dos integrantes e dos novos profissionais das empresas e dos demais agentes voltados para a inovação.

- Criação de um núcleo de competências internas nas empresas com foco tecnológico, que serão os interlocutores para os demais órgãos interessados.
- Articulação entre Universidades, Centros de Pesquisa Regionais, Nacionais e Internacionais, Financiadores de Projetos e Órgãos dos Governos Federal, Estadual e Municipal, para desenvolver Instituições e Centros Tecnológicos (ICTs) com ênfase nas atividades de base tecnológica em campos de maior interesse.
- Fomento de projetos conjuntos dentro do Complexo Industrial para o uso racional dos recursos naturais, a minimização na fonte da geração de resíduos, efluentes e emissões, e a redução dos impactos ambientais gerados.
- Intercâmbio de conhecimentos, experiências e práticas a partir de encontros, congressos e palestras entre empresas e ICTs.
- Parceria entre as empresas do Pólo e entre empresas, fornecedores e clientes, para aumento de competitividade da cadeia produtiva.

#### 4 RESULTADOS DO WORKSHOP DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Durante o Workshop organizado pelo Grupo de Trabalho GT-VI (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica), no dia 8 de abril de 2008, foram realizadas palestras pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado da Bahia (SECTI), para apresentar as possibilidades de fomento à ação de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação no Estado da Bahia. Após estas palestras foram formados quatro grupos para discutir temas pré-definidos pela comissão:

- **Grupo 1:** Infra-estrutura de P&D;
- **Grupo 2:** Relacionamento Empresa-ICTs;
- **Grupo 3:** Tecnologias para Utilização/Otimização de Fontes Naturais (MP, energia e água) e Redução do Impacto Ambiental;

- **Grupo 4:** Formação de Pesquisadores para ICTs e Indústrias para suportar estrutura física e demanda do parque industrial.

Estes grupos tiveram a participação dos diversos segmentos da sociedade: Governo, Instituições de Ensino e Pesquisa e Empresas. As discussões promovidas nestes Fóruns foram sumarizadas pelos grupos de trabalho e estruturadas como proposições pelo GT-VI, definindo responsáveis e prazos de execução.

Para a sustentação da pesquisa e do desenvolvimento no Estado já existem ações do Governo, representado pela SECTI, como a criação do Parque Tecnológico Tecnovia, que prevê infra-estrutura laboratorial para ICTs e empresas e espaço físico para outras demandas na área. Para definir e organizar estas demandas a SECTI deve promover um estudo prospectivo, envolvendo os diversos demandantes e ofertantes de infra-estrutura tecnológica, para conhecer os desafios de forma mais precisa e, em consequência, definir a infra-estrutura necessária para atendê-los.

Para a melhor utilização dos recursos aplicados é necessário prover estruturas de uso coletivo, sendo, porém, a cultura da cooperação e do compartilhamento de recursos e conhecimento ainda bastante restrita no nosso Estado. O desenvolvimento de redes de cooperação, aprendizagem, inovação, certamente prestará papel relevante na organização da demanda por estruturas e, por conseguinte, no seu uso compartilhado. No Parque Tecnológico, a premissa principal em termos de estruturas disponibilizadas é que estas devem ser sustentáveis e, neste propósito, a maximização da disponibilidade do uso é fator importante. Na condição de uso coletivo fica ainda mais clara a aplicação de recursos de fomento para suportar as instalações. Para que seja perene, a gestão desta nova estrutura deve ser conduzida por organizações representativas dos interesses múltiplos da sociedade, como as organizações sociais (OSs), com um modelo de governança no qual estejam representados estruturas do Governo, universidades e ICTs, de um modo geral, e do empresariado. Este modelo será utilizado no caso do Tecnovia - Parque Tecnológico de Salvador.

Algumas propostas, fruto do trabalho dos grupos durante o workshop, estão apresentadas nos Quadros 1 a 4.

**QUADRO 1 – Infra-estrutura de P&D**

Ações	Responsável
Elaborar o portfólio de capacitação, equipamentos, serviços tecnológicos e de treinamento, que podem ser prestados por todos os ICTs do Estado, para disseminar e compartilhar o seu uso nas Empresas	Fapesb, ICTs, Governo Estadual
Aproveitar fontes de financiamento disponíveis para modernizar os equipamentos de pesquisa dos ICTs existentes e de novos a serem implementados	Governos Estadual e Federal, ICTs
Realizar estudo prospectivo e mapeamento das demandas tecnológicas do Estado para estruturar as ofertas	Governo Estadual, Empresas, COFIC e ICTs
Garantir a implantação do Parque Tecnológico com infra-estrutura adequada aos desafios, modelo de governança participativo entre interessados e autossuficiência para sustentabilidade	Governo Estadual, Empresas e ICTs
Fomentar a instalação de uma unidade do Centro de Pesquisa da Petrobras no Estado	Governos Estadual e Federal, Empresas e ICTs

**QUADRO 2 – Relacionamento Universidade/ICTs e Empresas**

Ações	Responsável
Aprovar a Lei de Inovação Tecnológica do Estado	Governo Estadual
Profissionalizar as Fundações de apoio para permitir transferência e controle de recursos para ICTs com agilidade	ICTs, Fapesb
Promover Fóruns de Discussão e Agenda Executiva entre Empresas e ICTs para definição de plano estratégico em P&D e Inovação	Governo Estadual, COFIC, Executivos das Empresas e ICTs
Fomentar a participação das Empresas em redes de cooperação juntamente com a Petrobrás, compartilhando recursos e conhecimento com projetos voltados para o coletivo	Governos Estadual e Federal, ANP, Petrobras, Empresas e ICTs
Realizar seminários entre empresas e ICTs para identificar áreas de concentração em P&D e Inovação	COFIC, Empresas e ICTs
Formular Portfólio de programas conjuntos de P&D	COFIC, Empresas e ICTs

**QUADRO 3 –** Tecnologias para Utilização/Otimização de Fontes Naturais (MP, energia e água) e Redução do Impacto Ambiental

Ações	Responsável
Criar redes de comunicação em energia e tratamento de efluentes para disseminar conhecimento e possibilitar projetos em parceria na área de energia e reúso de água e resíduos	COFIC, Empresas e ICTs
Elaborar mapa do fluxo de matéria-prima nas empresas para determinação dos subprodutos, efluentes e emissões	COFIC, Empresas e ICTs
Elaborar estratégia visando sinergia no uso dos subprodutos e recuperação/uso de resíduos e efluentes líquidos dentro do Pólo Industrial, em empresas vizinhas ou na comunidade	Governos Municipal, Estadual e Federal (órgãos específicos), COFIC, Empresas e ICTs
Elaborar estratégia para a redução do consumo energético e o desenvolvimento conjunto de fontes alternativas de energia	Governos Municipal, Estadual e Federal (órgãos específicos), COFIC, Empresas e ICTs
Elaborar estratégia para identificação e uso de fontes de captação de água, racionamento e reúso	Governos Municipal, Estadual e Federal (órgãos específicos), COFIC, Empresas e ICTs
Elaborar plano de ação nas áreas de energia, efluentes, resíduos, emissões e água a partir das estratégias definidas	Governos Municipal, Estadual e Federal (órgãos específicos), COFIC, Empresas e ICTs

**QUADRO 4 –** Formação de Pesquisadores para ICTs e Indústrias para suportar estrutura física e demanda do parque industrial

Ações	Responsável
Revisar currículo dos cursos técnicos para atender às demandas e aos desafios das indústrias	Centros de Ensino e Empresas
Promover fóruns de discussão entre empresas e Centros de Ensino para inclusão/revisão de conteúdo das disciplinas e definição de temas para tese de mestrado e doutorado de interesse das indústrias	Centros de Ensino, COFIC e Empresas
Promover parcerias com Centros de Ensino para oferecer cursos em temas específicos ministrados por profissionais experientes das indústrias e/ou preparação destes profissionais para o pós-carreira como instrutores	COFIC, Empresas e ICTs

Incluir as disciplinas de gestão nas grades curriculares de mestrado e doutorado para profissionalizar os pesquisadores na condução dos projetos e na atuação junto a empresas e órgãos de fomento	ICTs
Viabilizar a contratação de profissionais mestres e doutores nos quadros das empresas e ICTs para reter/atrair talentos em P&D	Governos Municipal, Estadual e Federal, COFIC, Empresas e ICTs
Desenvolver cursos de nível técnico para profissionais que irão suportar a instalação, operação, e manutenção das atividades de P&D nos ICTs e Indústrias	Governos Municipal, Estadual e Federal, COFIC, Empresas e ICTs
Fomentar empresas e órgãos públicos para patrocinar seminários e prêmios de reconhecimento para os pesquisadores	Governo, Empresas e ICTs

Para que seja possível promover as mudanças necessárias na área de Inovação e Tecnologia, será necessário desenvolver um plano de ação estruturado, com prazos e responsáveis para a sua implantação. Desta forma, as condições estarão instaladas para iniciar o processo de construção da base tecnológica necessária e de forma sustentável.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A previsão para os próximos 30 anos é de uma velocidade de mudanças muito maior do que a observada nos 30 anos anteriores. Por este motivo, as proposições descritas neste trabalho, fruto de discussões entre todas as partes interessadas, são prioritárias para prover a base tecnológica que suportará as empresas na promoção das mudanças essenciais à sua competitividade e sustentabilidade. As soluções inovadoras que serão encontradas, como fruto desta sustentação na área de P&D, refletirão em uma renovação do Pólo Industrial, garantindo o seu crescimento e perenidade para os próximos 30 anos.

É importante ressaltar que, neste cenário, a área de P&D de todo o Estado deve estar cada vez mais atrelada à lógica empresarial, para que a Bahia se torne competitiva e tenha oferta de trabalho nas áreas portadoras de futuro.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Revista VEJA**, São Paulo, 24 set. 2008.
- BRASKEM. Unidade de Petroquímicos Básicos-UNIB. **Relatório de acompanhamento de processo**: dados base 2006. Camaçari, 2006.
- \_\_\_\_\_. Unidade de Petroquímicos Básicos-UNIB. **Relatório de acompanhamento de processo**. Camaçari, 2008a.
- \_\_\_\_\_. Unidade de Petroquímicos Básicos-UNIB. **Relatório interno de acompanhamento da Unidade de Captação do Joanes**. Camaçari, 2008b.
- [COFIC] COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI. **Dados ano-base 2007**. Apresentado no workshop Grupo de Trabalho GT-III Matérias-Primas e Matriz Energética. Camaçari, 2008a.
- \_\_\_\_\_. Apresentado no workshop Grupo de Trabalho GT-VI Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica. Camaçari, 2008b.
- [EPE] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2007**: ano-base 2006. Rio de Janeiro, 2007.

# Controle Avançado Utilizando DMC e Simulação Termodinâmica

LEO LINCOLN

Eng. MSc. Braskem. Doutorando em Desenvolvimento de Processos Industriais (UNICAMP). Mestrado em Simulação Termodinâmica de Processo (UFBA). Especialização em Controle e Automação de Processos (UFBA) e Gestão de Negócios (UNIFACS).

[leo.lincoln@braskem.com.br](mailto:leo.lincoln@braskem.com.br)

## ABSTRACT

*Exothermic behavior is commonly faced on advanced process control projects. For lower degrees of exothermic, linear controllers can be adapted by various means to overcome the changes in process gain apparent in these types of process. However, processes where the effect of a disturbance can change the gain direction, depending on reactor-feed concentrations and temperature, present a special challenge for advanced process control projects.*

*In a few of these cases, if one can force the process to remain in an area of consistent disturbance behavior, one can usually safely use the linear controller. However, if one must operate the process in areas where the disturbance effects do change direction, a nonlinear controller is generally advised. This paper demonstrates that for one subset of exothermic processes, a linear controller can also be successfully used. This subset consists of processes with thermodynamically simple fluids (i.e., non-polymeric and non-electrolytic) and a few independent variables. This strategy of using a linear controller on an exothermic process displaying this sort of disturbance effect is justified. In this plant there is already a large installed base of linear controllers at the plant site*

*without an existing base of nonlinear controllers and the new controller is going to be a sub-controller inside a greater linear controller.*

*We discuss a practical application of this strategy on a cyclopentadiene (CPD) to di-cyclopentadiene (DCPD) reactor in an isoprene production unit. The success of the project is shown by the reduction in variability of product losses and in a more stable feed composition to the downstream portion of the production unit. This solution strategy was reached using the rigorous steady-state simulation and a linear controller (Dynamic Matrix Control). Using these tools, it was possible to develop an adaptative controller and to detect the process exothermic behavior; model it and control the controlled variables in a stable manner. This method, using the rigorous model, is especially useful when the process dead time is a large fraction of the process time.*

## KEY WORDS

*Nonlinear exothermic reactor. Advanced control. Simulation and control. Dimerization. Isoprene. Cyclopentadiene. Dicyclopentadiene.*

## 1 INTRODUÇÃO

**D**evido à necessidade de aumento de competitividade das indústrias petroquímicas, os processos industriais estão cada vez mais automatizados. Dentro deste contexto, a Braskem tem investido consideravelmente em automação, implementando controle avançado e otimizadores em tempo real em diversas unidades industriais.

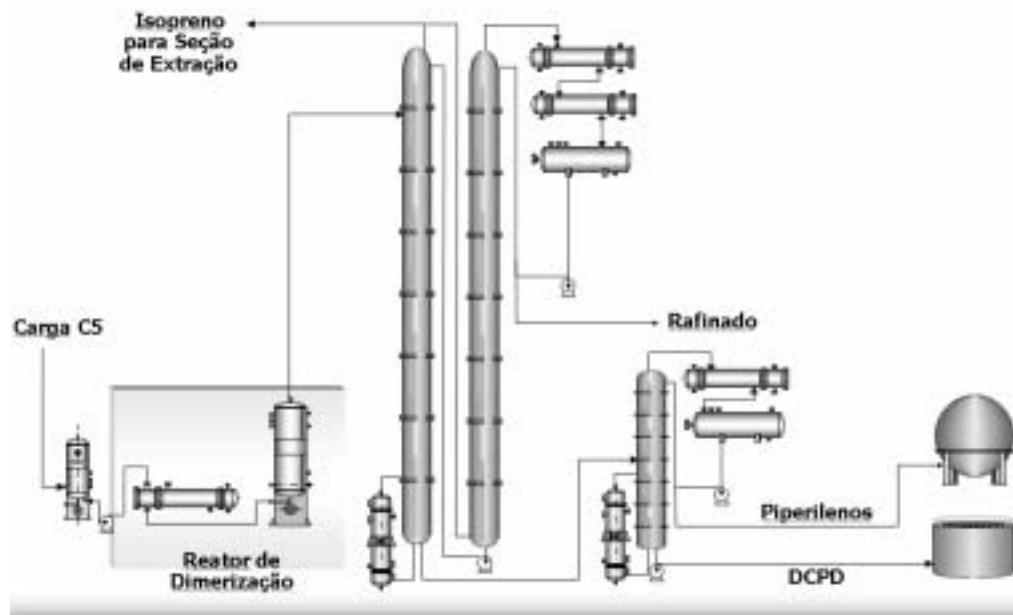
Por conseguinte, está sendo implantado controle avançado em toda a unidade de extração de isopreno (2-metil-butadieno-1,3) da Braskem, planta localizada em Camaçari na Bahia. Devido à facilidade de implantação, robustez e potencial para otimização em tempo real foi escolhido, como estrutura global de controle, o DMC (*Dynamic Matrix Control*), que é um controlador avançado multivariável linear. O uso do DMC em toda a unidade garante uma excelente interação entre todas as partes da mesma.

Contudo, esta unidade possui um reator com comportamento altamente não linear, como diversos processos da indústria petroquímica. Este sistema também apresenta, para determinadas variáveis, resposta dinâmica com

inversão de ganhos, tornando difícil o uso do DMC. Para possibilitar a implantação do DMC em toda a unidade de extração de isopreno, que é essencial à otimização global da unidade, foi realizada uma estratégia utilizando o DMC com um modelo interno não linear para predição de determinadas variáveis. Criando, assim, um modelo adaptativo baseado em modelagem termodinâmica e na matriz de ganhos dinâmicos lineares do processo.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

A unidade de extração de isopreno produz também o DCPD (diciclopentadieno) e os piperilenos (trans e cis-pentadieno-1,3). A unidade é alimentada por uma corrente de hidrocarbonetos com cinco átomos de carbono, possuindo uma concentração de CPD (ciclopentadieno) que varia entre 3 a 20% em massa. A unidade está dividida em cinco seções: preparação de carga, extração, recuperação de solvente, remoção de enxofre e superfracionamento. O foco principal deste trabalho é a seção de preparação de carga esquematizada na Figura 1.



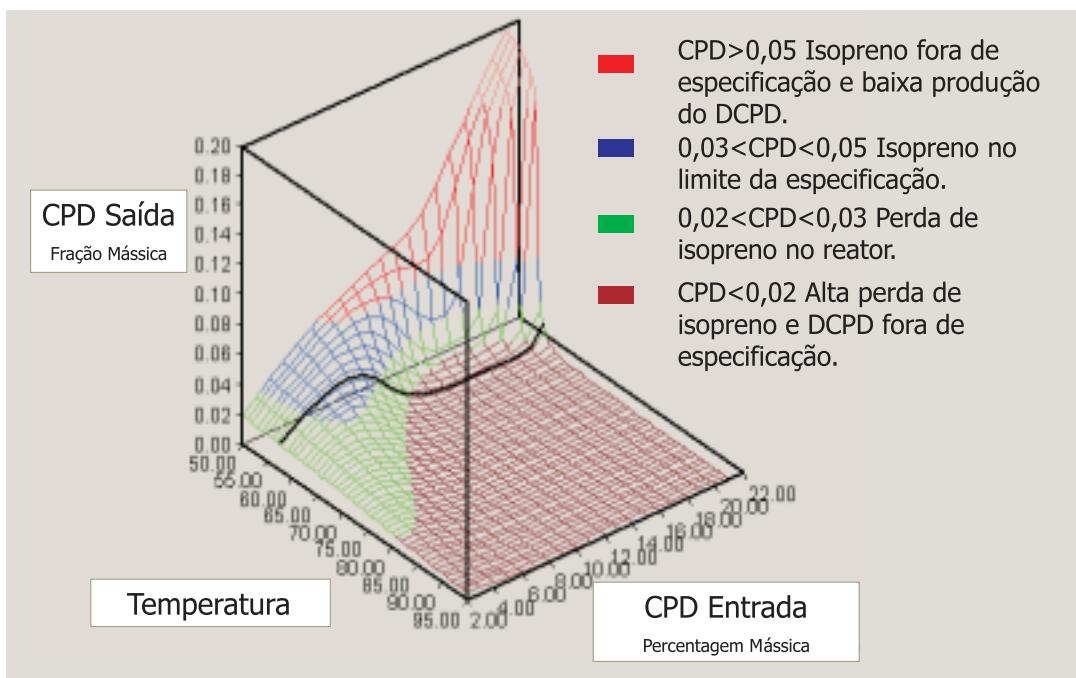
**FIGURA 1** – Seção de preparação de carga da unidade de extração de isopreno

O reator de dimerização do CPD faz parte da seção de preparação de carga. A carga da unidade é aquecida por um trocador de calor, onde a temperatura é manipulada para controlar a dimerização que ocorre no reator. O reator é do tipo fluxo contínuo, sem catalisador e tem a função de transformar o CPD em DCPD. A saída do reator alimenta a primeira coluna de destilação do processo, chamada de coluna de remoção de pesos. Esta coluna separa uma corrente concentrada em isopreno de uma corrente rica em DCPD e piperilenos. A corrente rica em DCPD e piperilenos alimenta outra coluna de destilação simples, onde o DCPD é separado dos piperilenos. Ambas as correntes são utilizadas como matérias-primas para a fabricação de resinas. A corrente rica em isopreno alimenta a seção de extração, o que irá purificá-lo. O isopreno é um componente utilizado na produção de adesivos especiais para rótulos e fitas adesivas e substitui as gomas naturais para usos especiais.

O reator de dimerização do CPD tem grande efeito sobre o comportamento de todo o processo, e tem uma grande importância na especificação do isopreno. Uma vez que a volatilidade do CPD é muito próxima do isopreno, a

separação destes compostos por destilação é muito difícil. O reator é responsável por transformar o CPD em um composto de baixa volatilidade, o DCPD, tornando factível a especificação do isopreno.

A reação é afetada pela temperatura de entrada do reator, a concentração de CPD na alimentação e a vazão de alimentação. Devido ao fato de que a reação do CPD em DCPD é exotérmica, a concentração de CPD afeta as taxas de reação que ocorrem no reator e no perfil de temperatura. Dependendo desta taxa de reação, pode haver reações colaterais que consomem o isopreno, aumentando a perda deste produto. Portanto, se a taxa de reação do CPD a DCPD for demasiado elevada, ocorre uma redução da produção de isopreno. No entanto, se a reação não for suficiente, a produção irá também diminuir por redução de recuperação do isopreno na seção de extração. O controle de temperatura do reator é, portanto, um aspecto importante para esta unidade. A concentração do CPD na carga do reator altera-se freqüentemente e abruptamente, afetando o reator com inversão do efeito da temperatura nas perdas de isopreno. O efeito da concentração do CPD na entrada do reator é mostrado na Figura 2.



**FIGURA 2** – Comportamento da composição do CPD na saída do reator, em função da variação da temperatura, e composição do CPD na entrada do reator

A Figura 2 demonstra a complexidade deste processo, podendo verificar-se uma inversão de ganho e também mudança do ponto de inflexão, que depende da temperatura e da concentração do CPD. Evita-se trabalhar na região onde ocorre a maximização de formação de codímeros, devido à excessiva perda de isopreno e perda de especificação do DCPD e, também, na região de alta concentração de CPD na saída do reator, devido à redução da recuperação do isopreno na seção de extração. Procura-se trabalhar numa região onde a recuperação do isopreno é maximizada.

### 3 SIMULAÇÃO TERMODINÂMICA DO REATOR

A metodologia desenvolvida para a modelagem do reator em um simulador comercial foi realizada por meio dos passos descritos a seguir:

- desenvolvimento de um modelo matemático do reator, através da obtenção dos parâmetros cinéticos das reações químicas na literatura e configuração de acordo com o projeto da unidade;
- levantamento de dados operacionais da unidade industrial;
- ajuste do diâmetro e do comprimento do reator, considerando os efeitos de mistura, para minimização dos erros entre a simulação e os dados de planta;
- análise da conversão do isopreno e do CPD no reator;
- ajuste de duas equações que permitam definir a temperatura de entrada do reator e prever a composição do CPD na saída, para controle preditivo do reator;
- definição da condição de operação otimizada que permita, além da sua função de controle, minimizar as perdas de isopreno na formação de codímeros.

As reações que ocorrem no reator são homogêneas, em fase líquida, não-catalíticas e exotérmicas. Os conceitos apresentados neste item são limitados a esse tipo de reação e são usados apenas em reações elementares. Para obter uma reação de um composto *A* com um composto que dá o produto *B*, pode-se escrever estequiométricamente como:



Para o reator estudado neste trabalho, a velocidade de reação ( $r_D$ ) é função não só da concentração de operação, mas também da temperatura e da pressão do sistema. Para os componentes que reagem, *A* e *B*, a expressão velocidade de reação (3.2) é:

$$(3.2) \quad r_D = k C_A^a C_B^b$$

A constante de proporcionalidade é chamada de *k* (Velocidade Constante) e depende da temperatura. A pressão também afeta o valor de *k*, contudo, como o sistema estudado é em fase líquida, o efeito da pressão é desprezível. Existem algumas teorias que explicam a influência da temperatura na velocidade da reação. A expressão do item (3.3) resume as conclusões das diferentes teorias com relação a esse efeito.

$$(3.3) \quad k = F' \cdot T^m \cdot e^{-E/RT} \Rightarrow 0 \leq m \leq 1$$

Como o termo exponencial é mais sensível do que termo  $T^m$ , a variação do *k* causada por este termo é desprezível. A lei de Arrhenius pode ser considerada como uma boa aproximação para relacionar a temperatura com a velocidade da reação. Na equação (3.3) o fator *F'* é chamado de fator de freqüência, *E* é a energia de ativação, que representa a mínima energia em que a reação ocorre, *R* é a constante de gases universais e *T* é a temperatura absoluta. A simulação considerou o reator de fluxo contínuo, sem variação axial (apenas com variação no sentido longitudinal), adiabático e em estado estacionário; para estas condições, é possível escrever o balanço de massa (3.4) e de energia (3.5) como:

$$(3.4) \quad v_0 \frac{\partial C_{D_i}}{\partial z} + r_{D_i} = 0$$

$$(3.5) \quad \frac{\partial}{\partial z} \left( k_e \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \sum r_{D_i} (-\Delta H_{D_i}) = 0$$

Nas equações (3.4) e (3.5) a variável *v<sub>o</sub>* é o volume reacional, *C<sub>D<sub>i</sub></sub>* é a concentração do componente *i*, *z* é o comprimento do reator, *r<sub>D<sub>i</sub></sub>* é a taxa de reação de um componente *i*, *k<sub>e</sub>* é o coeficiente de condutividade térmica da mistura reacional e  $\Delta H_{D_i}$  é a entalpia da reação de um componente *i*. Integrando a equação (3.4) e (3.5)

para cada uma das reações consideradas a seguir (3.6.a até 3.6.h) é possível simular o reator.

- (3.6.a)  $CPD + CPD \rightarrow DCPD$
- (3.6.b)  $CPD + Isopreno \rightarrow CodimeroA$
- (3.6.c)  $Isopreno + Isopreno \rightarrow DimeroIsop$
- (3.6.d)  $Piperileno + CPD \rightarrow CodimeroB$
- (3.6.e)  $Piperileno + Isopreno \rightarrow CodimeroC$
- (3.6.f)  $Piperileno + Piperileno \rightarrow DimeroPip$
- (3.6.g)  $DCPD \rightarrow CPD + CPD$
- (3.6.h)  $DCPD + CPD \rightarrow TCPD$

Na reação (3.6.b) existe a formação dos codímeros 5-metil-5-vinil-2-norboneno, iso-5-2-propenil-norboneno e 5-metil-4,7,8,9-tetrahidro-indeno. Na reação (3.6.c) existe a formação do dímero 1,4 (ou 2,4) dimetil-4-vinil-ciclohexeno e o d-limoneno. Reações de polimerização também ocorrem no reator, formando trímeros, tetrâmeros e outros mais pesados. A polimerização do CPD acontece em temperaturas acima de 100°C. As reações (3.6.a) e (3.6.b), chamadas de dimerização e codimerização do CPD, que são as principais reações que ocorrem no reator, tiveram suas taxas determinadas por Seidov *et al.*, (1964), Muja *et al.* (1975), Turnbull e Hull (1968) e outros, para diferentes temperaturas.

**TABELA 1** – Resumo dos principais parâmetros cinéticos das reações presentes no reator

Cinética das Principais Reações			
Reações	CPD + CPD	CPD + Isopreno	Isopreno + Isopreno
Taxa [kgmol/m <sup>3</sup> .s]	$r_{DCPD} = k_1 C_{CPD}^2$	$r_{COD} = k_2 C_{CPD} C_{ISOP}$	$r_{DIM} = k_3 C_{ISOP}^2$
<b>k</b>	$k_1 = F_1 * e^{-E_1/RT}$	$k_2 = F_2 * e^{-E_2/RT}$	$k_3 = F_3 * e^{-E_3/RT}$
<b>F</b>	$F_1 = 3,7339 \times 10^7$	$F_2 = 2,2529 \times 10^6$	$F_3 = 3,954 \times 10^6$
<b>E</b> [J / kgmol]	$E_1 = 8,0392 \times 10^7$	$E_2 = 8,1522 \times 10^7$	$E_3 = 9,536 \times 10^7$

A Figura 3 mostra uma comparação entre as principais velocidades de reações em função da temperatura do reator. Verifica-se que a taxa de dimerização do CPD predomina em relação às demais reações.

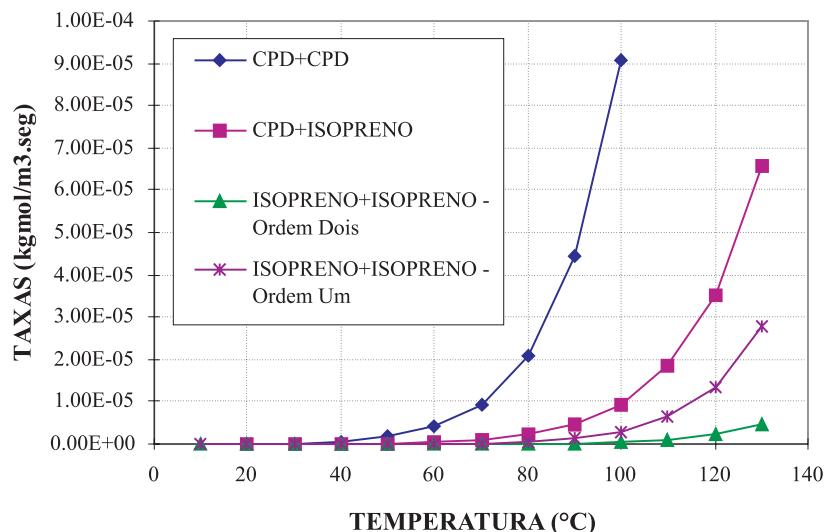
A modelagem do reator foi realizada no simulador termodinâmico *Aspen Plus*. As reações que ocorrem no reator são em fase líquida e exotérmicas. O processo foi considerado adiabático. O reator foi simulado como tubular, tipo *plug-flow*, onde a composição do líquido varia longitudinalmente, e mistura perfeita na direção radial. Para as reações de ordem maior do que zero, o volume necessário para um reator de mistura perfeita é maior do que o volume de um reator tipo *plug-flow*. Esse efeito se torna mais importante quanto maior for a ordem da reação. A modelagem de reatores tubulares exige um ajuste do volume total por conta do efeito de

mistura. No estudo desenvolvido, encontrou-se uma redução de 30% do volume real, tendo como base dados da unidade industrial. A redução do volume pode ser expressa através de uma redução do diâmetro ou do comprimento (LEVENSPIEL *et al.*, 1959).

Foi verificado que o teor de CPD na carga do reator é a variável perturbação mais importante para o controle operacional da temperatura. Sendo observado que para os teores de CPD abaixo de 6,5% a temperatura do reator deve ser elevada com o aumento da concentração do CPD, para garantir 3% do CPD na saída do reator. No entanto, para concentrações maiores que 6,5% observa-se o inverso, a temperatura exigida deverá ser reduzida com o aumento da concentração do CPD, para manter a mesma concentração de CPD na saída do reator, conforme é verificado na Figura 4.

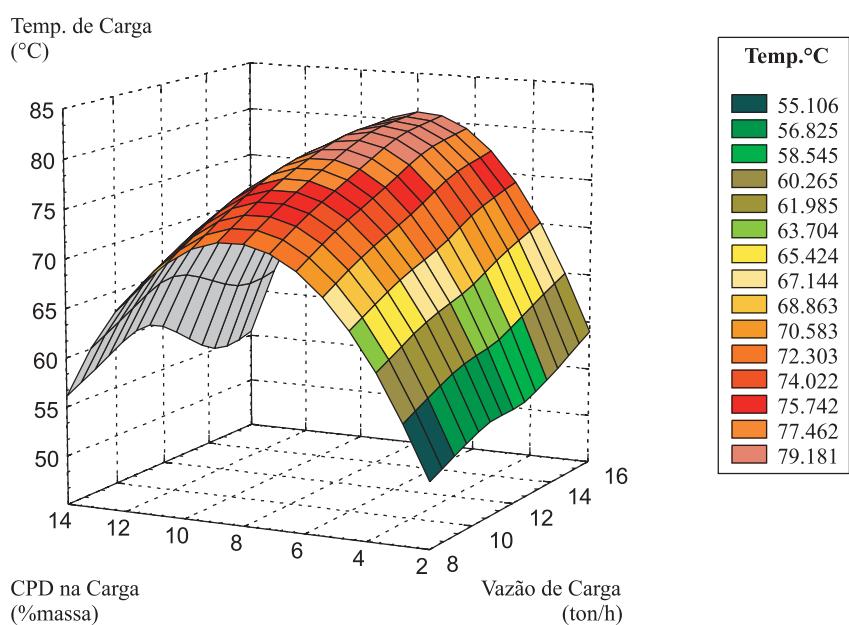
### Taxa de Reação no Reator

#### TAXAS DE REAÇÃO NO DC-5201



**FIGURA 3** – Gráfico das principais taxas de reações *versus* temperatura

#### INFLUÊNCIA DO CPD E VAZÃO DE CARGA DO DC-5201



**FIGURA 4** – Gráfico do comportamento da temperatura de entrada em função da vazão de carga e concentração do CPD na entrada do reator

Foram utilizados dados estacionários de planta para verificar a correlação entre os dados de entrada e saída do CPD. O erro máximo percentual encontrado está na ordem de 0,5%. A simulação apresenta um resultado muito preciso quando comparados os valores simulados com os dados de planta. Este aspecto é muito importante para a otimização da produção do isopreno.

Para implantar a função adaptativa no controle avançado, foram regredidos os resultados da simulação em duas curvas polinomiais. A primeira equação obtida permite definir a temperatura de entrada do reator e a segunda equação prevê a composição do CPD na saída do reator, tendo ambas sido utilizadas para o controle preditivo. Os resíduos (a diferença entre a regressão das curvas polinomiais e da simulação) apresentaram um valor máximo de 0,14°C. Tendo em vista os limites de especificação dos produtos da unidade, é possível definir uma condição de operação otimizada, buscando trabalhar integralmente com a mínima perda de isopreno na unidade.

#### 4 CONTROLADOR DMC (DYNAMIC MATRIX CONTROL)

Cutler e Ramakar (1980) apresentaram um algoritmo preditivo, o controlador DMC, como uma metodologia capaz de manipular restrições operacionais nas variáveis de controle e saída de forma sistemática. Este algoritmo é adequado para o controle de processos com elevado grau de interação entre as variáveis, com ordens elevadas e atrasos dominantes. Que é a condição da unidade de extração de isopreno e o reator de dimerização do CPD. Estas características, aliadas à capacidade de manipular restrições, garantem uma utilização bem-sucedida deste algoritmo para o caso avaliado. Contudo, devido ao fato que o reator possui inversão de ganhos para algumas variáveis, como a temperatura necessária da carga, foram desenvolvidas equações para predizer os valores necessários como *external targets*, gerando um modelo adaptativo baseado em DMC com modelo termodinâmico rigoroso de correção interna para algumas variáveis.

O algoritmo DMC utiliza um modelo obtido a partir da resposta ao degrau do processo. Uma vez conhecido o modelo, o problema a ser resolvido se resume no caso do algoritmo preditivo, na previsão da saída do proces-

so e na otimização de um critério, sujeito a um conjunto de restrições, que considera os erros entre as previsões da saída e dos sinais de referência mais os incrementos nas ações de controle. Dos sinais de controle calculados, somente o primeiro é aplicado ao sistema. No instante de tempo seguinte todo o procedimento é repetido, em uma estratégia conhecida como *Receding Horizon*.

A estratégia para lidar com a inversão de ganho do CPD versus a temperatura foi a utilização de um modelo interno baseado na simulação rigorosa do reator tipo *plug flow*, considerando todas as principais reações. Foram analisados os efeitos das variações de temperatura e de composição. Os dados foram regredidos em duas equações polinomiais: a equação (4.1), que é a temperatura necessária de entrada ( $T_{ent}$ ) em função da vazão de alimentação ( $F_{ent}$ ), da concentração de CPD na alimentação ( $CPD_{ent}$ ) e da concentração de CPD exigida na saída do reator ( $CPD_{sai}$ ); e a equação (4.2), sendo a previsão do CPD na saída do reator ( $CPD_{sai}$ ) em função da temperatura de entrada ( $T_{ent}$ ), da concentração de CPD na alimentação ( $CPD_{ent}$ ) e da vazão de alimentação ( $F_{ent}$ ).

$$(4.1) \quad T_{ent} = \sum_{n=1}^{np1} \Psi_{in} CPD_{ent}^n + \sum_{n=1}^{np2} \Psi_{jn} CPD_{sai}^n + \sum_{n=1}^{np3} \Psi_{kn} F_{ent}^n$$

$$(4.2) \quad CPD_{sai} = \sum_{n=1}^{np1} \Psi_{in} CPD_{ent}^n + \sum_{n=1}^{np2} \Psi_{jn} T_{ent}^n + \sum_{n=1}^{np3} \Psi_{kn} F_{ent}^n$$

O DMC calcula o *target* para a temperatura tendo como base a concentração-alvo de CPD na saída, o valor de alimentação do CPD e a vazão de carga da unidade (*external target*). O controle manipula a temperatura dinamicamente para chegar ao valor desejado, para obtenção do CPD especificado na saída do reator. O controlador calcula o valor de predição do CPD e compara com o valor real do analisador de CPD, sendo que esta diferença é utilizada para o ajuste de nova previsão.

Para que o problema de otimização e controle possa ser resolvido é necessário que se tenha um modelo de processo para calcular as previsões de saída. O modelo usado no algoritmo DMC é conhecido como modelo de resposta ao degrau. Este modelo utilizado pelo algoritmo DMC é dado pela equação (4.3):

$$(4.3) \quad y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t-i) + p(t)$$

Onde  $\Delta u(t)$  e  $y(t)$  são, respectivamente, o incremento da entrada e a saída do sistema no instante discreto de tempo  $t$ ,  $g_i$  é a resposta ao degrau no  $i$ ésimo instante de tempo a partir da aplicação do degrau e  $p(t)$  é a perturbação atuando no processo. Os valores previstos da saída para instantes futuros de tempo, separando-se os termos referentes às contribuições do passado e futuro, são descritos conforme a equação (4.4) (CAMACHO et al.).

(4.4)

$$\hat{y}(t+l|t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t+l-i) + \sum_{i=1}^l g_i \Delta u(t+l-i) + \hat{p}(t+l|t)$$

A primeira parcela desta equação representa a contribuição para a variável de saída, até o instante  $t-1$ , dos incrementos passados na variável manipulada. A segunda parcela representa as contribuições futuras da variável manipulada. As perturbações  $\hat{p}(t+l|t)$  são consideradas constantes para os instantes de tempo superiores. Caso o processo seja assintoticamente estável,

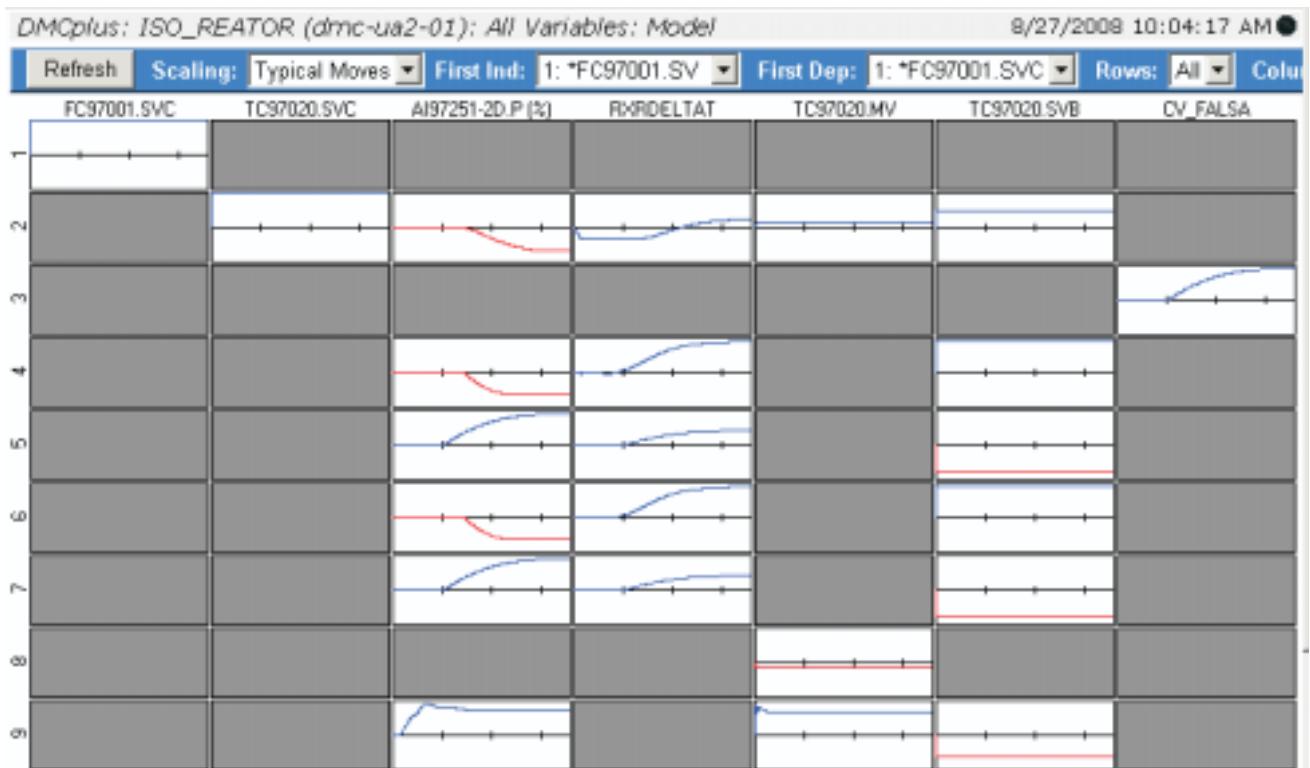
os coeficientes  $g_i$  da resposta ao degrau tendem a ser constantes após um valor  $N$  (CAMACHO et al.). Pode-se, então, escrever a equação (4.5) para a resposta do DMC na forma vetorial:

$$(4.5) \quad \hat{y} = G \cdot \Delta u + f$$

Onde  $G$  é a matriz dinâmica do processo, dada pela equação (4.6):

$$(4.6) \quad G = \begin{bmatrix} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ g_2 & g_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N_u} & g_{N_u}-1 & \dots & g_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N_u} & g_{N_u}-1 & \dots & g_{N_y-N_u+1} \end{bmatrix}$$

Verifica-se na Figura 5 a matriz do comportamento dinâmico e os respectivos ganhos do reator, sendo constatado que as variáveis possuem um comportamento assintótico estável.



**FIGURA 5** – Modelo dinâmico das variáveis do reator

O modelo dinâmico do reator possui como variáveis dependentes: o external target da rampa de elevação de carga da unidade, o *external target* da temperatura de entrada do reator, a composição de CPD na saída do reator, o delta de temperatura do reator e a abertura da válvula de vapor do aquecedor de carga para o reator; e como variáveis independentes: o *set point* da vazão de carga do reator, o *set point* da temperatura de entrada do reator e a composição do CPD na entrada do reator, sendo estas variáveis controladas e manipuladas pelo DMC.

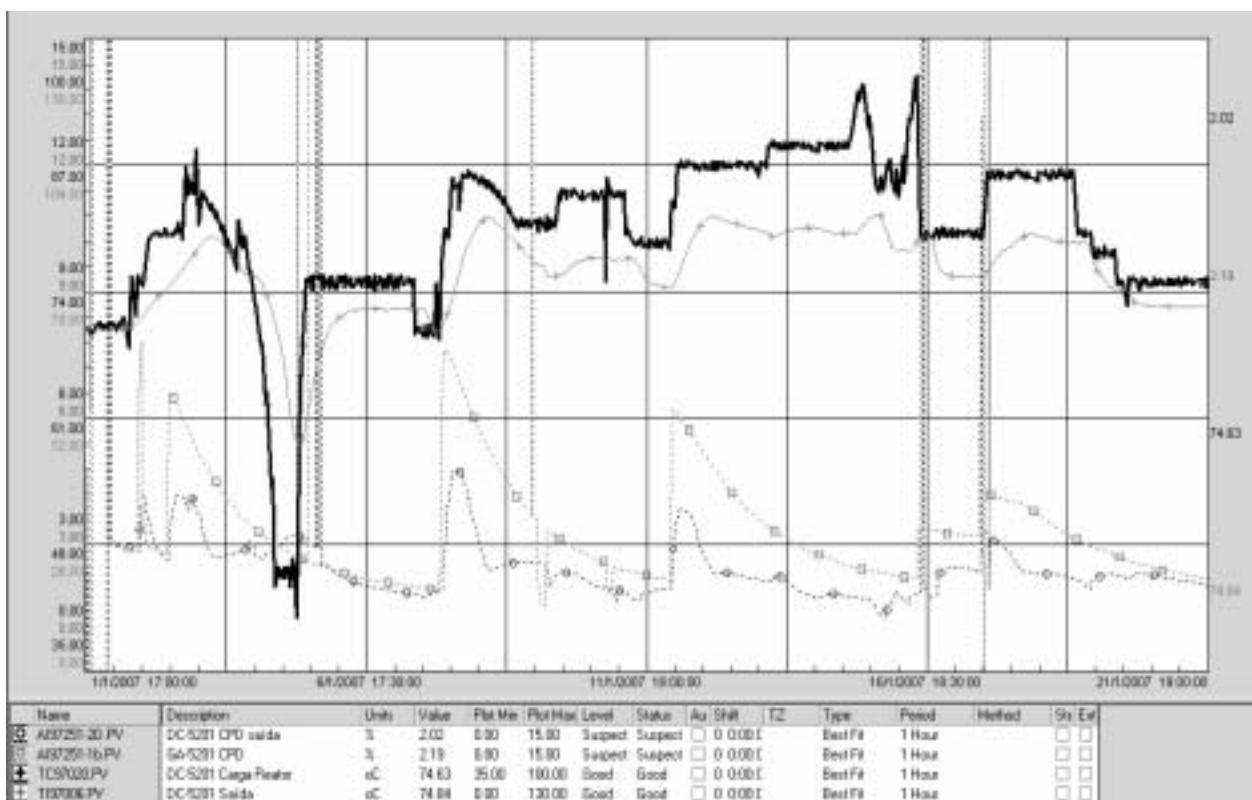
Devido ao fato de que o controle é executado no DMC, o controlador é capaz de manipular a carga para o reator dentro dos limites previstos, tentando sempre maximizar a carga da unidade.

Como está sendo implantado o DMC em toda a unidade, há uma comunicação entre o DMC das outras seções para trabalhar em conjunto para a minimização das perdas de isopreno ao longo de toda unidade. Quanto maior a concentração de CPD saindo do reator, menor a

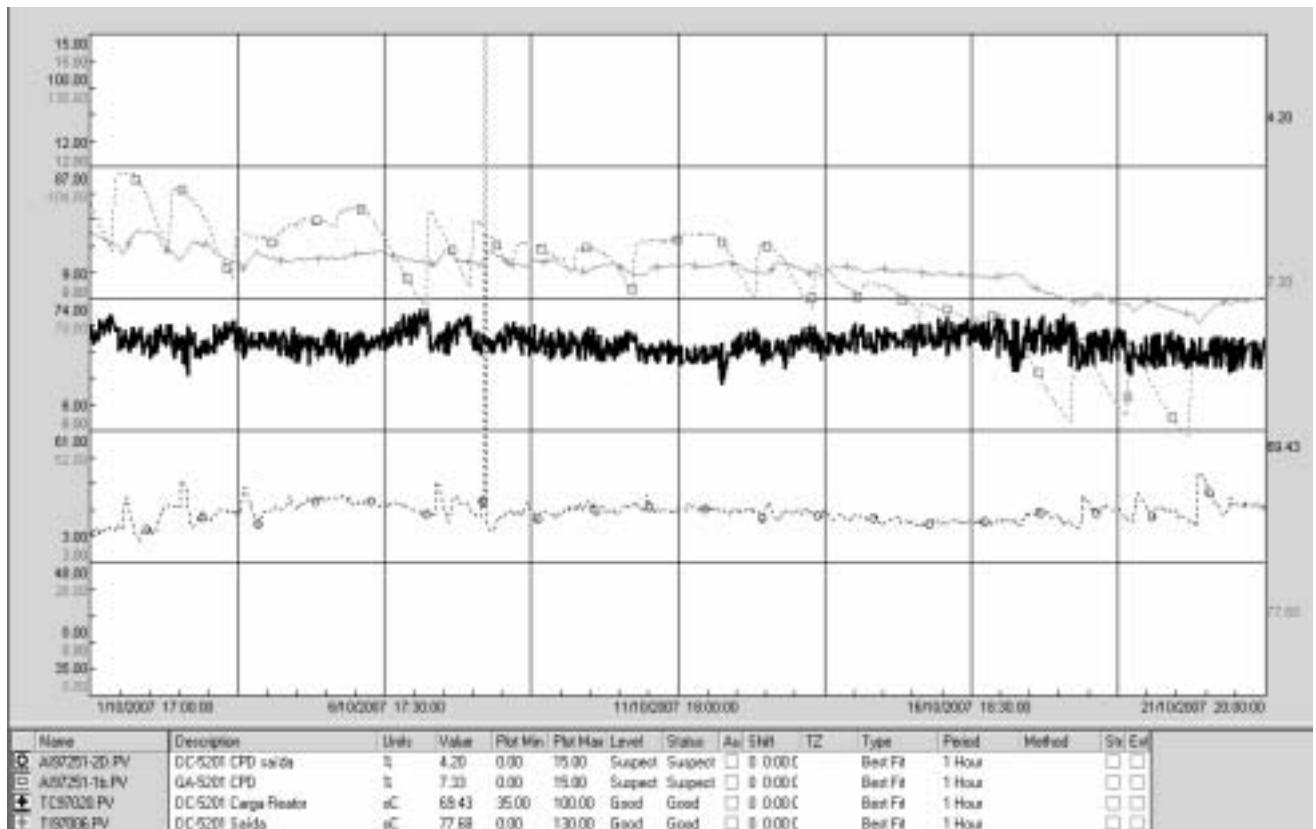
perda de isopreno no reator; contudo, também significa em maior perda de isopreno na seção de extração e menor produção de DCPD. Portanto, o trabalho conjunto dos controladores implica no ponto ótimo global.

## 5 DESEMPENHO DO NOVO CONTROLADOR

Verificou-se um excelente desempenho do controlador em operação gerando uma operação mais estável, com um fator de utilização próximo de 100% do tempo disponível. Com a nova estratégia de controle, é possível operar o reator integralmente na temperatura ótima de entrada, objetivando a mínima perda possível de isopreno no reator. Foi comparado o comportamento do reator em dois momentos distintos: o primeiro sem a nova estratégia de controle implantada (FIGURA 6.1) e o segundo com a nova estratégia em operação (FIGURA 6.2). Constatou-se que o operador mudava com bastante frequência a temperatura de entrada no reator, implicando em perdas consideráveis de isopreno.



**FIGURA 6.1** – Gráfico de tendência do comportamento do reator antes da implantação da nova estratégia de controle. As variáveis no gráfico: concentração de CPD na saída do reator, concentração de CPD na entrada do reator, temperatura de carga e temperatura de saída.



**FIGURA 6.2** – Gráfico de tendência do comportamento do reator depois da implantação da nova estratégia de controle. As variáveis no gráfico: concentração de CPD na saída do reator, concentração de CPD na entrada do reator, temperatura de carga e temperatura de saída.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia de controle utilizando o DMC como estrutura global de controle, tendo um modelo interno para predição da temperatura e da composição de saída, mostrou-se adequada para o controle do reator de dimerização da unidade de extração de isopreno. Com as equações de predição baseadas numa simulação rigorosa do reator, que foram implementadas no controlador DMC, ficou mais fácil para os operadores determinarem o valor ótimo da concentração de saída do CPD.

O subcontrolador do reator é capaz de interagir com os outros subcontroladores da unidade, podendo minimizar

as perdas globais da unidade, dado que o ótimo local é diferente do ótimo global.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASPENTECH - DMC Plus - Multivariable Predictive Control. **Tutorial**. Aspen Technology, Inc., Houston, USA.

CAMACHO, Oscar; IGLESIAS, Edinzo; VALVERDE, Luís; RIVAS, Francklin. An approach to enhance dynamic matrix control performance. **International Journal of Mathematics and Computers in Simulation**, v. 2, n. 1, p. 81-88, 2008.

CUTLER, C. R.; RAMAKAR, B. L. **Dynamic matrix control**: computer control algorithm. In: PROCEEDINGS OF THE JOINT AUTOMATIC CONTROL CONFERENCE, San Francisco, 1980.

LEVENSPIEL, Octave. **Engenharia das reações químicas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. 2 v.

LEVENSPIEL, O.; BISCHOFF, K. O. Backmixing in the design of chemical reactors. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 51, n. 12, p. 1431-1434, 1959.

MUJA, I.; ANDREESCU, G.; CORCIOVEI, M.; FRATILONIUM, R. Cinetica si termodinamica unor reatti Diels-Alder II: studiul cinetic al reatiei de dimerizare a ciclopentadienei si al reatiilor de codimerizare cyclopentadiena-izopren. **Revista de Chimie**, Bucuresti, v. 26, n. 12, 1975.

REDDY, T. Jithender; AADALEESAN, P.; SAHA, Prabirkumar. Adaptive nonlinear DMC of

hydrodealkylation process using Aspen Engineering Suit. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati, Assam, India. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/120749556/abstract#relatedArticles>>. Aceito para publicação em: 12 maio 2008.

SEIDOV N, M.; KARIROV, R. A.; BAKHSHIZADE, A. A. Dimerization of cyclopentadiene. **Azerb. khim. zhurnal.**, n. 58, p. 81-86, 1964.

TURNBULL, A. G.; HULL H. S. A thermodynamic study of dimerization of cyclopentadiene. **Austr. J. Chem.**, v. 21, n. 7, p. 1789-1797, 1968.

ZHANG, Qi-Zhi; TANG, You-Chun; ZHANG, Wei-Dong. Adaptive dynamic matrix control for network: based control systems with random delays. **Asian Journal of Control**, v. 8, n. 1, p. 45-49, March 2006.

# **Novos Reatores Braskem PVC/BA**

## **MARCELO OLIVEIRA CERQUEIRA**

Engenheiro Químico (UFPE). Diretor industrial da Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

[mcerqueira@braskem.com.br](mailto:mcerqueira@braskem.com.br)

## **LEOPOLDO BRAGA JÚNIOR**

Engenheiro Químico (UFPE). Mestre em Engenharia Química. Responsável por projetos de grande porte na Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

[leopoldo.braga@braskem.com.br](mailto:leopoldo.braga@braskem.com.br)

## **GEORGE BISPO LACERDA**

Engenheiro Químico (UFBA). Mestre em Engenharia de Sistemas Químicos (UFBA). Desde 2000 atua como engenheiro de processo na indústria de termoplásticos.

## **ABELARDO A. DE AZEVEDO JUNIOR**

Engenheiro Químico (UFPE) e Administrador de Empresas (CESMAC), com MBA (FGV) em gestão empresarial. Responsável por engenharia de processos na Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

[abelardo.azevedo@braskem.com.br](mailto:abelardo.azevedo@braskem.com.br)

## **ICARO V. PEPE JUNIOR**

Engenheiro Civil (UFBA) e MBA (FGV) em Gestão Empresarial. Atuou como responsável por gestão de engenharia, planejamento, contratações, construção e montagem de diversos projetos. Coordenador de Empreendimentos DEA da Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

[icaro.junior@braskem.com.br](mailto:icaro.junior@braskem.com.br)

## **SILVANA WEN SHIH LIN**

Engenheira Química (UFBA). Atua na área de processos da planta de PVC/BA da Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem, onde desenvolve projetos de inovações na produção de PVC.

**CERQUEIRA, M. O.; BRAGA JÚNIOR, L.; LACERDA, G. B.; AZEVEDO JUNIOR, A. A. de; PEPE JUNIOR, I. V.; LIN, S. W. S.; PEREIRA, G. R.; PASTORE NETO, F.; PEREIRA, M. B. Novos Reatores Braskem PVC/BA**

### **GERALDO RODRIGUES PEREIRA**

Engenheiro Metalurgista (UFOP). Mestre em Corrosão e Materiais (UFSC). Mestre em Soldagem (UFRJ). Atua na área de Caldeiraria, inspeção de equipamentos e soldagem há 23 anos. Passagens por diversas empresas do Pólo de Camaçari e atualmente na Braskem.

### **FLORENTINO PASTORE NETO**

Engenheiro Químico (UERJ). Foi coordenador de produção de PVC nas plantas de Maceió (AL) e Camaçari (BA). Atua na área de Investimentos Estratégicos da Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

### **MÁRCIO BARRETTO PEREIRA**

Engenheiro Químico (UFBA). Mestre em Engenharia Química (UFBA) e MBA (FGV-EAESP) em Gestão de Negócio. Responsável por produção de MVC na Unidade de Negócios Vinílicos/Braskem.

[marcio.barreto@braskem.com.br](mailto:marcio.barreto@braskem.com.br)

### **Unidade de Negócios Vinílicos - Braskem PVC/BA**

Rua Hidrogênio, 3342 - Pólo Petroquímico de Camaçari - COPEC  
42810-000 - Camaçari - BA - Brasil

Tel. (71) 3413-2720

## **RESUMO**

Foi desenvolvido e implantado um projeto de substituição e manutenção de reatores de polimerização na unidade de produção de PVC da Braskem, em Camaçari (BA), com foco na reposição de equipamentos em final de vida útil por novos equipamentos agregando valor à segurança industrial, produtividade e inovação tecnológica.

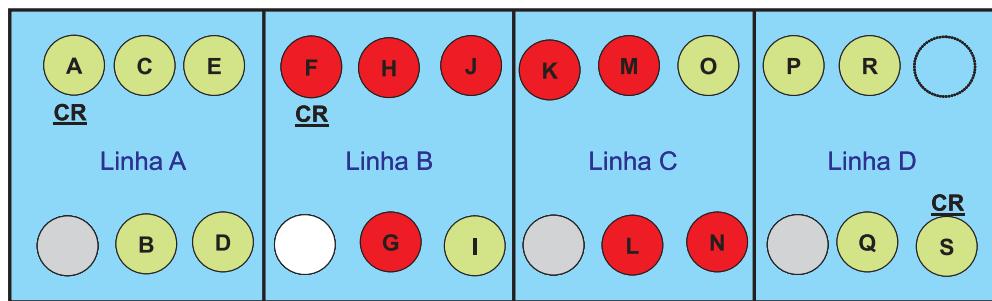
## **PALAVRAS-CHAVE**

Reator. PVC. Segurança. Produtividade. Tecnologia.

## **1 HISTÓRICO**

**E**m meados de 2005, a inspeção do Setor de Manutenção PVC-BA divulgou um relatório identificando as falhas apresentadas pelos reatores de polimerização de monocloreto de vinila - MVC (alguns com 30 anos de operação), na unidade de produção de PVC da Braskem, em Camaçari (BA). A maior vulnerabilidade estrutural dos reatores é a corrosão nas camisas. O tempo recomendado para conclusão dos reparos / substituição dos reatores é de, no máximo, três anos.

Resultado da avaliação da corrosão alveolar das camisas dos reatores:

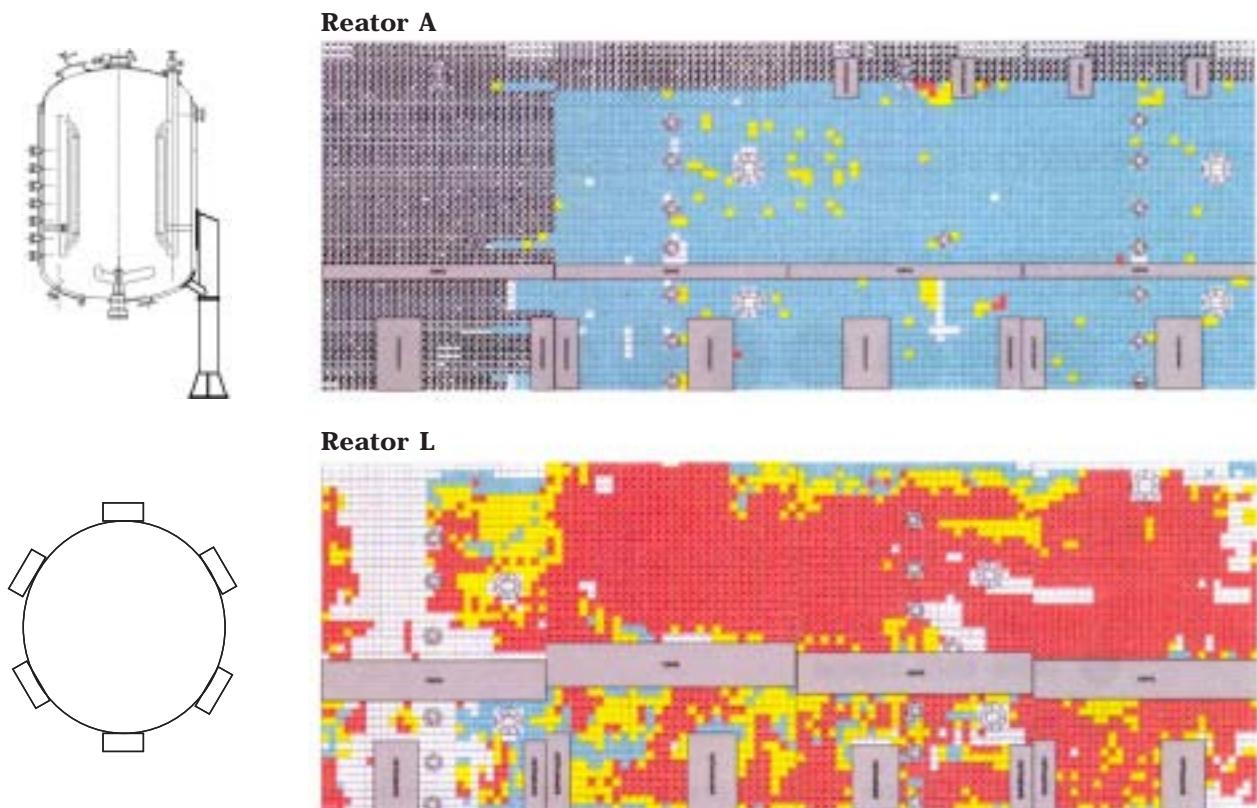


● Pequenos Reparos na Camisa

● Substituição da Camisa

**FIGURA 1.1** – Distribuição dos reatores

Para efeito comparativo ver o resultado de *scan* (técnica usada para verificar a estrutura do metal) de um reator com necessidade de pequenos reparos (reator A) na camisa em relação a outro com necessidade de substituição da camisa (reator L):



**FIGURA 1.2** – Integridade da camisa de refrigeração

## 2 OBJETIVOS

Eliminar as vulnerabilidades de segurança dos reatores, recuperar a capacidade produtiva da unidade e reduzir os custos de manutenção.

## 3 DESCRIPTIVO

Foram avaliadas as seguintes rotas para substituição dos reatores:

- substituição por reatores de grande porte;
- substituição dos reatores por outros de mesmo tamanho que os atuais;
- modificação da configuração da camisa do reator.

O critério utilizado na escolha da melhor rota foi o que propiciasse uma maior segurança dos ativos, produtividade e qualidade similar ou superior a um menor custo.

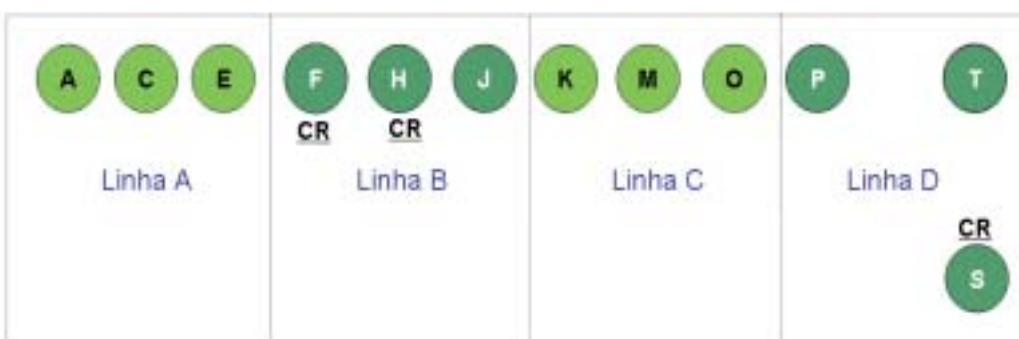
O resultado final das prospecções tecnológicas levou à configuração mostrada na Figura 3.2.

Agosto de 2006:



FIGURA 3.1 – Reatores antes do projeto – camisa tipo jaqueta externa

Novembro de 2008:



- Meia- cana interna
- Meia-cana externa

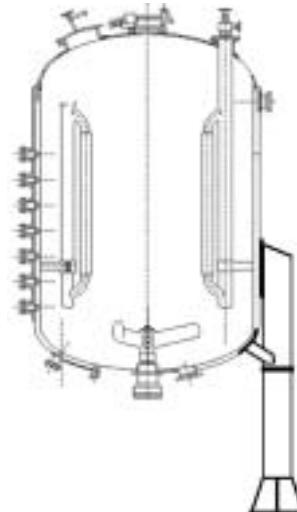
FIGURA 3.2 – Reatores depois do projeto – camisa tipo meia-cana interna e externa

Para as linhas B e D, linhas de produção de resina rígida, a troca de reatores teve por modificação a camisa tipo jaqueta convencional para camisa tipo meia-cana

externa, aumentando a capacidade de troca térmica e elevando a produtividade dos reatores. As Figuras 3.3 e 3.4 ilustram as diferenças entre os reatores citados.

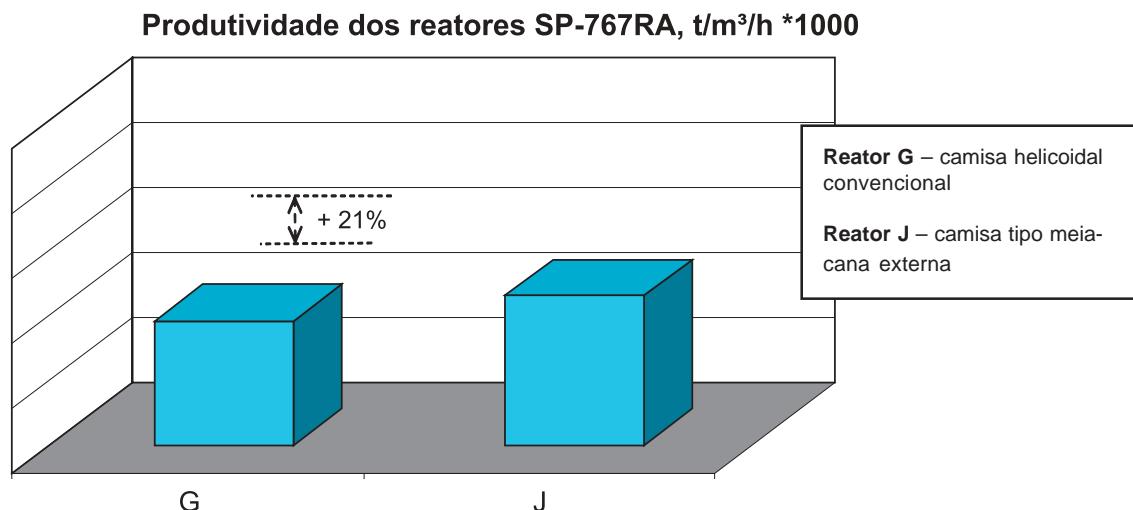


**FIGURA 3.3** – Reator camisa tipo meia-cana externa



**FIGURA 3.4** – Reator camisa tipo jaqueta externa

Na Figura 3.5 é mostrada a elevação de produtividade com uso dos reatores modificados.

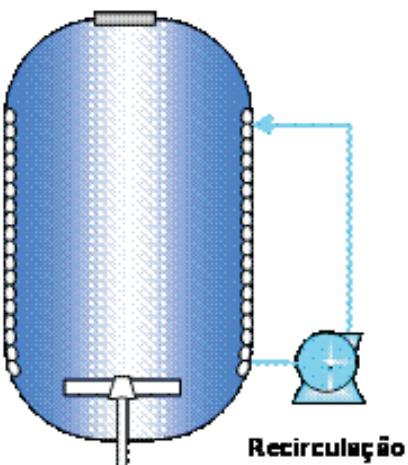


**FIGURA 3.5** – Comparativo da produtividade entre os reatores

Este aumento de produtividade significa um acréscimo de 21% por reator.

Já para as outras linhas de produção (A/C), buscou-se tecnologias que elevam a conversão, melhoram a qualidade e aumentam a continuidade operacional.

Com a nova tecnologia modificou-se a forma de carga convencional para carga aquecida, eliminando o tempo de aquecimento e estresse na camisa devido à injeção de vapor. A camisa do novo reator é do tipo meia-cana interna, com bomba para recircular a água de refrigeração durante a reação por reator, que faz aumentar ainda mais a capacidade de troca térmica, elevando a produtividade (FIGURA 3.6).



**FIGURA 3.6** – Reator camisa tipo meia-cana interna (“inner-jacket”)

Houve diminuição significativa de 68% no tempo de reação e aumento na conversão de 12%.

O aumento de produtividade por reator possibilitou elevar a produção por linha, operando com menos reatores (três reatores contra cinco reatores convencionais).

O fato de se diminuir a quantidade de reatores eleva a segurança operacional e melhora a continuidade na qualidade da resina produzida.

#### **NEW REACTORS BRASKEM PVC/BA**

##### **ABSTRACT**

*It was developed and implemented a project for replacement and maintenance of the polymerization reactors in the Braskem's production unit of PVC, in Camaçari (BA), focusing on replacement of equipment at the end of life by new equipments adding value to industrial safety, productivity and technological innovation.*

##### **KEY WORDS**

*Reactor. PVC. Productivity. Safety. Technology.*

#### **REFERÊNCIA**

**BRASKE. Memorial descritivo:** projeto de troca e substituição de reatores de PVC. Camaçari, BA: Unidade de Negócios Vinílicos, 2006.

# **UTEC® – um Plástico de Engenharia Desenvolvido na Bahia**

**RICARDO BOU RESLAN CALUMBY**

Engenheiro de Materiais formado pela (UFPB). Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais (UFSCar). De 2002 a 2005 atuou como engenheiro de desenvolvimento de materiais na Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica (São José dos Campos-SP). Atua na Braskem desde 2006, na área de Inovação & Tecnologia como engenheiro de desenvolvimento de produto.

[ricardo.calumby@braskem.com.br](mailto:ricardo.calumby@braskem.com.br)

**Braskem S.A. - Unidade PE-2 - Centro de Inovação e Tecnologia**

Rua Hidrogênio, 3520 - Pólo Petroquímico - 42810-000 - Camaçari - BA

## **RESUMO**

UTEC® é o Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular (PEUAPM) desenvolvido pela Braskem em sua fábrica na Bahia, que hoje é a segunda maior produtora mundial deste tipo de material. O UTEC® é uma resina de polietileno linear, produzida com catalisador do tipo Ziegler-Natta, com um peso molecular cerca de 10 vezes maior que um polietileno de alta densidade (PEAD). Devido ao seu peso molecular, na faixa de  $3,0 \times 10^6$  a  $10,0 \times 10^6$  g/mol, apresenta propriedades únicas como elevada resistência ao impacto e ao desgaste por abrasão, e baixíssimo coeficiente de fricção, o que o torna um material autolubrificante. Devido à sua elevada viscosidade do fundido

é, principalmente, processado através de extrusão RAM e moldagem por compressão, que envolve compactação e sinterização do polímero em pó sob temperatura e pressão. Suas excelentes propriedades o classificam como um plástico de engenharia e permitem que possa ser usado nos mais diversos tipos de indústria como na construção civil, de alimentos, bebidas, automotiva, naval, militar, papel e celulose, máquinas agrícolas entre outros.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Braskem. UTEC. PEUAPM. Polietileno. Plástico.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Histórico

Fazendo parte da construção do Pólo Petroquímico de Camaçari na Bahia, a Polialden Petroquímica S.A. foi fundada em 1974 para produção e comercialização de polietileno de alta densidade (PEAD), caracterizando-se dentro do conceito de empresa de *quase-commodities*, ou seja, uma empresa produtora de uma resina termoplástica amplamente utilizada na confecção de embalagens, utilidades domésticas e brinquedos. Não diferente de outras empresas petroquímicas no Brasil, a Polialden teve a Mitsubishi como o sócio estrangeiro do modelo tripartite que trouxe a tecnologia de produção do polietileno de alta densidade (PEAD), já em sua fase de difusão da invenção dos sistemas catalíticos desenvolvidos por Karl Ziegler e Giulio Natta em 1950 [1].

Diferente dos outros casos de empresas petroquímicas brasileiras produtoras de “*quase-commodities*”, onde o suprimento de tecnologia era realizado de forma desvantajosa impedindo o desenvolvimento de uma capacidade tecnológica [2], a Mitsubishi transferiu sua tecnologia desde a produção do catalisador até o produto final. Na maioria das outras empresas, o fornecedor de tecnologia entrega o catalisador já pronto para uso, como uma “caixa preta”, dificultando o aprendizado da produção de catalisadores, etapa importante para entender a tecnologia de produção do produto final.

A Polialden Petroquímica S.A. poderia ser considerada um exemplo típico de dependência tecnológica, porém, a empresa decidiu desenvolver uma estratégia tecnológica criando “[...] uma equipe formal de P&D desde 1982, responsável pelo planejamento estratégico do “negócio” de P&D [...]” e “[...] o foco estratégico competitivo da Polialden é principalmente em novos produtos que tenham maior valor agregado.” [3].

### 1.2 O desenvolvimento do UTEC

Em 1984, a Polialden firmou convênio de cooperação científica e tecnológica com o CENPES – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello da Petrobras – com o objetivo de aprimorar um sistema catalítico para produção de um novo produto: o Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular (PEUAPM ou

UHMWPE – *Ultra High Molecular Weight Polyethylene*), projetando e implantando uma unidade em escala semicomercial para sua produção, nas instalações de Camaçari-BA. Em junho de 1989, deu-se a partida dessa unidade, tendo-se alcançado pleno sucesso na produção do PEUAPM, que começou a ser comercializado sob a marca UTEC®.

Adotou-se como filosofia que essa planta piloto operaria parte de seu tempo na produção do PEUAPM, financiando, com os resultados das vendas, os desenvolvimentos de novos produtos experimentais. Essa estratégia tornou possível o paulatino aprimoramento do processo produtivo da empresa, assim como o desenvolvimento de novas resinas não previamente existentes em seu portfólio de produção.

Sem a parceria do CENPES, a melhoria do processo de produção e da resina UTEC® foi obtida através de um catalisador totalmente desenvolvido e patenteado pela Polialden em 1991. A atualização deste sistema levou à produção de um polímero com boa qualidade disponível no mercado interno e internacional.

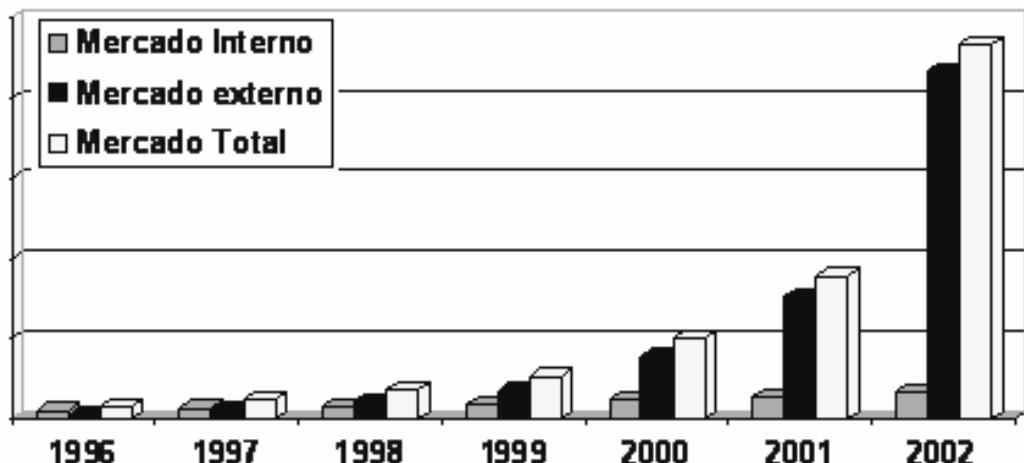
Para que a descoberta do sistema catalítico para produção do PEUAPM se tornasse uma inovação de sucesso era necessário transpor algumas barreiras no processo de difusão desta tecnologia que durou quatro anos. O primeiro deles foi o da produção em escala industrial, quando, a partir de 1995, a equipe de P&D, juntamente com a equipe de produção, iniciou a etapa de desenvolvimento de processo para a produção em escala comercial do UTEC®.

### 1.3 O UTEC ocupando o mercado internacional

A partir de 1997, a Polialden iniciou um investimento para exportação deste produto nos principais mercados transformadores. Sob o aspecto comercial, a concorrência no mercado americano era intensa e, por se tratar de uma resina de alto valor agregado, necessitava-se de uma entrada no mercado sem prejudicar o valor do produto. A área comercial identificou que a Basell, até o momento concorrente da Polialden, estaria terminando a produção de seus produtos de PEUAPM em 2002. Com uma rápida reação, a equipe comercial e de P&D da Polialden iniciou uma proposta junto à Basell

de garantia de continuidade de suprimento de produto aos seus clientes. Para isto, a Polialden teve que criar em tempo hábil novos tipos de resinas UTEC®, ou adaptar os existentes, para atender os mercados onde os produtos atuais não satisfaziam completamente as exigências dos clientes da Basell.

A Figura 1 ilustra a curva de crescimento de vendas desta linha de produtos UTEC®, onde as soluções técnicas, comerciais e logísticas adotadas para o mercado externo levaram a um crescimento de 112% ao ano, indicando que havia capacidade de disputar e de ocupar o lugar da concorrência externa com qualidade e serviço comercial.



**FIGURA 1 – Evolução de vendas do produto UTEC® de 1996 a 2002**

Em 2002, a Polialden Petroquímica S.A. foi integrada à Braskem S.A., e hoje conta com um Centro de Tecnologia e Inovação, em Camaçari-BA, dedicado ao desenvolvimento de catalisadores, processo e produtos de polietileno de ultra-alto peso molecular. A Braskem é, atualmente, a segunda maior fornecedora mundial desta linha de produtos com planos de tornar-se a primeira e consolidar-se como líder tecnológico neste segmento.

#### 1.4 Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular

O Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular (PEUAPM), mais conhecido por UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*), é um polietileno de média densi-

dade produzido a partir do gás eteno, e semelhante aos demais polietilenos devido à sua composição de apenas carbono e hidrogênio. É um polímero semicristalino, de poucas ramificações, com número de insaturações de aproximadamente zero [4] e, segundo a Norma ISO 11541-1, apresenta índice de fluidez menor que 0,1 g/10 min (190°C e 21,6 kg) [5]. Os valores de densidade e cristalinidade dos polietilenos estão representados na Tabela 1.

Uma mudança na quantidade dos elementos químicos do polietileno o transforma em um plástico de engenharia de alto valor e desempenho, podendo apresentar tamanho de cadeia polimérica até 30 vezes maior do que o tamanho das demais resinas [4]. A Tabela 2 apresenta a faixa de peso molecular de algumas poliolefinas.

**TABELA 1** – Densidade e cristalinidade dos polietilenos [4]

<b>Polietilenos</b>	<b>Densidade</b>	<b>Cristalinidade (%)</b>
“VLDPE”	0,860 - 0,910	~10
PEBD	0,910 - 0,925	~ 50
PEMD	0,926 - 0,940	~ 60
PEAD	0,941 - 0,970	~ 70
PEUAPM	~ 0,930	~ 45

**LEGENDA** – VLDPE - polietileno de baixíssima densidade; PEBD - polietileno de baixa densidade; PEMD - polietileno de média densidade; PEAD - polietileno de alta densidade; PEUAPM - polietileno de ultra-alto peso molecular.

**TABELA 2** – Faixa de peso molecular de algumas poliolefinas [4]

<b>Poliolefinas</b>	<b>Peso Molecular</b>
PEAD	50.000 - 500.000 g/mol
PP	100.000 - 1.000.000 g/mol
PEUAPM	3.000.000 - 10.000.000 g/mol

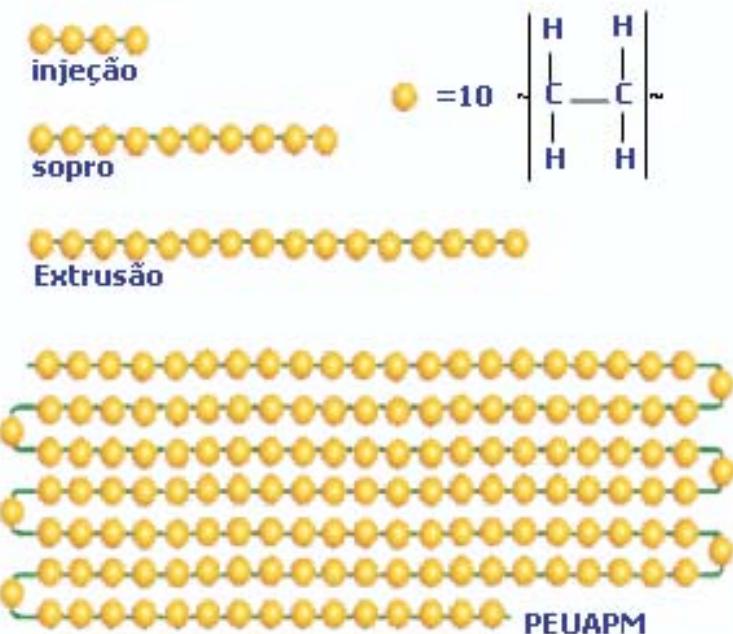
Quanto maior o tamanho da cadeia polimérica de um polietileno, maior o seu peso molecular e, consequentemente, menor o seu Índice de Fluidez (IF, MI ou MFI). O altíssimo peso molecular do PEUAPM, que pode chegar a 10 milhões de g/mol, proporciona índices de fluidez que se aproximam de zero (a 190°C e 21,6 kg), impossibilitando-o de ser processado pelos métodos convencionais para termoplásticos [4]. Entretanto, apresenta excelentes propriedades mecânicas, em que a alta resistência ao desgaste por abrasão, a alta resistência ao impacto e o baixíssimo coeficiente de atrito são destacados como as principais propriedades [6].

Na Figura 2 pode-se fazer uma comparação entre os diferentes tamanhos de cadeia polimérica para os tipos de processamentos usuais do polietileno.

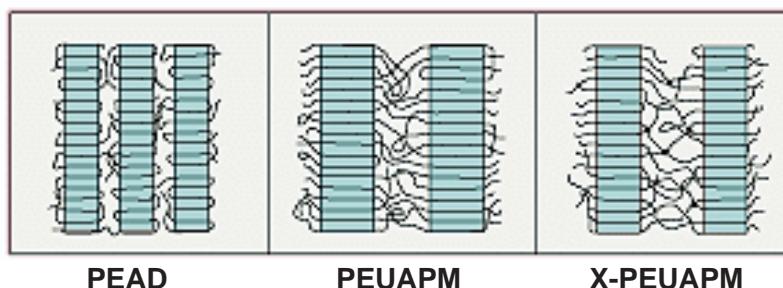
## 2 PROPRIEDADES

### 2.1 Propriedades físicas

O UTEC® possui propriedades bem diferenciadas em relação aos polietilenos convencionais e que o classificam como um plástico de engenharia. Isto se deve à maior quantidade de moléculas de ligação interlamelares, proporcionada pelo seu alto peso molecular, e que ocasiona uma redução do grau de cristalinidade. Com isto, o UTEC® apresenta um grau de cristalinidade médio de 45%, comparado a 70% de cristalinidade do PEAD (polietileno de alta densidade), e ambos com a mesma temperatura de fusão de 133°C [4]. A Figura 3 representa as estruturas de ligação interlamelares dos polietilenos.



**FIGURA 2** – Desenho esquemático comparando o tamanho da molécula de polietileno para injeção, sopro e extrusão com a de PEUAPM



**FIGURA 3** – Comparação entre as estruturas de PE

**LEGENDA** – PEAD - polietileno de alta densidade; PEUAPM - polietileno de ultra-alto peso molecular; X-PEUAPM – polietileno de ultra-alto peso molecular com ligações cruzadas (reticulado).

O UTEC® é produzido e comercializado na forma de pó, em produtos que variam de acordo com o peso molecular e o tamanho médio de partículas. O peso molecular pode ser baixo (3 milhões de g/mol), médio (5 milhões de g/mol) ou alto (7 a 10 milhões de g/mol), e os produtos com estes diferentes pesos moleculares podem ser obtidos com partículas pequenas (diâmetro médio de

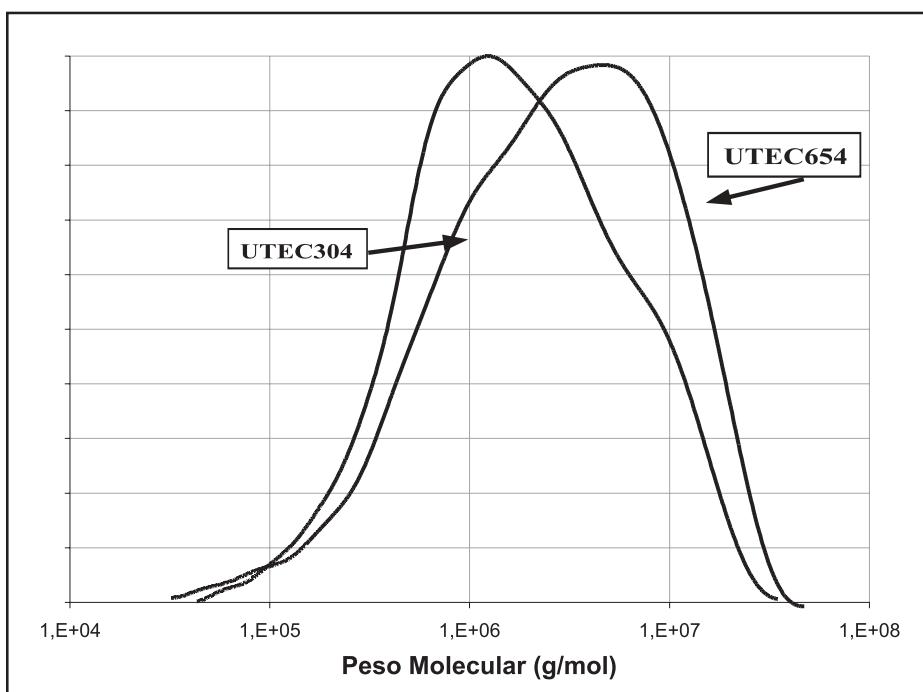
partículas em torno de 130 µm), ou partículas grandes (diâmetro médio de partículas em torno de 190 µm) [7].

Existem diversos métodos de caracterização que podem ser utilizados para medir o peso molecular de polímeros, entretanto, a maioria é muito complicada para ser usada como um controle de qualidade durante a produção do PEUAPM. Neste caso, o método mais usado é o de

viscosimetria, que mede a Viscosidade Intrínseca ou IV do material (ASTM D 4020 ou ISO 1628-3). Entretanto, este método apresenta algumas limitações, principalmente quando se torna necessário correlacionar a estrutura do polímero com suas propriedades mecânicas, pois o IV apresenta apenas o valor médio do peso molecular do material.

Neste caso, o melhor método para se medir a completa distribuição de peso molecular é o GPC - Cromatografia

de Permeação em Gel ou SEC - Cromatografia por Exclusão de Tamanho. O uso desta técnica exige uma preparação especial de amostra e equipamento adequado, diferentemente de outros GPC para PEAD. O laboratório do CTI da Braskem PE-2, em Camaçari, é um dos poucos no mundo a realizar este tipo de análise para o PEUAPM. Na Figura 4 a seguir está uma curva típica de GPC para dois produtos de UTEC®, cuja principal diferença é o peso molecular.



UTECA <sup>®</sup>	Viscosidade intrínseca IV (dl/g)	Peso Molecular ( $\times 10^6$ g/mol)*
UTEC3040	16,2	3,4
UTEC6540	29,2	8,2

NOTA - \* Calculado usando a equação de Margolies.

**FIGURA 4** – Curvas típicas de distribuição de peso molecular (DPM) para a tecnologia de UTEC® dos produtos UTEC3040 e UTEC6540. Na tabela estão apresentados os valores de IV (ASTM D 4020) e peso molecular médio ( $M_w$ ) [7].

Um ensaio alternativo para medição indireta do peso molecular do UTEC® é o ensaio de Tensão Elongacional, mais conhecido por "ZST". Este método é muito utilizado para medição do peso molecular em peças moldadas, devido à dificuldade de dissolução das mesmas, para realização dos métodos padrões como IV e GPC. É um ensaio semelhante ao de fluência, e determina a tensão elongacional como uma característica da viscosidade do fundido, onde é possível correlacionar esta viscosidade com o peso molecular do material. A tensão elongacional é a tensão de tração (força dividida pela área da secção paralela do corpo de prova) requerida para alongar o corpo de prova em 600% num banho de óleo quente a 150°C por 10 minutos [8]. Este método é baseado na premissa de que a tensão elongacional do polímero é uma função do seu peso molecular [4], e segue a norma ISO 11542-2[9].

## 2.2 Cristalinidade e morfologia

O peso molecular e a história térmica a que o PEUAPM foi submetido durante seu processamento influenciam diretamente no comportamento cristalino do material [10]. Como pode ser observado na Tabela 3, o UTEC® recém-polimerizado (antes de qualquer processamento a quente) apresenta temperatura de fusão e cristalinidade ( $T_f_1$  e  $X_c_1$ ) maior que o material após processamento ( $T_f_2$  e  $X_c_2$ ). Estes valores de temperatura de fusão mais altos têm sido atribuídos, por alguns autores, à formação de cristais de cadeias estendidas durante a polimerização. Outros os atribuem à formação de cristais de cadeias dobradas metaestáveis durante este período, as quais se reorganizam antes da fusão.

**TABELA 3** – Caracterização térmica de amostras de PEUAPM [11]

Amostras de UTEC®	IV (dl/g)	$T_f_1$ (°C)	$X_c_1$ (%)	$T_c$ (°C)	$T_f_2$ (°C)	$X_c_2$ (%)
A	19,5	142	74	117	133	57
B	39,7	143	73	119	135	50

**LEGENDA** –  $T_f$  - temperatura de fusão cristalina; IV - Viscosidade Intrínseca;  
 $T_c$  - Temperatura de cristalização;  $X_c$  - grau de cristalinidade.

Depois da fusão e recristalização, a densidade de emaranhados do polímero aumenta e, como consequência, a mobilidade das cadeias diminui dificultando a cristalização e o engrossamento lamelar, dando origem a uma morfologia diferente.

As condições de polimerização têm grande influência na morfologia e nas propriedades do UTEC®. O tipo de morfologia mostrada na Figura 5a, com nódulos ligados através de micro-fibrilas, é geralmente observado em processos de polimerização com alta atividade catalítica. Atividades catalíticas mais baixas favorecem a formação da morfologia mostrada na Figura 5b [11].

## 2.3 Propriedades Mecânicas

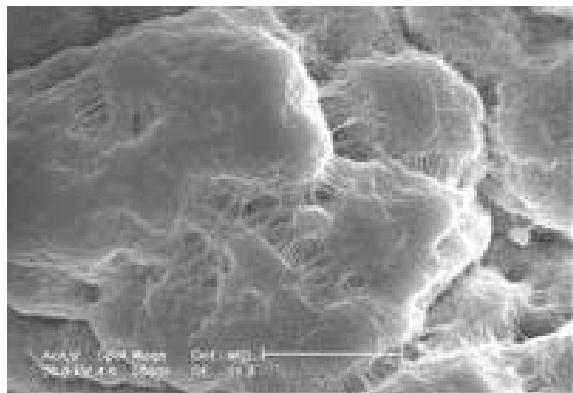
A longa cadeia molecular, a média densidade e a ausência de ramificações, conferem ao UTEC® as seguintes propriedades mecânicas marcantes: elevada resistência ao impacto, elevada resistência ao desgaste por abrasão e baixíssimo coeficiente de fricção [12].

### 2.3.1 Resistência ao impacto Charpy

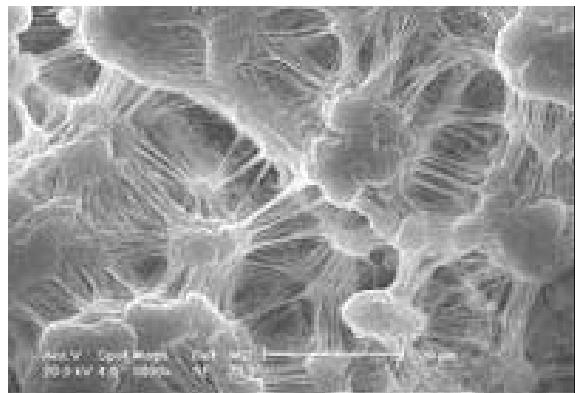
Uma importante propriedade do UTEC® é a sua elevada resistência ao impacto quando comparado com outros materiais (FIGURA 6). No teste de impacto IZOD,

de acordo com a norma ASTM D 256, a amostra de UTEC® simplesmente não quebra, impossibilitando a medida desta propriedade. Por esta razão, torna-se ne-

cessário produzir dois pontos frágeis (dois entalhes) na peça a ser testada, conforme descrito na norma ISO 11542-2 [9].

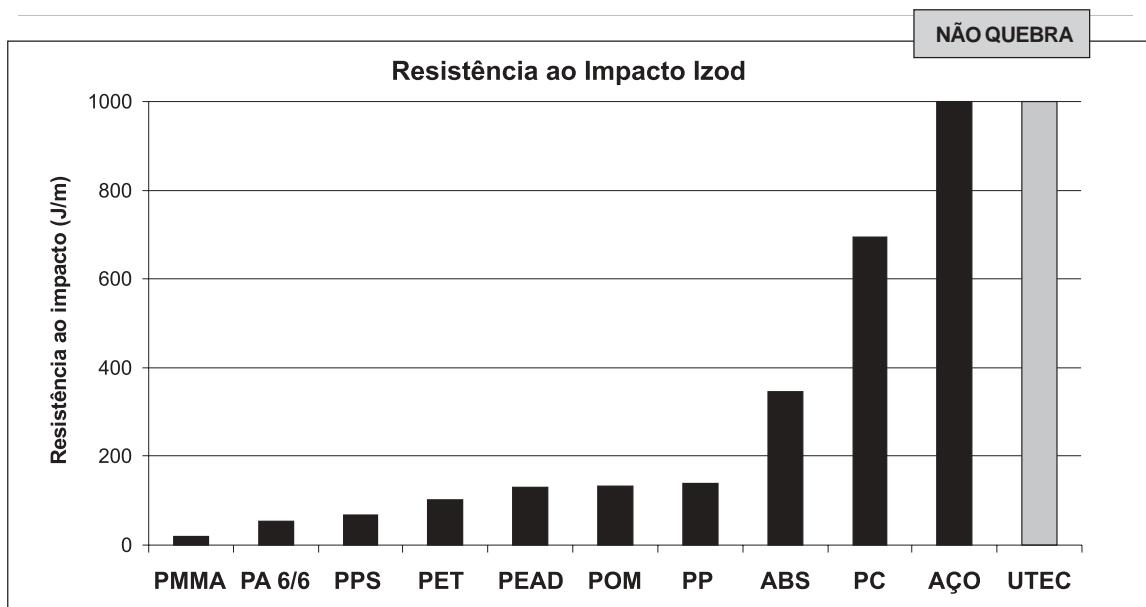


(a)



(b)

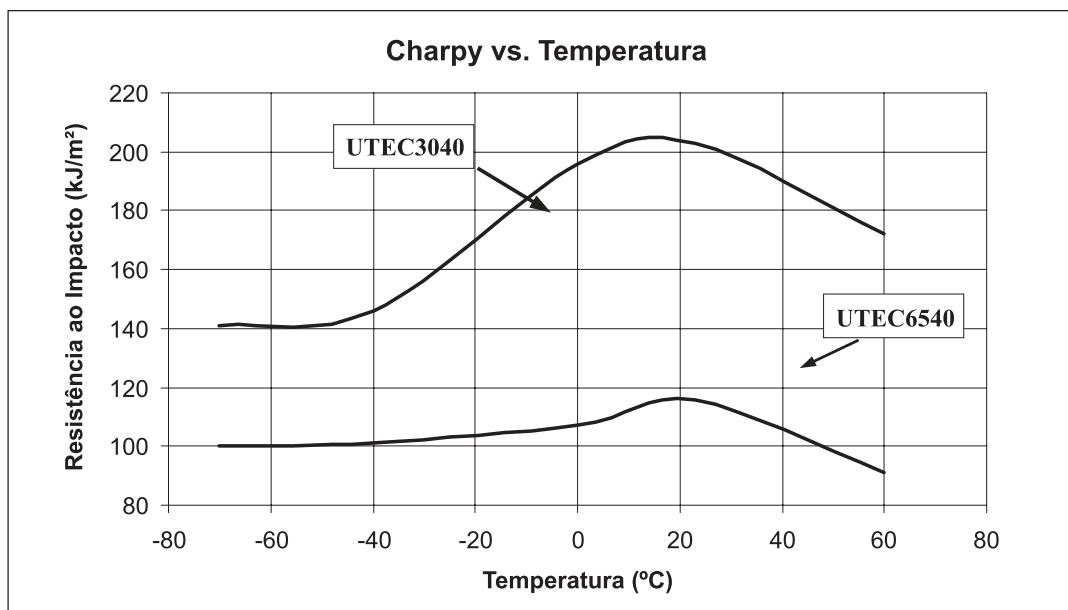
**FIGURA 5** – Micrografias obtidas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com aumento de 3.000 vezes, mostrando morfologia típica das partículas do UTEC® [11]



**FIGURA 6** – Resistência ao impacto (ASTM D 256 – IZOD mono entalhado): UTEC® versus outros materiais [7, 13]

Mesmo em baixíssimas temperaturas, o UTEC® mantém sua excelente propriedade de resistência ao impacto, o que o torna adequado para aplicações que requeiram uso contínuo em baixas temperaturas. A Figura 7 apresenta duas curvas de produtos com diferentes pesos moleculares em torno de 3 e 8 milhões de g/mol para o UTEC3040 e UTEC6540, respectivamente.

Observa-se que o UTEC3040 apresenta uma resistência ao impacto Charpy superior ao UTEC6540, principalmente devido à diferença de peso molecular, ou seja, com um maior peso molecular tem-se um maior número de pontos de ligação entre os emaranhados das moléculas, o que gera maior fragilidade do material.



**FIGURA 7** – UTEC3040 (PM  $\sim 3 \times 10^6$  g/mol) e UTEC6540 (PM  $\sim 8 \times 10^6$  g/mol) – resistência ao impacto Charpy (duplo-entalhe) em função da temperatura, medido de acordo com a norma ISO 11542-2 [7, 9]

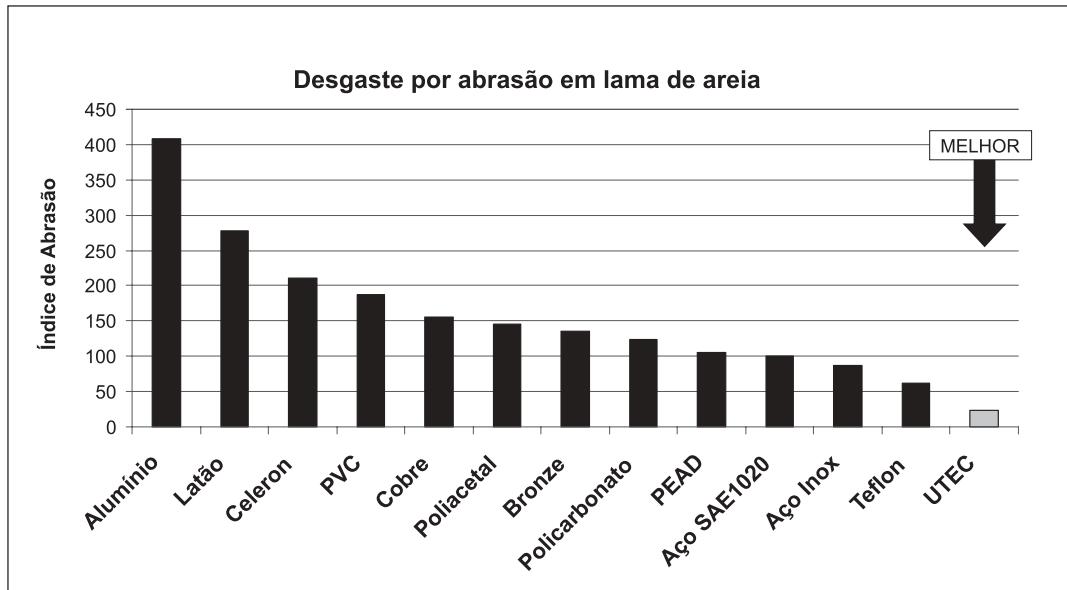
### 2.3.2 Resistência ao desgaste por abrasão

Outra importante propriedade do UTEC® é sua resistência ao desgaste por abrasão. A Figura 8 compara o desgaste de uma peça de UTEC® em comparação com outros materiais, onde é possível observar que sua resistência ao desgaste é superior a vários outros materiais, inclusive ao aço inoxidável, ou seja, o índice de abrasão é menor.

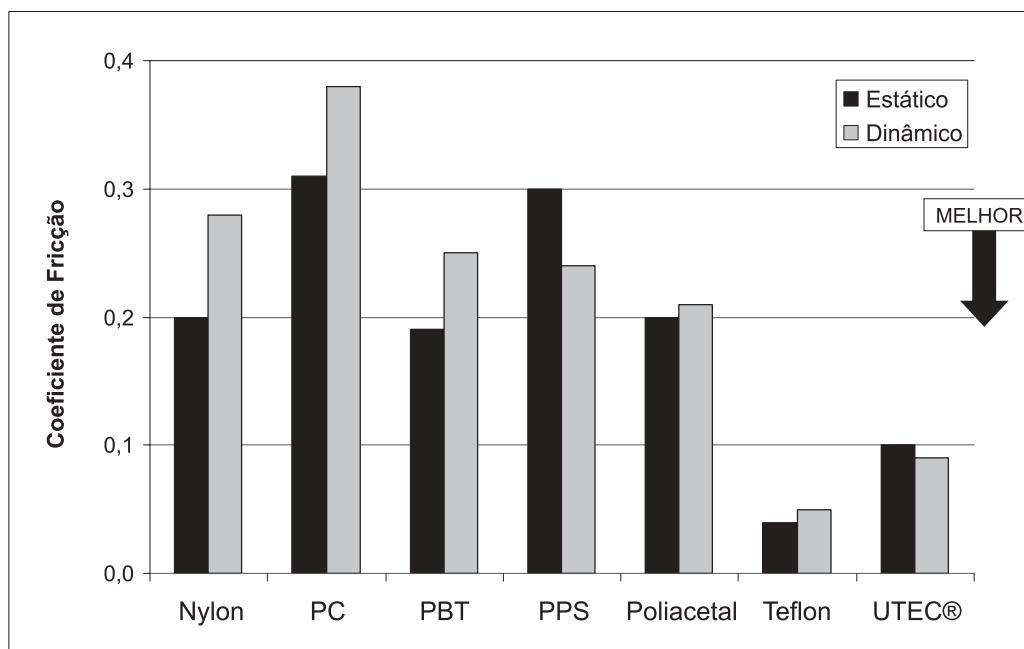
Esta característica é muito importante em aplicações nas quais o UTEC® pode substituir ou revestir metal onde é necessária uma elevada resistência ao desgaste. Neste caso o UTEC® ainda apresenta a vantagem de ser um material mais leve que o metal.

### 2.3.3 Coeficiente de fricção

O UTEC® é um material muito utilizado em aplicações onde se tem movimento e se requer um “escorregamento” entre as peças. Comparado com outros materiais, o UTEC® apresenta excelente desempenho devido ao seu baixíssimo coeficiente de fricção, atuando inclusive, como um material autolubrificante (FIGURA 9). Na indústria de alimentos, existe uma grande vantagem ao utilizar-se perfis de UTEC® em peças de máquinas onde há movimento, pois é possível evitar o uso de graxa que pode contaminar a produção.



**FIGURA 8** – Resistência ao desgaste relativa do UTEC® em comparação com diversos outros materiais; o Aço SAE1020 é usado como referência (valor = 100). Método de lama de areia desenvolvido pela Braskem S.A. (valor menor = menor desgaste).



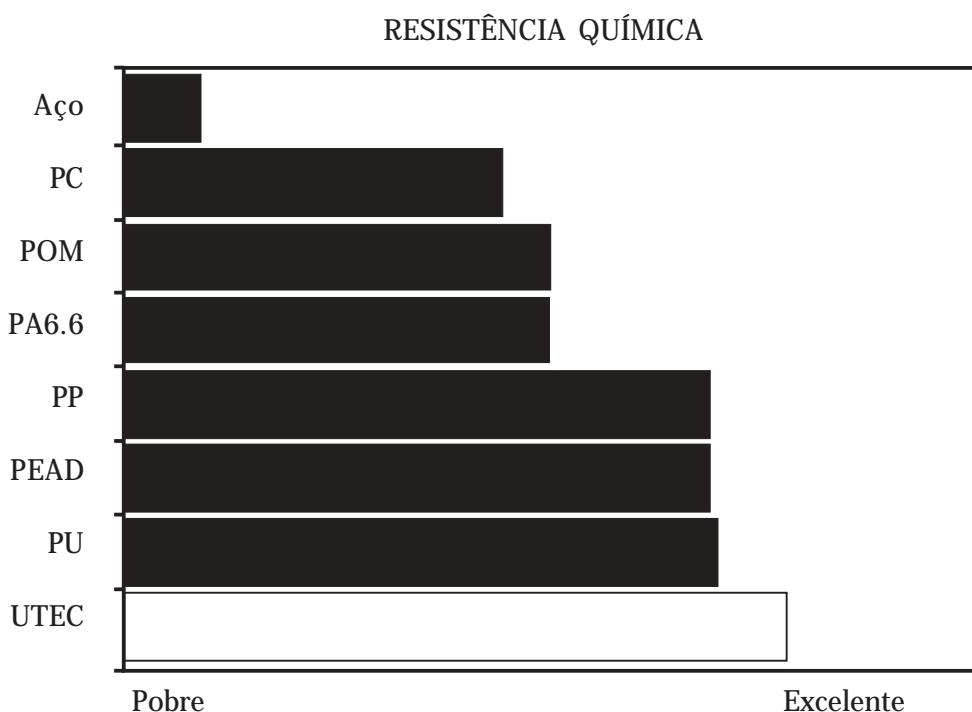
**FIGURA 9** – Coeficiente de Fricção Estático e Dinâmico do UTEC® em comparação com outros materiais [14]

Existem outras aplicações em que se tira vantagem dessa propriedade do UTEC® assim como da sua resistência ao desgaste por abrasão como, por exemplo, em revestimentos de caminhões na construção civil, onde o uso do UTEC® resulta em maior produtividade durante a descarga.

À medida que se aumenta o peso molecular do UTEC®, melhora-se a resistência ao desgaste por abrasão, a resistência do fundido, a elasticidade, a tensão e o alongamento na ruptura, e a resistência ao intemperismo [12].

Entretanto, diminui a resistência ao impacto e dificulta a extensibilidade do fundido e a sua processabilidade.

Além destas, outras propriedades se destacam no UTEC®, como alta resistência química e ao *stress cracking*, alta resistência à corrosão, isolamento acústico, neutralidade química e fisiológica (aplicações em contato com alimentos), manutenção das propriedades a baixas temperaturas e não absorção de umidade [4]. A Figura 10 representa a propriedade de resistência química do UTEC® comparada com diferentes materiais.



**FIGURA 10** – Alta resistência química do UTEC® comparada com outros materiais [4]

O UTEC® é um material polimérico quase totalmente inerte, o que faz com que seja indicado para uso em praticamente todos os tipos de ambientes agressivos ou corrosivos sob temperaturas moderadas. Mesmo em temperaturas elevadas, só é atacado por

solventes aromáticos ou halogenados e por oxidantes fortes, como ácido nítrico [12], mas não se recomenda sua exposição contínua a temperaturas acima de 90°C, sob o risco de perda de propriedades [4].

### 3 PROCESSAMENTO

O altíssimo peso molecular do UTEC® proporciona a este polímero uma viscosidade no estado fundido tão alta, que seu índice de fluidez medido a 190°C com uma carga de 21,6 kg se aproxima de zero, impossibilitando o seu processamento por métodos convencionais de injeção, sopro ou extrusão [12], ou seja, este material não escoa mesmo quando submetido acima da temperatura de fusão. Portanto, são necessárias técnicas especiais de processamento, como extrusão RAM ou moldagem por compressão a quente, para produção de semi-acabados em forma de chapas ou perfis; calandragem, para produção de separadores de bateria (lâminas ou filmes); fiação em gel (*gel-spinning*), para produção de fibras de alto desempenho; e sinterização de peças porosas, para produção de filtros.

A Extrusão RAM é um processo de sinterização do pó para formar um perfil maciço e contínuo. Diferentemente da extrusão convencional, em que o transporte de material é feito por uma rosca sem fim, a extrusão RAM é um processo *plug flow*, ou seja, em batelada sem cisalhamento e mistura, em que o material particulado é alimentado a uma matriz alongada enquanto um pistão compatível com o contorno da cavidade da matriz percorre um trajeto de ida e volta na zona de alimentação. Neste trajeto dá-se a compactação do pó e a transferência de calor para o polímero, ocorrendo a sinterização para, em seguida, o extrudado passar pelo resfriamento [4].

A moldagem por compressão a quente é um processo de compactação do pó em um molde através de uma prensa hidráulica aquecida. A altura de preenchimento do pó no molde deve ser 2 a 2,5 vezes a espessura da chapa, e o tempo de sinterização geralmente é semelhante aos medidos em Extrusão RAM [4]. Calumby *et al.* [16] e Parasniss [17] realizaram estudos sobre a influência dos parâmetros da moldagem por compressão nas propriedades de placas processadas. O resultado da variação da temperatura de moldagem, da taxa de resfriamento, da pressão de moldagem, e da pressão de resfriamento mostrou que as propriedades físicas e mecânicas do material são bastante dependentes destes parâmetros [16, 17].

Os semi-acabados, tarugo e placa, processados por extrusão RAM e moldagem por compressão, respectiva-

mente, são posteriormente submetidos aos processos de usinagem por torno, fresa ou plaina, ou corte por serra ou guilhotina para obtenção da peça final [4].

### 4 APLICAÇÕES

Devido às suas excelentes propriedades físicas e mecânicas, o UTEC® tem sido amplamente utilizado nas mais diversas áreas da indústria, conforme descrito a seguir.

#### 4.1 Revestimentos

A utilização em revestimentos é uma das maiores aplicações desse tipo de material. As principais indústrias usuárias destes revestimentos são:

- Indústria Mineradora: que trabalha com a manipulação de materiais altamente abrasivos e com alto grau de aderência a caçambas e pás carregadoras;
- Indústria de Construção Civil: que manipula grandes volumes de solo e insumos para construção como britas, cimento, areia, etc., sendo estes materiais altamente abrasivos, além de apresentarem facilidade de aderência nas paredes dos equipamentos.
- Indústria Agrícola: que transporta e manipula grãos, causando altos níveis de desgaste em caminhões e calhas transportadoras.

Buscando otimizar seus processos, estas empresas utilizam o UTEC® para revestimento de maquinário, equipamentos agrícolas, roletes para esteiras transportadoras, revestimento de silos, chutes e moegas, pás carregadoras e caçambas, como mostrado na Figura 11. As principais vantagens são: o aumento da vida útil dos equipamentos devido à alta resistência ao desgaste por abrasão; o fluxo de material facilitado devido ao seu baixíssimo coeficiente de atrito e às suas propriedades antiaderentes: diminuição significativa no tempo de descarga dos silos, moegas, balanças de concreto e pás carregadoras; redução de acidentes com tombamentos de caçambas; facilidade na operação de lavagem dos equipamentos (quando aplicável) e um aumento da produtividade de colheita devido à melhor operação de sensores de corte.



**FIGURA 11** – Revestimento de UTEC® em caçamba e máquina agrícola [6, 7]

## 4.2 Indústria Alimentícia

A maior importância da aplicação do UTEC® neste segmento é a substituição do metal em peças e equipamentos que manuseiam alimentos, pois é eliminada a utilização de graxas para lubrificação daqueles, diminuindo uma possível contaminação dos alimentos. Um exemplo de aplicação é em tábuas e mesas de corte, onde há possibilidade de aditivação com compostos antimicrobianos (bastante desejáveis nesta indústria), maior durabilidade devido à alta resistência a abrasão e impacto no manuseio de produtos com ossos e grandes volumes.

## 4.3 Indústria de Bebidas

As principais aplicações são em guias de corrente, roscas sem fim, estrelas, guias de proteção laterais em esteiras, e roletes que não necessitam de rolamento. Neste caso, as principais vantagens são: redução do atrito e do ruído; isenção de lubrificação (mantendo os equipamentos isentos de graxas); leveza em relação aos perfis de aço e consequente prolongamento da vida útil de esteiras, motores e correntes.

## 4.4 Indústria Naval

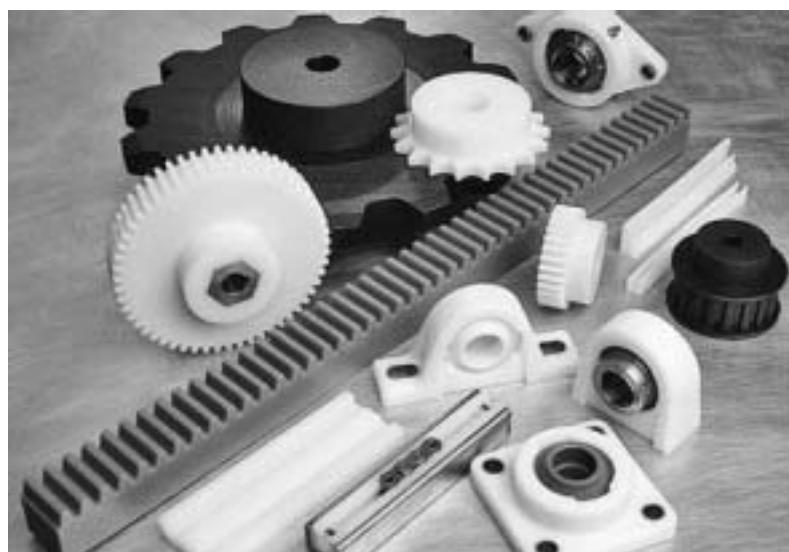
O UTEC® é muito utilizado em chapas para construção de defensas marítimas, protegendo o cais dos

choques fortes dos navios, como também no casco dos navios. Em decks e pisos, pois não sofre corrosão e pode ser facilmente aplicado em rampas e escadas que ficam constantemente molhadas. A propriedade antiderrapante do UTEC® é assegurada pela adição de grãos de areia no momento da prensagem das chapas.

## 4.5 Outras aplicações

O UTEC® apresenta diversas outras aplicações que abrangem indústrias de papel e celulose, em tampas de caixa de sucção e réguas, devido ao alto grau de abrasividade da pasta de celulose; automobilística, auxiliando no amortecimento do impacto e dificultando a quebra dos componentes de molas; na fabricação de rolamentos plásticos, raspadores, tubos, bombas, perfis e peças técnicas. A Figura 12 ilustra diversos tipos de peças técnicas de UTEC®.

O UTEC® é também utilizado em algumas aplicações especiais, cujos requisitos técnicos são muito mais específicos e exigentes, como em: fibras de alto desempenho para fabricação de cordas de alta resistência e de tecidos para proteção balística; peças para equipamentos de esporte e lazer de inverno (baixas temperaturas, ex: *snowmobile*); filtros e peças porosas, dentre inúmeras outras aplicações [4,6,7].



**FIGURA 12** – Diversas peças técnicas de UTEC® (usinadas ou fabricadas por moldagem por compressão direta) [6]

## 5 CONCLUSÕES

O mercado de Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular está em crescente avanço devido às suas inúmeras aplicações em diferentes setores da indústria. Há um constante estudo para desenvolvimento de novos processos de produção, bem como do aprimoramento das propriedades do UTEC® por meio do uso de aditivos ou com o desenvolvimento de novos produtos a partir de diferentes tecnologias de polimerização.

Pesquisas recentes mostram a modificação de processabilidade e propriedades, através de aditivos à base de ceras e nanocompósito, aumentando ainda mais o campo de aplicação deste plástico de engenharia.

### **UTECH® AN ENGINEERING PLASTIC DEVELOPED IN BAHIA**

#### **ABSTRACT**

*UTECH® is the Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) developed by Braskem S.A. in its Bahia site, which today is the second world producer of this kind of material. UTECH® it is a linear, Ziegler-Natta type catalyst, polyethylene resin with a molecular weight about 10 times higher than high density polyethylene (HDPE). Because its molecular weight is ranged from 3,0x10<sup>6</sup> to 10,0x10<sup>6</sup> g/mol, the material has several unique properties as high abrasion resistance and impact strength and low coefficient of friction, what makes it a self-lubricating material. Due to its high melt viscosity is mainly processed by RAM extrusion and compression molding which involve compaction and sintering of the polymeric powder under pressure and temperature. Because of its outstanding properties, it is classified as an engineering plastic and is widely used in different kinds of industry as construction, food, beverage, agriculture machines, automobile, naval, military, cellulose and paper among others.*

#### **KEY WORDS**

*Braskem. UTEC. UHMWPE. Polyethylene. Plastic.*

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] FIALHO, B. C.; HASENCLEVER, L.; HEMAIS, C. A. Punctuated equilibrium and technological innovation in the polymer industry. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 2, p. 309-328, jul./dez. 2003.

[2] TEIXEIRA, F. **The political economy of technological learning in the Brazilian petrochemical industry**. Tese (Doutorado) - University of Sussex, Brighton, UK, 1985.

[3] SANTANA, L. M.; HASENCLEVER, L.; MELLO, J. M. C. Capacitação tecnológica e competitividade na petroquímica brasileira nos anos 1990: o caso de Camaçari-BA. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 1, p. 147-177, jan./jun. 2003.

[4] Relatórios e boletins técnicos da Braskem S.A.

[5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11542-1:2001**: plastics: ultra-high-molecular-weight polyethylene (PE-UHMW) molding and extrusion materials: part 1: designation system and basis for specifications. Geneva, 2001.

[6] BRASKEM. **UTECH® Polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMW)**. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/utec>>. Acesso em: 20-21 jun. 2008.

[7] Catálogo de produtos UTEC® (Braskem S.A.).

[8] SANTOS, J. P.; BITTENCOURT, B. A.; CALUMBY, R. B. **Polietileno de ultra-alto peso molecular**: apresentação da técnica de ensaio de tensão elongacional (ZST). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9., 2007, Campina Grande. Campina Grande: Associação Brasileira de Polímeros, 2007.

[9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11542-2: 1998**: plastics: ultra-high-molecular-weight polyethylene (PE-UHMW) molding and extrusion materials: part 2: preparation of test specimens and determination of properties. Geneva, 1998.

[10] LI, S.; BURSTAIN A. H. Current concepts review ultra high molecular weight polyethylene, the material and its use in total joint implants. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, Needham, v. 76-A, n. 7, p. 1080-1090, July 1994.

[11] SIMANKE, A. G. UHMWPE: structures, properties and applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MACROMOLECULES, 41<sup>st</sup>, 2006, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IUPAC, 2006.

- [12] COUTINHO, F M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 1-13, jan./mar. 2003.
- [13] HARPER, Charles A. **Modern plastics handbook**. Columbus, USA: McGraw-Hill Professional, 1999.
- [14] CRAWFORD, R. J. **Plastics engineering**. 3<sup>rd</sup> edition. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 1998. 352 p.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4020-05**: standard specification for ultra-high-molecular-weight polyethylene molding and extrusion materials. Conshohocken, USA, 2005.
- [16] CALUMBY, R. *et al.* UHMWPE: effect of compression molding processing parameters on sheet properties. In: THE POLYMER PROCESSING SOCIETY 23<sup>RD</sup> ANNUAL MEETING (PPS-23), 2007, Salvador. **Proceedings**... Salvador: Polymer Processing Society, 2007.
- [17] PARASNIS, N. C. **Compression molding simulation of ultra high molecular polyethylene**. Thesis, PhD – Purdue University Graduate School, USA, 1998.

# **Metodologia Teclim e o Projeto EcoBraskem: Otimização Ambiental do Uso da Água e Geração de Efluentes**

## **ASHER KIPERSTOK**

PhD em Engenharia Química, Tecnologias Ambientais. Prof. Associado da Escola Politécnica/UFBA-Deptº Eng. Ambiental. Coordenador da Rede TECLIM.

[asher@ufba.br](mailto:asher@ufba.br)

## **RICARDO KALID**

Doutor em Engenharia Química. Prof. Adjunto da Escola Politécnica/UFBA-Deptº Eng. Química.  
Vice-coordenador da Rede TECLIM.

## **EMERSON SALES**

Doutor em Ciências /Engenharia Química. Prof. Associado do Instituto de Química (UFBA).  
Pesquisador da Rede TECLIM.

## **KARLA ESQUERRE**

Pós-doutora em Engenharia Sócio-Ambiental. Pesquisadora da Rede TECLIM.

## **LEONARDO SOUZA**

Mestrando em Engenharia Química (UFBA). Pesquisador da Rede TECLIM.

## **MARIO CESAR MATTOS**

Engenheiro Químico (UFBA). Pesquisador da Rede TECLIM.

## **ELICELMA CARVALHO**

Geógrafa (Universidade Católica do Salvador). Pesquisadora da Rede TECLIM.

## **LARA TEIXEIRA**

Estudante de Engenharia Química (UFBA). Bolsista de Iniciação Científica da Rede TECLIM.

KIPERSTOK, A.; KALID, R.; SALES, E.; ESQUERRE, K.; SOUZA, L.; MATTOS, M. C.; CARVALHO, E.; TEIXEIRA, L.; BRAGA, B.; ASSIS, B.; SILVA, S.; MENDES, C.; PIRES, V. M.; MOCOCAIM, F.; HORTÉLIO, S.; ANDRADE, S. **Metodologia Teclim e o Projeto EcoBraskem: Otimização Ambiental do Uso da Água e Geração de Efluentes**

### BÁRBARA BRAGA

Estudante de Engenharia Química (UFBA). Bolsista de Iniciação Científica da Rede TECLIM.

### BRUNO ASSIS

Estudante de Engenharia Química (UFBA)

### SAMARA SILVA

Engenheira Sanitarista (UFBA).

### CARLOS MENDES

Estudante de Engenharia Ambiental (FTC). Bolsista de Iniciação Científica da Rede TECLIM.

### Universidade Federal da Bahia (UFBA) - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Ambiental - TECLIM

Rua Aristides Novis nº 02, Federação - 40210-630 – Salvador - Bahia - Brasil.

Tel.: + 55(71)32354436 – Fax: + 55(71)32839892

### VICTOR MATTA PIRES

Mestre em Engenharia Química (UNICAMP).

Engenheiro de Tecnologia de Processos da Unidade de Insumos Básicos da Braskem.

[victor.mattapires@braskem.com.br](mailto:victor.mattapires@braskem.com.br)

### FERNANDO MOCOCAIN

Técnico de Supervisão e Operação (Universidad de Concepción).

Supervisor de Operações da Unidade de Insumos Básicos da Braskem.

### SÉRGIO HORTÉLIO

Engenheiro Químico (UFBA). Coordenador de Meio Ambiente da  
Unidade de Insumos Básicos da Braskem.

### SAMARA ANDRADE

Engenheira de Produção Química (FTC-BA). Engenheira de Meio Ambiente da  
Unidade de Insumos Básicos da Braskem.

### Braskem S.A. - Unidade de Insumos Básicos (UNIB)

Rua Eteno, 1561 - Pólo Industrial de Camaçari - Camaçari - BA

## RESUMO

À luz de conceitos de produção limpa, uma metodologia para minimização do uso da água e geração de efluentes foi desenvolvida e é consolidada através de projetos cooperativos entre a Rede de Tecnologias Limpas da Bahia (Teclim) da UFBA e indústrias localizadas no Pólo Industrial de Camaçari. Neste trabalho, são apresentados os resultados do Projeto EcoBraskem no que se refere aos estudos relacionados à minimização do uso da água e da geração de efluentes da Unidade de Insumos Básicos (UNIB) da Braskem, localizada no Pólo Industrial de Camaçari, Bahia, Brasil. Este projeto, desenvolvido pela Rede Teclim e pela Braskem/UNIB inclui, dentre outros, o desenvolvimento do balanço hídrico da empresa, estudos de redução de geração de efluentes e reúso de água dentro das unidades de produção, e a avaliação do potencial hídrico de água contaminada captada nos sistemas de captação de efluentes inorgânicos (SN) e orgânicos (SO) do Pólo. Estima-se que a implementação destes estudos possibilite a redução de, aproximadamente, 1.400 m<sup>3</sup>/h de captação de água dos mananciais da região, 65 m<sup>3</sup>/h em geração de efluentes da UNIB e, no mínimo, 1.200 m<sup>3</sup>/h de bombeamento de água contaminada do Pólo. Ressalta-se, ainda, que as atividades do Projeto EcoBraskem na área de produção, juntamente com outras ações da empresa, permitiram uma redução na geração de efluentes de, aproximadamente, 250 m<sup>3</sup>/h desde o início do projeto.

## PALAVRAS-CHAVE

Uso industrial da água. Geração de efluentes. Reúso de água. Tecnologias limpas.

## 1 INTRODUÇÃO

**A** atual necessidade de utilização da água industrial e de energia de forma mais racional nos tem levado a repensar projetos já consagrados que, em função do seu sucesso operacional, não haviam sido antes questionados em termos de otimização do uso dos recursos naturais (MARINHO; KIPERSTOK, 2001). Neste contexto, está a Unidade de Insumos Básicos (UNIB) da Braskem maior unidade do setor petroquímico de primeira geração da América Latina, instalada no Pólo Industrial de Camaçari - Bahia. Desde abril de 2002, a Braskem/UNIB vem desenvolvendo um amplo projeto que teve como objetivo inicial a otimização do uso da água e, desde 2005, passou a contemplar estudos de energia.

O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia e resultados do projeto EcoBraskem (Otimização Ambiental da UNIB/Braskem), desenvolvido de 2005 a 2007, com foco nos estudos de otimização quanto ao uso da água. Portanto, são aqui detalhados alguns dos estudos de reúso e aproveitamento de água na planta industrial que foram desenvolvidos com sucesso, a saber: (a) conhecimento das correntes de água nas unidades de processo via balanço hídrico; (b) estudos de redução e reúso de água dentro das unidades de produção e (c) avaliação do potencial hídrico de água contaminada captada nos sistemas de captação de efluentes inorgânicos (SN) e orgânicos (SO) do Pólo.

## 2 A REDE TECLIM/UFBA

A Rede Teclim/UFBA foi implantada em 1997 com o intuito de estabelecer e dinamizar a cooperação interinstitucional para realização de estudos e experiências no sentido de fomentar o conceito de produção limpa e contribuir para o desenvolvimento sustentável da indústria no Estado da Bahia. Sendo constituída por diversos parceiros, organizações empresariais, universidades, fundações e agências de fomento, atua sob a coordenação do Programa de Tecnologias Limpas do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Com a implantação da Rede Teclim/UFBA, novos relacionamentos entre os membros da academia e profissionais da indústria passaram a ser estabelecidos e começaram a se delinear novas rotas para a solução de problemas ambientais vivenciados na produção (KIPERSTOK, 2000). Em 1998, foi criado o Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria na UFBA, em parceria com o Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro (CETIND) do SENAI/BA (KIPERSTOK, 1998). Com a visão ambiental do curso orientada no sentido da produção limpa, passaram a surgir propostas de pesquisa focadas na redução e/ou eliminação da geração de resíduos na fonte e, com o advento do mestrado profissionalizante em 2002, os trabalhos de pesquisa passaram a ter maior profundidade.

No final da década de 1990, com o surgimento dos Fundos Setoriais e o financiamento de projetos cooperativos de pesquisa, surgiu a oportunidade de ampliar a

interação entre universidades e o setor produtivo para atender a demanda ambiental quanto à otimização do uso dos recursos hídricos e a minimização da produção de efluentes, com foco na sua eliminação na fonte (KIPERSTOK *et al.*, 2003). De acordo com o tamanho das companhias envolvidas nestes projetos, o suporte financeiro poderia chegar a 70% do orçamento total do projeto (KIPERSTOK *et al.*, 2006).

Ao longo dos últimos seis anos, os projetos de cooperação com as empresas da Braskem (Unidade de Insumos Básicos/UNIB), Caraíba Metais S.A., Deten Química, Lyondell e Monsanto, e os parceiros Centro de Recursos Ambientais do Estado (CRA) e Cetrel - Empresa de Proteção Ambiental permitiram o gradativo desenvolvimento e a consolidação de uma metodologia para racionalização do uso da água na indústria. Bravo *et al.* (2005), Fontana *et al.* (2004, 2005), Kiperstok *et al.* (2003, 2006) e Oliveira-Esquerre *et al.* (2007a,b; 2008a,b) apresentam alguns resultados dos estudos realizados.

Dentre os projetos de cooperação desenvolvidos pela Rede Teclim/UFBA destaca-se o EcoBraskem (inicialmente denominado Copene-água, depois Braskem-Água), desenvolvido de 2002 a 2004, com o intuito de identificar oportunidades de reduzir a produção de efluentes aquosos da Braskem/Unidade de Insumos Básicos (Braskem/UNIB, antiga Copene) a partir da otimização do uso da água dentro do processo produtivo. O desenvolvimento de um Balanço Hídrico, e as atividades envolvidas na sua construção, possibilitou traçar o perfil de consumo de água e permitir uma melhor gestão desse recurso. Adicionalmente, a capacitação de funcionários da empresa em Produção Limpa e a implementação de um Banco de Idéias digital, considerando aspectos culturais, ambientais e econômicos, permitiam uma maior discussão sobre o consumo de água, a produção de efluentes e meios para a sua redução. Desde 2005, as atividades de pesquisa na Braskem/UNIB passaram a considerar características do ciclo hídrico regional e a contemplar estudos de otimização energética em um novo projeto denominado Otimização Ambiental da Braskem/UNIB. Por ser considerado uma continuação dos estudos realizados, o primeiro projeto Braskem-água passou a ser chamado de EcoBraskem I, e este segundo de EcoBraskem II. Os estudos foram retomados em junho de 2008 com o início de um novo projeto denominado Ecobraskem III.

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do Projeto Ecobraskem e de outros projetos cooperativos com empresas químicas, petroquímicas e metalúrgicas, permitiu o delineamento e a consolidação de uma metodologia sistemática para a minimização do uso da água e da geração de efluentes na indústria. Esta metodologia inclui o desenvolvimento e acompanhamento das atividades com a formação da parceria universidade-empresa; a inserção dos conceitos de Produção Limpa através da capacitação permanente e em larga escala; a construção e a implantação de Balanço Hídrico detalhado que considera incertezas de informações; a implementação de um Banco de Idéias digital que considera aspectos culturais, ambientais e econômicos na avaliação do potencial/dificuldade de uma oportunidade; a implantação de um sistema de informações geográficas (SIG) identificando as fontes produtoras e consumidoras de água; a otimização das redes de transferência de massa; a análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional; a elaboração de projetos conceituais de minimização do uso da água e da geração de efluentes. Juntamente com outros projetos desenvolvidos com outras empresas da região, os estudos estão permitindo a consolidação de uma metodologia específica de minimização de água na indústria.

As atividades do projeto Ecobraskem incluem ações gerais e técnicas, específicas de cada estudo. As atividades gerais abrangem a seleção e a capacitação da equipe de pesquisadores e estagiários (e de funcionários da empresa), o acompanhamento do projeto, realizado através de reuniões semanais e de relatórios bimestrais, e a redação de relatórios e artigos técnicos e científicos para divulgação dos resultados obtidos. A seguir são apresentados alguns estudos realizados ou em desenvolvimento.

#### 3.1 Conhecimento das correntes de água nas unidades de processo via balanço hídrico

O Balanço Hídrico, implementado através de planilha eletrônica, resgata a topologia do sistema de consumo de água e de geração de efluente, revelando o perfil de consumo da água na empresa e permitindo, assim, uma melhor gestão desse recurso (FONTANA *et al.*, 2004). Os dados de vazões foram levantados através de medi-

dores existentes e portáteis, calculados através de balanços de massa, via dados de projeto ou informações coletadas na unidade através de entrevista com as pessoas que convivem na área industrial. Como não há, para grande parte das correntes industriais, um medidor de vazão instalado nas linhas de fluxo, consequentemente dificultando o levantamento de dados para um tratamento estatístico que possibilitaria estimar a incerteza, é associado ao dado de vazão informações sobre a confiança relacionada com o método no qual esta informação foi obtida. O grau de incerteza da medida é expresso em forma da “qualidade da informação” para expressar incertezas de informações precárias. A reconciliação de dados a partir das vazões mapeadas (vazões medidas, vazões estimadas, vazões de projeto, medições pontuais, etc., enfim, qualquer fonte de informação sobre uma corrente é considerada) é então aplicada para garantir que as informações atendam as restrições, sendo que cada vazão mapeada é acompanhada pela Qualidade da Informação (QI). Dessa forma é possível utilizar a reconciliação de dados em estado estacionário (no qual a incerteza é substituída pelo inverso do QI, ponderado pelo valor mapeado). Por fim, é gerado um relatório com todas as informações que ajude a gerenciar a utilização da água.

### **3.2 Projetos de redução e reúso de água e efluentes dentro das unidades de produção**

O desenvolvimento dos projetos de redução e reúso de água e de efluentes dentro das unidades de produção foi baseado em dados de projeto, manuais de operação, dados históricos de vazão e qualidade da água e dos efluentes, além de informações geradas em diversas discussões com engenheiros e operadores. Alguns dos projetos desenvolvidos, ou em desenvolvimento, são descritos a seguir.

#### **Troca de água de resfriamento de decoque**

Atualmente, a água de resfriamento do decoque dos fornos de pirólise é provida do sistema de água de resfriamento e de água clarificada. Neste estudo identificou-se que estas fontes de alimentação podem ser substituídas por águas de qualidade inferior provenientes de

purgas do sistema de geração de vapor de diluição das plantas de olefinas.

#### **Redução/reúso de efluentes pulverizados**

Neste estudo foram levantados todos os efluentes pulverizados existentes nas unidades da Unidade de Tratamento de Água (UTA), Unidade Termelétrica e Unidades de Distribuição via balanço hídrico. Sua qualidade e suas condições físicas foram avaliadas para fins de redução e reúso.

#### **Uso das águas pluviais**

As águas geradas pela chuva incidida no estacionamento e em seu entorno e na área do Parque de Esferas, atualmente, são encaminhadas para o sistema de efluentes inorgânicos. Neste estudo observou-se o favorecimento do uso destas águas pelas características quali-quantitativas.

#### **Utilização de água bruta em torres de resfriamento**

O sistema de resfriamento atualmente é alimentado por água clarificada. A utilização direta de água das fontes superficiais (água bruta) nas torres de resfriamento permite a redução do consumo de produtos químicos, operações, energia e geração de efluentes em decorrência da eliminação de processos de tratamento como flocação, decantação, filtração, cloração e correção de pH na água para este uso, observadas previamente as suas condições físico-químicas. Desta forma, dados históricos de qualidade e disponibilidade hídrica do rio Joanes, atual fornecedor de água para a UTA, foram avaliados, neste estudo, visando o seu uso direto nas torres de resfriamento.

#### **Segregação de água potável**

Para viabilização dos projetos de reúso, algumas medidas necessárias devem ser tomadas, como as que visam à eliminação dos riscos de contaminação da água potável produzida na UTA pelos contaminantes presentes nos efluentes a serem lançados nessa unidade. Uma dessas medidas é a segregação da corrente de água potável do restante do sistema de produção de água industrial (clarificada, filtrada e desmineralizada). Com a eliminação dos riscos de contaminação da água potável, aumentam-se as possibilidades de reúso de água.

### **3.3 Avaliação do potencial hídrico de água contaminada captada nos sistemas de captação de efluentes inorgânicos (SN) e orgânicos (SO) do Pólo**

#### **Aproveitamento de água de chuva contaminada com inorgânicos**

Três bacias de contenção fazem parte do sistema de captação de efluentes inorgânicos do Pólo e têm a função de acumular temporariamente água de chuva potencialmente contaminada durante as ocasiões de chuvas intensas, de modo a impedir que esses transbordem para os cursos d'água da região. Para a estimativa da disponibilidade hídrica destas bacias foram obtidos dados de variação de volume de água nas bacias de contenção, vazão de recalque dos efluentes e dados de precipitação para o período de 2001 a 2007 (OLIVEIRA-ESQUERRE *et al.*, 2008a).

#### **Reúso de água subterrânea contaminada com orgânicos**

Através do estudo do sistema de captação de efluentes orgânicos (SO), identificou-se como fonte potencial para uso industrial a água do aquífero superficial subjacente à região do Pólo explorada pelo sistema Barreira Hidráulica. A barreira consiste em uma seqüência de poços de extração e monitoramento dispostos de forma a interceptar as plumas de contaminantes orgânicos dissolvidos, e evitar que a mesma atinja eventuais receptores potenciais a jusante da área impactada. Para estimativa do volume disponível para reúso, dados históricos de vazão e nível dinâmico referentes a cada poço foram disponibilizados (OLIVEIRA-ESQUERRE *et al.*, 2008b).

## **4 RESULTADOS**

A articulação necessária para garantir a inserção da equipe de pesquisadores na rotina diária da empresa foi permitida pela participação de integrantes Braskem/UNIB em reuniões semanais e, ainda, pelo contato direto dos professores com gerentes, que viabilizaram os trabalhos. Para facilitar a participação dos integrantes da empresa, inclusive do Conselho Consultivo composto por coordenadores da empresa e do projeto, as reuniões semanais passaram a ser realizadas na empresa e, com menor freqüência, na universidade.

Durante a construção do Balanço Hídrico, as campanhas de coleta de dados de vazão, e sua respectiva qualidade de informação, permitiram o cadastramento de 815 correntes durante o EcoBraskem I, das quais 10% eram desconhecidas pela empresa. Já a atividade de atualização do Balanço realizada nos projetos subsequentes, EcoBraskem II e III, permitiu o cadastramento de outras 74 correntes. A maior dificuldade na construção do Balanço Hídrico da Braskem consistiu na aquisição dos dados de vazões e na atualização, pois apenas vazões de petroquímicos eram medidas. Grande parte das correntes aquosas não possui um medidor de vazão instalado em linha e, consequentemente, as vazões medidas se tornam insuficientes para representar o balanço hídrico da planta. Para superar esta dificuldade, os dados de vazões foram obtidos de diversas formas, dentre elas, via projetos, medidos, utilizando-se equipamento de volume conhecido e cronômetro, e calculados através de balanços. Por meio do procedimento de reconciliação de dados do balanço global, a correção da qualidade de informação atribuída às correntes permitiu um questionamento das informações obtidas diretamente da área, identificando erros de medidas ou troca de valores de vazão.

Na Tabela 1 são apresentados os impactos ambientais e econômicos levantados em cada estudo, relacionados com a redução de consumo de água e geração de efluentes. Dentre os potenciais pontos de reutilização desses efluentes destacam-se as Torres de Resfriamento da Braskem/UNIB e a UTA.

Além de estimar as vazões disponíveis para uso industrial (TABELA 1), as pesquisas relacionadas ao aproveitamento das águas captadas nos citados sistemas indicaram:

- meios de gerenciar a captação de água da Braskem/UNIB, ampliando as alternativas de suprimento e possibilitando a liberação de parte da vazão regulizada na barragem do rio Joanes, para aumentar a oferta de água da Região Metropolitana de Salvador (RMS) em períodos de flutuação sazonal da disponibilidade;
- a redução do volume de água contaminada por orgânicos direcionada a tratamento, assim como do volume de inorgânicos enviado para um emissário submarino;

- a diminuição dos gastos energéticos decorrentes do bombeio de água contaminada e, especialmente, da adução de água da bacia do Paraguaçu para a região de Salvador.

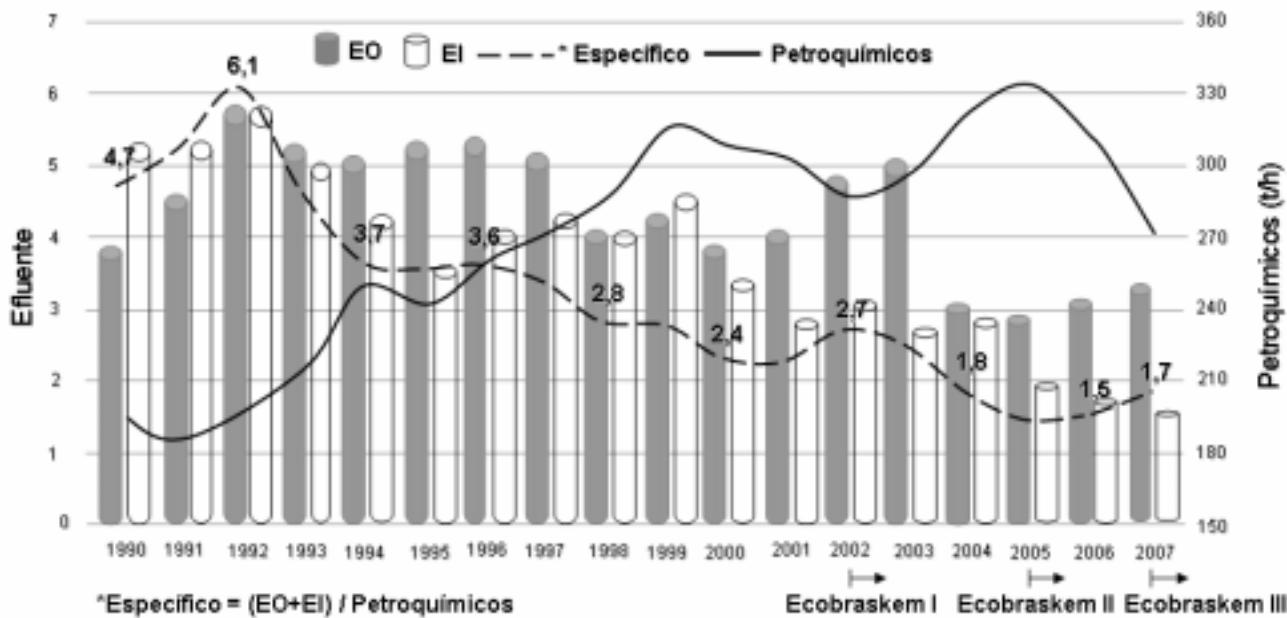
Estima-se que a implementação destes estudos possibilite a redução de, aproximadamente, 1.400 m<sup>3</sup>/h de captação de água dos mananciais da região, 65 m<sup>3</sup>/h em geração de efluentes da UNIB e, no mínimo, 1.200 m<sup>3</sup>/h de bombeamento de água contaminada do Pólo.

A evolução do desempenho ambiental da Braskem/UNIB quanto à redução da geração de efluentes é apresentada na Figura 1. Observa-se uma redução na geração de efluentes de aproximadamente 250 m<sup>3</sup>/h desde o início do projeto, como fruto das discussões diárias com a operação e a engenharia durante Projeto EcoBraskem e de outras ações da empresa. O mapeamento das possíveis causas de redução indica como primordiais as ações de mudança de comportamento operacional, por exemplo, a redução de efluentes pulverizados em 15 e 10 m<sup>3</sup>/h para o SN e SO, respectivamente.

**TABELA 1** – Impactos ambientais e econômicos obtidos nos estudos

Projetos e estudos	Redução na captação de água bruta (m <sup>3</sup> /h)	Redução da geração de efluentes (m <sup>3</sup> /h)	Economia (captação e/ou tratamento) (R\$/ano)
3.1 <u>Balanço Hídrico</u> <sup>1</sup>	–	–	Não mensurável
3.2 <u>Reúso interno de água e efluentes</u>			
Troca de água de resfriamento de decoque <sup>2</sup>	13	13	220.000
Redução/Reúso dos efluentes pulverizados <sup>2</sup>	22	22	370 000
Uso das águas pluviais <sup>2</sup>	30	30	21.500
Utilização de água bruta em torres de resfriamento <sup>2</sup>	980	–	820.000
Segregação de água potável <sup>2</sup>	–	–	Não mensurável
3.3 <u>Reúso de água e efluentes do SN e SO</u>			
Aproveitamento da água das Bacias de Contenção <sup>2</sup>	1.150 - 2.000	> 1.150	> 1.000.000
Reúso da água da Barreira Hidráulica <sup>3</sup>	50 a 120	> 50	250.000

**NOTAS** – <sup>1</sup>Ferramenta computacional disponibilizada; <sup>2</sup>Projeto de engenharia em andamento ou concluído; <sup>3</sup>Estudo concluído.



**FIGURA 1** – Geração de efluente e produção de petroquímicos pela Braskem/IB

**NOTAS** – EO: Efluente Orgânico; EI: Efluente Inorgânico. Os valores de efluentes aparecem normalizados por questão de sigilo da empresa.

## 5 CONCLUSÃO

A metodologia Teclim/UFBA se consolida através dos resultados obtidos nas pesquisas cooperativas realizadas no decorrer de projetos com o setor produtivo, parcialmente financiados pelos Fundos Setoriais/MCT e geridos pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq). A parceria entre Universidade–Empresa tem apontado para novas opções de otimização e controle ambiental na indústria, além do aperfeiçoamento na formação de profissionais graduados e pós-graduados.

Através dos estudos realizados pelos projetos Ecobraskem, uma mudança da concepção de fim de tubo para a prevenção da poluição e a produção limpa tem sido gerada. Águas contaminadas, antes consideradas efluentes e que deveriam ser descartadas, podem ser recicladas ou reusadas e transformadas em matéria-prima. O sucesso dos estudos em desenvolvimento e em andamento permitirá, além do benefício localizado dentro da própria

Braskem, uma importante redução do consumo de água dos mananciais que abastecem a RMS. Este fato permitirá o adiamento de investimentos públicos em futuras ampliações dos sistemas de abastecimento, além da redução da captação de água oriunda da região semi-árida da bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, que hoje abastece a região.

## REFERÊNCIAS

- BRAVO, J. L. R; KIPERSTOK, A. Studies on water conservation at a primary copper metallurgy. In: EUROPEAN METALLURGICAL CONFERENCE - EMC, 2005, Dresden. *Anais...* Dresden, Alemanha: [s.n.], 2005.
- FONTANA, D.; KALID, R. A.; SARTORI, I.; KIPERSTOK, A.; SILVA, M.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J. G.; OLIVEIRA, S.; PERAZZO, C. Balanço hídrico: uma nova sistemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA QUÍMICA - COBEQ, 15., 2004, Curitiba.  
**Anais...** Curitiba: [s.n.], 2004.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; KIPERSTOK, A.; SILVA, M. M. Methodology for wastewater minimization in industries in the petrochemical complex. In: MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING, 2.; MERCOSUR CONGRESS ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING - ENPROMER, 4., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 2005.

KIPERSTOK, A. Implementation of cleaner production practices with a support of a diploma course. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p. 375-379, 2000.

\_\_\_\_\_. Tecnologias limpas, capacitação e pesquisa: o curso de especialização em gerenciamento e tecnologias ambientais na indústria. **TECBAHIA R. Baiana Tecnol.**, Camaçari, v. 13, n. 1, p. 136-139, jan./abr. 1998.

\_\_\_\_\_; KALID, R.; SALES, E. Development of water and wastewater minimization tools for the process industry: the experience of the clean technology network of Bahia, Brazil. In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE ENGINEERING, 4., 2006, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: [s.n.], 2006.

\_\_\_\_\_; SILVA, M.; KALID, R. A.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J. G. A.; OLIVEIRA, S. C.; GALVÃO, C. P. L.; FONTANA, D. Minimização do uso da água na indústria através da parceria entre universidade e empresas: o Projeto Braskem-Água. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, p. 557-565, 2003.

\_\_\_\_\_; SILVA, M.; KALID, R. A.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J. G. A.; OLIVEIRA, S. C.; GALVÃO, C. P. L.; FONTANA, D. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção mais limpa: elementos para discussão. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 326-332, 2001.

\_\_\_\_\_*et al.* O papel da universidade e da Rede TECLIM na introdução de práticas de produção limpa na Bahia: a UFBA e a Rede TECLIM. KIPERSTOK, A. (Org.). **Prata da casa: construindo a produção limpa na Bahia**. 1. ed. Salvador: Gráfica Santa Bárbara, 2008. v. 1. 446 p.

MARINHO, M.; KIPERSTOK, A. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate

regional. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 271-279, 2001.

OLIVEIRA-ESQUERRE, K.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; KALID, R. A.; SALES, E.; MATTOS, M. C.; MENEZES, F.; LIMA, L.; SILVA, S.; SCHUBACH, R.; BATISTA, J. Assessment of water availability within a heavy industrialized region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES FOR WASTE AND WASTEWATER TREATMENT, REMEDIATION OF CONTAMINATED SITES AND EMISSIONS RELATED TO CLIMATE, 2007, Kalmar. **Anais...** Kalmar, Suécia: [s.n.], 2007a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; COHIM, E.; ASSIS, B.; MENEZES, F. C. Balanço hídrico das bacias de contenção do Pólo de Camaçari para fins de reúso. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 3., 2008, Belém. **Anais...** Belém, PA: [s.n.], 2008a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PENALVA, P. R.; KALID, R. A.; QUIRINO, P. P. S. Estudo do potencial de reúso da água explotada do sistema barreira hidráulica do Pólo Industrial de Camaçari - BA. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 3., 2008, Belém. **Anais...** Belém, PA: [s.n.], 2008b.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; COHIM, E.; KALID, R. A.; MATTOS, M. C. Estudo do potencial hídrico de uma bacia de contenção no Pólo Industrial de Camaçari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Belo Horizonte, 2007. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], 2007b.

## Agradecimentos

À Braskem e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que, através de um projeto cooperativo do Fundo Setorial de Petróleo e Gás, CT-PETRO, financiam este projeto;

À Rede de Tecnologias Limpas (UFBA) que, juntamente com a Braskem, coordena o projeto;

À Empresa de Proteção Ambiental (Cetrel) e ao Centro de Recursos Ambientais (CRA) que colaboram com o andamento do projeto.

# **Estudo de Tratabilidade para Avaliação do Reúso dos Efluentes Industriais da Braskem**

## **MAIZA FERREIRA SANTOS**

Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo (UFBA). Especialista em Gestão de Recursos Hídricos (UFBA). Bacharel em Química (UFBA). Auditora Ambiental e de Qualidade. Atuação na área de meio ambiente e tecnologias mais limpas desenvolvendo e coordenando projetos de recursos hídricos, tratamento e reúso de efluentes, tratamento e gerenciamento de resíduos e monitoramento ambiental.

[maiza.ferreira@cetrel-lumina.com.br](mailto:maiza.ferreira@cetrel-lumina.com.br)

## **LUCIANA FRÓES**

Perita e Auditora Ambiental (UGF). Engenheira Ambiental (UFBA). Atuação na área de meio ambiente desenvolvendo e coordenando projetos de tratamento de efluentes e reúso de água.

[luciana.froes@cetrel-lumina.com.br](mailto:luciana.froes@cetrel-lumina.com.br)

## **DANIEL BAREL**

Especialista em Gestão de Tecnologias Ambientais (PECE - USP). Geólogo (USP). Atuação na área de projetos, meio ambiente e tratamento de efluentes.

[daniel.barel@cetrel-lumina.com.br](mailto:daniel.barel@cetrel-lumina.com.br)

## **IRAMÁLIA REZENDE GUERRA**

Engenheira Química (UFBA). Cursando mestrado em Engenharia Química (UFBA). Atuação na área de projetos, meio ambiente, tratamento de efluentes e controle de qualidade.

[iramalia1@hotmail.com](mailto:iramalia1@hotmail.com)

## **DANIELA FONTANA**

Mestre e Graduada em Engenharia Química (UFRGS). Atuação na área de meio ambiente como coordenadora de projetos de reúso de efluentes industriais, projetos de produção mais limpa.

[daniela.fontana@cetrel-lumina.com.br](mailto:daniela.fontana@cetrel-lumina.com.br)

**Cetrel Lumina – Tecnologia e Engenharia em Soluções Ambientais  
Grupo Odebrecht**

## RESUMO

O presente estudo expõe os resultados da avaliação de técnicas de tratamento físico-químico e biológico para redução de matéria orgânica e sais remanescentes dos efluentes gerados no processo industrial da Unidade de Insumos Básicos (Braskem-UNIB), responsável pela produção de petroquímicos de primeira geração, tais como eteno, propeno, butadieno, benzeno, tolueno e xilenos, entre outros, do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) - BA. Nesta unidade são gerados dois efluentes de origem e características distintas, sendo que o orgânico é resultante do processo de remoção de óleos e graxas da planta produtiva (SAO II) e o de característica inorgânica é gerado, principalmente, na unidade de tratamento de água (UTA), com contribuições da unidade termelétrica (UTE) e purgas das torres de resfriamento das unidades de olefinas e aromáticos (UO e UA), ambos direcionados para tratamento final na Cetrel S.A., empresa responsável pelo tratamento de efluentes do PIC, com uma vazão aproximada de  $500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ , e encaminhados, em seguida, para disposição oceânica através do emissário submarino. A remoção das substâncias químicas residuais de ambos os efluentes é bastante complexa, pois o óleo e a graxa (O&G), a matéria orgânica (MO), estes remanescentes do SAO II, e os sais oriundos da UTA estão dissolvidos no efluente. Ciente da necessidade de reaproveitamento desta água e com foco no fortalecimento do programa EcoBraskem da UNIB, a Braskem, em parceria com a Cetrel Lumina, e a Cetrel uniram forças para realizar este estudo e reduzir o volume de efluentes descartados, aumentando assim o percentual de reúso. Neste trabalho, foram testadas tecnologias diferentes, isoladas ou acopladas, em escala piloto, na tentativa de obter maior eficiência de remoção dos constituintes dissolvidos no efluente. As principais técnicas testadas foram: Processos Oxidativos Avançados (POA), Cloração, Adsorção, Precipitação e Biodegradação. Com base nos resultados obtidos, observou-se que todas as tecnologias avaliadas apresentaram redução para os parâmetros MO, O&G, cor, turbidez e condutividade, melhorando a qualidade da água. Entretanto, os sistemas acoplados (peróxido de hidrogênio e carvão ativo mineral) e o sistema isolado carvão ativado mineral reduziram mais que 98% da matéria orgânica para valores menores do que  $5 \text{ mgL}^{-1}$  de carbono orgânico total, melhorando significativamente o aspecto e a qualidade da água tratada e qualificando o efluente final da Braskem-UNIB para reúso de efluente industrial. A biodegradação com cepas biológicas também apresentou excelente resultado, com uma eficiência de remoção da matéria orgânica de 85%, não tendo gerado quantidade significativa de lodo.

## PALAVRAS-CHAVE

Reúso de água. Carvão ativado. Processos oxidativos avançados.

## 1 INTRODUÇÃO

**A**s plantas produtivas do PIC, em conjunto, captam uma grande quantidade de água de boa qualidade dos rios e poços da região para uso em seus processos, gerando aproximadamente  $3.500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  de efluentes orgânicos e inorgânicos. Estes são direcionados para o mar, após tratamento secundário na estação de tratamento de efluentes (ETE) da Cetrel, que remove 96% da carga orgânica biodegradável. Além dos compostos orgânicos, avaliados pela demanda química de oxigênio (DQO), os parâmetros inorgânicos mais comuns são: fosfato, amônia, metais e cloreto. Todos estes parâmetros atendem a especificação legal; entretanto, os metais e cloreto não são removidos pelo sistema biológico. Os metais ficam incorporados na biomassa gerada no reator biológico e o cloreto é dissolvido no efluente clarificado e descartado no mar. Ao longo dos últimos anos o PIC tem investido em projetos para redução dos contaminantes, diretamente nas fontes geradoras e aumentando o percentual de reaproveitamento de seus efluentes, o que tem contribuído para reduzir o volume e melhorar a qualidade do afluente à ETE da Cetrel. A Braskem-UNIB, que produz produtos petroquímicos de primeira geração, contribui com aproximadamente 15% da vazão total do afluente da Cetrel e é, também, responsável pela captação e tratamento de aproximadamente  $4.000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  de água superficial e subterrânea para uso interno e de outras indústrias do PIC. Ciente da necessidade de minimizar a vazão do efluente descartado e, ao mesmo tempo, reduzir a quantidade de água captada do meio ambiente, esta unidade tem investido, ao longo dos anos, em programas preventivos de controle na fonte para a minimização de perdas e o reaproveitamento da água. O EcoBraskem, programa pioneiro da Braskem em parceria com a Rede de Tecnologias Limpas da Universidade Federal da Bahia, tem como foco o diagnóstico das mais de 400 correntes de águas e efluentes que fazem parte do processo produtivo da UNIB, priorizando a identificação das perdas e o reaproveitamento das fontes de águas para reintrodução no processo. Apesar dessas medidas preventivas de controle na fonte, ainda são gerados aproximadamente  $500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  de efluentes de características orgânicas e inorgânicas que são encaminhados para tratamento na estação de tratamento de efluentes da Cetrel, e posterior direcionamento, através do emissário, para o sistema de disposição oceânica.

Dessa forma, o presente trabalho propõe avaliar, tecnicamente, a qualidade do efluente gerado na Braskem-UNIB, após a realização dos estudos de tratabilidade, utilizando-se diferentes técnicas de tratamento físico-químico e biológico para se obter um maior percentual de reaproveitamento deste efluente em atividades industriais.

As técnicas conhecidas como processos oxidativos avançados (POA) são baseadas na geração de radicais livres, tais como:  $(HO\bullet)$ ,  $(ClO_2\bullet)$  e  $(O\bullet)$ , espécies altamente reativas capazes de mineralizar uma grande variedade de compostos orgânicos e degradar a matéria orgânica a compostos menores. As principais técnicas geradoras destes radicais são a ozonização, a peroxidação e a cloração.

A aplicação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) tem crescido consideravelmente na área de tratamento de efluentes, principalmente pela menor geração de resíduos sólidos. O  $H_2O_2$  é um líquido totalmente miscível com água, permitindo, portanto, facilidade de dosagem e controle (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Os processos de aplicação de  $H_2O_2$  dividem-se em três categorias distintas: aplicações simples, com injecção direta de  $H_2O_2$ ; processos avançados de oxidação, com a formação de radicais livres sem a presença de catalisadores metálicos, por exemplo, com utilização de ozônio ( $O_3$ ) ou radiação ultravioleta (UV); catalíticas, em que se utiliza  $H_2O_2$  na presença de catalisador metálico, normalmente o ferro, denominado reagente de Fenton.

Para efluentes de alta complexidade, somente o  $H_2O_2$  não é suficiente para a oxidação completa da matéria orgânica (MO). Nestes casos, são utilizadas algumas técnicas ou substâncias químicas que atuam como catalisadores e aumentam a capacidade oxidativa do  $H_2O_2$  nos efluentes orgânicos. A mais usada é a combinação com ferro em pH ácido (Fenton). As principais variáveis deste POA estão associadas à proporção entre o ferro e o  $H_2O_2$ , concentração de substrato, temperatura e pH do efluente. A reação com o Fenton é altamente exotérmica, mas é também favorecida pelo aumento de temperatura. Para valores superiores a 40°C o  $H_2O_2$  decompõe-se rapidamente em água e oxigênio, diminuindo, em muito, a eficiência do processo. Assim, a faixa ótima para a maioria das aplicações será entre 20 a 40°C (RODRIGUES, 2004).

A cloração é outra técnica oxidativa que utiliza o cloro como agente oxidante e bactericida para a remoção da MO do meio aquoso. A aplicação usual do gás cloro ou

do hipoclorito de sódio tem sido bastante polemizada devido à formação de subprodutos tóxicos, remanescentes na água após o tratamento. Este fato tem contribuído para a redução, em nível mundial, do seu uso. Segundo Pianowski e Janisse (2003), o tratamento com o cloro gera compostos orgânicos tóxicos como o clorofórmio em concentrações acima do permitido na legislação. Nos últimos anos as empresas fornecedoras de gás cloro investiram muito em estudos para a substituição do cloro, até então utilizado somente nas formas de  $Cl_2(g)$  e hipoclorito de sódio. Em substituição a estes reagentes foi redescoberta a ação altamente oxidante do cloro, sob a forma do radical  $ClO_2\bullet$ , obtido a partir do clorito de sódio com o ácido clorídrico.

Segundo Furtado (2005), a principal vantagem do dióxido de cloro é que o radical  $ClO_2\bullet$  não reage com a água, permanecendo no meio como gás dissolvido e, por isso, não forma as cloramidas, como normalmente acontece com o gás cloro ou o hipoclorito. O dióxido de cloro não gera o ácido hipocloroso que, apesar de ser o agente de desinfecção, pode ser dissociado em íon hipoclorito reagindo com compostos orgânicos, amônia e fenol, formando subprodutos indesejáveis, como organoclorados em geral, clorofenóis, trialometanos ou cloroaminas, além de alterar as propriedades organolépticas da água tratada.

O uso do carvão ativado ou ativo, que é um sólido de origem vegetal ou mineral, pode ser aplicado para purificar águas através da retenção de moléculas orgânicas e substâncias inorgânicas em pequenas proporções. Este processo de separação física reversível é explicado pelo fenômeno da adsorção, muito útil para remover MO, cor, turbidez e odor de águas em geral. O carvão ativo é considerado um eficiente adsorvente devido a sua enorme área superficial com aproximadamente 500 a 1.500  $m^2g^{-1}$ . A superfície ativa das partículas individuais do carvão é interna, de maneira que a pulverização do material não aumenta nem diminui a área significativamente (MUSTAFÁ, 1988).

Outra técnica de oxidação se dá através da biodegradação da MO em compostos menores e da transformação em dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água. Segundo informações da Superbac, empresa que produz as cepas biológicas, o produto microbiológico Bio Liq HC desta empresa tem como função a digestão acelerada de hidrocarbonetos pesados como óleo, alcatrão de carvão e lodo orgânico,

além de produtos de hidrocarbonetos refinados como gasolina, diesel, compostos aromáticos de benzeno, etilbenzeno, tolueno e xileno (BETX), e compostos clorados normalmente encontrados em indústrias petroquímicas e químicas. O Bio Liq HC tem a capacidade de transformar hidrocarbonetos e outros contaminantes em dióxido de carbono e água (STRAUCH, 2008).

As zeólitas, que até então têm sido, principalmente, utilizadas para remoção de metais em efluentes (tratamento terciário), também estão sendo recomendadas para remoção de MO (DIMAS FILHO, 2008). As zeólitas são minerais naturais compostas por cristais de aluminossilicatos hidratados, que se desidratam desenvolvendo uma estrutura porosa com diâmetro dos poros variando entre 3 e 10 Å, funcionando como uma peneira molecular. Esta estrutura porosa forma cavidades que podem ser ocupadas por íons ou moléculas de água com grande liberdade de movimento. Esta característica permite o intercâmbio catiônico e a desidratação reversível da rede. As zeólitas possuem área superficial interna muito grande ( $40 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ) e alta capacidade de troca iônica ( $1,5 \text{ meqg}^{-1}$ ). Neste caso, as zeólitas são muito utilizadas para a remoção de metais dissolvidos nos efluentes tais como: cromo, níquel, chumbo, cádmio, estanho, mercúrio, prata, zinco e cobalto. São como meios filtrantes usados na remoção de ferro e manganes no tratamento de água para consumo humano e no tratamento de efluentes industriais (FILHO, 2008).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente os efluentes foram caracterizados para identificação dos constituintes a serem reduzidos do meio aquoso. Em seguida, foram identificados os prováveis consumidores que poderiam receber o efluente em estudo. Depois desta etapa, foram selecionadas, com base na literatura, diferentes técnicas de tratamento de efluentes com foco na remoção da MO e de sais dissolvidos. Os estudos foram realizados na amostra oriunda do SAO II (junção das correntes de drenagem contaminada e oleosa geradas no processo, após o separador água-óleo) e na amostra composta do efluente do SAO II com o efluente gerado no sistema de águas não contaminadas (SN). A proporção da mistura foi de 2:1, respectivamente. Os testes foram conduzidos, considerando-se a tratabilidade de cada uma das amostras compostas (SAO

II) e (SAO II + SN), através de cada técnica previamente selecionada, e em seguida houve o acoplamento das técnicas visando melhorar a qualidade da água obtida em cada etapa do processo. As técnicas selecionadas e testadas neste trabalho estão a seguir relacionadas, bem como a metodologia analítica utilizada.

### 2.1 POA - Peróxido de hidrogênio, reagente Fenton, ozonização, ozonização/UV, peróxido/ozonização

Nos dois testes realizados com o peróxido puro e no outro com o reagente Fenton, foram utilizados 2 L de amostra do efluente em recipientes do equipamento *Jar Test*, após terem sido medidos o pH, a temperatura da amostra e ajustada a rotação. Os testes foram iniciados com variações da quantidade de reagentes (peróxido puro e Fenton), pH e tempo de contato, e foram repetidos até a busca da quantidade e do tempo adequados para a redução da MO. Em seguida, as amostras tratadas foram encaminhadas para análise.

Nos três testes seguintes foi utilizado um gerador de ozônio, o qual serviu para testar a oxidação do efluente através de ozonização pura, ozonização e peróxido de hidrogênio e ozonização/UV. Em todos os testes os tempos de contato variaram entre 30, 60 e 90 min. Após os testes as amostras foram encaminhadas para análise.

### 2.2 Cloração

Foram utilizados 2 L de amostra do efluente em recipientes do equipamento *Jar Test*, após terem sido medidos o pH, a temperatura da amostra e ajustada a agitação. Os testes foram iniciados com variações da quantidade de reagentes (hipoclorito de sódio), do pH e do tempo de contato. Os testes foram repetidos até a busca da quantidade e do tempo adequados para a redução da MO. Em seguida, as amostras tratadas foram encaminhadas para análise.

### 2.3 Adsorção com carvão ativo

Nesta etapa, foram montados dois leitos de carvão granulado (uma coluna com carvão mineral e outra com carvão vegetal). Pela coluna foram passadas as amostras, lentamente, através dos leitos de carvão. Após ter

sido determinada a vazão e definido o tempo de escoamento, foram descartados 100 mL dos primeiros filtrados e coletados 4 L de amostra para posterior análise. Estes testes foram repetidos, após oxidação da amostra com peróxido de hidrogênio ou hipoclorito de sódio.

## 2.4 Zeólitas

Foi montado um leito de 1 m de altura e 8 cm de diâmetro e preenchido com zeólitas. A amostra foi tratada com hipoclorito de sódio e, em seguida, foi direcionada, lentamente, para o leito de zeólitas. Após ter sido determinada a vazão e definido o tempo de escoamento, foram descartados 100 mL dos primeiros filtrados e coletados 4 L de amostra para posterior análise.

## 2.5 Precipitação

Este teste visava, principalmente, melhorar o aspecto visual da amostra, visto que a quantidade de metais no afluente é baixa, bem como simular a unidade de tratamento de água (UTA), já existente na Braskem-UNIB. Caso esta unidade venha a ser uma possível consumidora do efluente em estudo, o efluente aqui obtido precisa ter qualidade semelhante à atual. Os reagentes utilizados foram o sulfato de alumínio e o óxido de cálcio, variando-se quantidade, tempo de contato e pH. Os testes foram repetidos após tratamento da amostra com hipoclorito de sódio.

## 2.6 Cepas biológicas

A avaliação biológica foi realizada em bancada com produto microbiológico SuperBac (Bio Liq HC) no efluente do SAO II. O intuito do teste foi avaliar a eficiência na remoção da carga orgânica, através de processo biológico, reduzindo DBO e DQO. Neste estudo foi utilizado um reator com aeração contínua (aproximadamente  $4 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ). Em seguida, iniciou-se o processo de dosagem do produto Bio Liq HC, ativado com nutrientes à base de N, P, K em diferentes proporções. Ao término de sete dias a amostra foi levada para análise.

## 3 RESULTADOS

Após a caracterização do efluente orgânico composto oriundo do SAO II, constatou-se que os metais, série nitrogenada, fosfatos, sulfetos, óleos e graxas e os orgânicos voláteis e semivoláteis, exceto o sulfolane e o BTEX,

apresentaram baixas concentrações dissolvidas no efluente em estudo. Os parâmetros que apresentaram os maiores valores foram: DQO =  $336 \text{ mgL}^{-1}$ , DBO =  $136 \text{ mgL}^{-1}$ , COT =  $40 \text{ mgL}^{-1}$  e sulfatos =  $368 \text{ mgL}^{-1}$ . No efluente do Sistema de Águas não Contaminadas (SN), cuja característica é predominantemente inorgânica, não foram detectados metais pesados e compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, sendo que na avaliação da matéria orgânica foi identificada a presença de DQO =  $30 \text{ mgL}^{-1}$ , DBO =  $5 \text{ mgL}^{-1}$  e COT =  $20 \text{ mgL}^{-1}$ . Entretanto, a quantidade dos íons sulfatos foi de  $550 \text{ mgL}^{-1}$ . Com base nestas informações, foram selecionados os processos oxidativos físico-químico e biológico para redução da matéria orgânica, e as técnicas de precipitação e adsorção para redução do sulfato e melhoria do aspecto visual da amostra tratada.

Após definidas as melhores condições dos testes, fixando-se os reagentes com as variáveis tempo e volume, os melhores resultados estão indicados a seguir.

### 3.1 Processos Oxidativos Avançados

Os POA testados foram: peróxido de hidrogênio e pH neutro, peróxido de hidrogênio em pH ácido, Reagente Fenton,  $\text{O}_3$ ,  $(\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2)$  e  $(\text{O}_3/\text{UV})$ . De maneira geral, em todas as técnicas testadas houve remoção de algum parâmetro. Entretanto, a matéria orgânica, medida como COT só foi reduzida com o  $\text{H}_2\text{O}_2$  em pH ácido e reagente Fenton, conforme resultados mostrados na Tabela 1.

### 3.2 Cloração

A técnica de cloração testada utilizou o hipoclorito de sódio a 5 % como gerador de cloro dissolvido no efluente. Os resultados indicaram a redução da matéria orgânica e oclareamento parcial da amostra. A quantidade de cloro foi controlada para garantir o teor de cloro residual menor do que  $1 \text{ mgL}^{-1}$ . Os resultados estão indicados na Tabela 2.

### 3.3 Biodegradação

Após o sétimo dia de teste, utilizando-se a cepa biológica em sistema aerado, foi observado que a amostra ficou límpida e translúcida, apesar de manter uma leve coloração amarela. A matéria orgânica foi reduzida significativamente gerando  $0,5 \text{ mgL}^{-1}$  de lodo e sólidos em suspensão menor do que  $10 \text{ mgL}^{-1}$ . Os resultados estão indicados na Tabela 3.

**TABELA 1** – Resultados dos testes com POA para amostras do SAO II – setembro de 2008

Parâmetros	Amostra bruta (SAO II)	Amostra tratada - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Amostra tratada - Fenton		Amostra bruta (SAO II)		Amostra tratada - Ozônio + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Amostra tratada - Ozônio +UV	
		Amostra pH 3,0	% Remoção	Resultado	% Remoção	Amostra pH 3,0	% Remoção	Resultado	% Remoção	Amostra pH 8,0	% Remoção
COT mgL <sup>-1</sup>	40	22	45	5	88	66	176	(*)	69	(*)	(*)
DBO mgL <sup>-1</sup>	138	92	33	na	na	182	263	(*)	204	(*)	(*)
Cor APHA	> 550	> 550	(*)	> 550	(*)	> 550	> 550	(*)	> 550	(*)	> 550
Alcalinidade mgL <sup>-1</sup>	274	na	na	na	na	274	< 10	96	260	5	< 10
											96

**NOTAS** – na = não analisado; (\*) = interferência na análise da amostra

**TABELA 2** – Resultados do teste de cloração – setembro de 2008

Parâmetros	Amostra bruta (SAO II)	Amostra tratada - Cloro	
		Resultado	pH 8,0
COT mgL <sup>-1</sup>	40	14	65
DQO mgL <sup>-1</sup>	336	127	62
DBO mgL <sup>-1</sup>	138	67	51

**TABELA 3** – Resultados do teste de biodegradação – setembro de 2008

Parâmetros	Amostra bruta (SAO II)	Amostra tratada - Teste cepas biológicas	
		Resultado	% Remoção
DQO mgL <sup>-1</sup>	336	51	84
DBO mgL <sup>-1</sup>	138	24	83

### 3.4 Adsorção com carvão ativo

Nesta etapa, as amostras (SAO II) e (SAO II + SN) foram submetidas ao processo de adsorção com o carvão ativo de origem vegetal e mineral. Os resultados com o carvão ativo vegetal não foram satisfatórios. Os melho-

res resultados foram obtidos com carvão mineral granulado. Os testes foram repetidos após tratamento da amostra com o cloro e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Em todos os testes as amostras tratadas apresentaram um aspecto semelhante ao de água potável, límpida, translúcida, incolor e inodora (FIGURA 1). Os resultados estão indicados na Tabela 4.



Foto: Maiza F. Santos

**FIGURA 1** – Comparação visual entre a amostra do efluente bruto (SAO II), à esquerda, e amostras tratadas com (cloro + carvão mineral), (peróxido + carvão mineral) e carvão mineral puro, respectivamente.

**FOTO** – Maiza Ferreira Santos

**TABELA 4** – Resultados dos testes com carvão ativo mineral para amostras do SAO II e (SAO II + SN) – setembro de 2008

Parâmetros	Amostra bruta (SAO II)	Amostra tratada – Carvão ativo		Amostra tratada – Carvão ativo e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Amostra tratada – Carvão ativo e cloro		Amostra bruta (SAO II + SN)	Amostra tratada – Carvão ativo	
		Resultado	% Remoção	Resultado	% Remoção	Resultado	% Remoção		Resultado	% Remoção
COT mgL <sup>-1</sup>	40	< 5	86	< 5	86	6	85	136	< 5	96
DQO mgL <sup>-1</sup>	336	< 5	99	< 5	99	7	98	237	6	97
DBO mgL <sup>-1</sup>	138	< 3	98	< 3	98	na	na	127	< 3	98
Fenóis mgL <sup>-1</sup>	7,5	< 0,1	99	< 0,1	99	< 0,1	99	12	< 0,1	99
Sulfato mgL <sup>-1</sup>	383	71	79	na	na	na	na	455	42	79

**NOTA** – na = não analisado

### 3.5 Zeólitas

Neste teste, a amostra tratada com hipoclorito de sódio a 5 % foi filtrada em um leito de zeólitas natural, montado em escala de laboratório. Os resultados ob-

tidos, em termos de DQO, foram excelentes, atingindo uma eficiência de remoção de 98%. A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados com uso da zeólita e compara-os com os obtidos com uso do hipoclorito de sódio.

**TABELA 5** – Resultados dos testes com Hipoclorito de Sódio + Zeólita

Parâmetros	Amostra Bruta (SAO II + SN)	Amostra tratada com Cloro	% Remoção	Amostra tratada com Cloro + Zeólita	% Remoção
COT mgL <sup>-1</sup>	136	51	62	33	76
DQO mgL <sup>-1</sup>	237	54	77	< 5	98

### 3.6 Precipitação com óxido de cálcio e sulfato de alumínio

Neste teste, a amostra tratada com hipoclorito de sódio a 5 % foi adicionada ao sistema *Jar Test* para realização da etapa de precipitação/coagulação. Os resultados ob-

tidos, em termos de DQO, apresentaram eficiência de remoção maior que 60%. A Tabela 6 apresenta os resultados encontrados.

**TABELA 6** – Resultados dos testes com (Óxido de cálcio + Hipoclorito de sódio) e (Sulfato de alumínio + Hipoclorito de sódio)

Parâmetros	Amostra Bruta (SAO II)	Teste com Cal + Hipoclorito	% Remoção	Teste com Sulfato de Alumínio + Hipoclorito	% Remoção
COT mgL <sup>-1</sup>	40	11	72	na	na
DQO mgL <sup>-1</sup>	336	58	83	110	67

NOTA – na = não analisado

## 4 DISCUSSÃO

No tratamento realizado com POA, constatou-se que os resultados da DQO ficaram maiores do que na amostra bruta, devido à interferência, falso-positiva, provocada pelo excesso de oxigênio nas amostras. Além disso, as amostras continuaram turvas e amareladas. Quando se

avaliou pela DBO e COT, constatou-se que tanto o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> quanto o Fenton reduziram o teor da MO, sendo que com o Fenton a eficiência de remoção foi maior do que 88% contra os 45% do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (TABELA 1). A maior eficiência do Fenton pode estar associada à presença do ferro como catalisador e da precipitação que ocorreu durante a adição do hidróxido de sódio; nesta etapa,

substâncias orgânicas dissolvidas e colóides podem ter sido arrastados juntamente com o precipitado, reduzindo a concentração de MO do meio. A grande desvantagem do Fenton está associada à quantidade de substâncias químicas envolvidas no processo e ao aumento da condutividade e do sulfato provocado pelo ácido sulfúrico na redução do pH. Em relação ao aspecto, as amostras tratadas ficaram mais clarificadas do que o efluente bruto, tanto para o teste com o  $H_2O_2$  quanto para o reagente Fenton. Sendo que, no reagente Fenton, devido à presença do ferro e hidróxido de sódio, ocorreu a formação do precipitado de hidróxido de ferro de cor avermelhada. Este precipitado permaneceu disperso na solução e aumentou, um pouco, a quantidade de sólidos e a turbidez na amostra, sendo necessária a filtração como etapa complementar. Os testes realizados com  $O_3$  acoplados com  $H_2O_2$  e radiação UV não foram satisfatórios. Os aspectos das amostras tratadas ficaram semelhantes ao do efluente bruto, a cor se manteve maior do que 550 APHA e o excesso de oxigênio no meio prejudicou a avaliação da remoção da matéria orgânica, interferindo diretamente nos métodos analíticos. A vantagem destas técnicas está relacionada com a redução da alcalinidade do efluente tratado, que pode ter sido provocada pelas diferentes sinergias que ocorreram com as substâncias dissolvidas no efluente na presença de radicais livres liberados pelo  $H_2O_2$  e pelo  $O_3$ .

Na cloração com o hipoclorito de sódio a 5%, observa-se que a eficiência de remoção da MO foi maior do que 50% (TABELA 3). Porém, as concentrações de DQO e COT ainda permaneceram altas no efluente tratado, sendo necessário um tratamento complementar para um possível reúso deste efluente. O mesmo ocorreu com as cepas biológicas durante a avaliação da biodegradação da MO, dando-se o clareamento das amostras e tendo a turbidez sido reduzida significativamente. A eficiência obtida para a MO foi maior do que 83%, mas a concentração final da DQO foi de  $50 \text{ mgL}^{-1}$ , necessitando também de uma unidade de tratamento complementar para melhorar a qualidade do efluente e possibilitar o reúso. A grande vantagem desta técnica é que, apesar de ser uma biodegradação normalmente geradora de grandes quantidades de lodo, a quantidade gerada neste teste foi muito baixa.

Após várias tentativas de tratabilidade dos efluentes do (SAO II) e (SAO II + SN), os melhores resultados para a

remoção da MO foram obtidos através da adsorção com carvão ativo mineral. Pode-se observar na Tabela 4 que a eficiência da MO em relação a DQO e fenóis alcançou valores de até 99%, tendo sido estes resultados confirmados quando a amostra foi pré-tratada com cloro e com  $H_2O_2$ , em testes separados. Além da MO, houve a redução de quase 80% do sulfato presente no efluente e a melhoria significativa do aspecto visual, onde a cor e a turbidez se aproximaram de zero (FIGURA 1).

Numa etapa posterior, a amostra do SAO II foi misturada à amostra do SN, na proporção de 2:1 respectivamente, visando aumentar a diluição das substâncias orgânicas dissolvidas, bem como aumentar a quantidade de água a ser reaproveitada. Os resultados obtidos também foram excelentes, tanto para MO quanto para o aspecto e o sulfato, o que confirma os testes anteriores e qualifica, tecnicamente, o efluente para reúso. Resultados semelhantes foram obtidos com o teste (hipoclorito de sódio + zeólita). De acordo com a Tabela 5, a remoção total da DQO foi maior do que 98%, sendo que o pré-tratamento com hipoclorito foi responsável por 77% da remoção da DQO, tendo a zeólita atuado como um tratamento complementar para aumentar a eficiência de remoção da MO. A principal desvantagem desta técnica está associada à não redução de sulfatos, sendo necessário outro tratamento complementar para adequação deste íon.

Na etapa da precipitação, a amostra foi, inicialmente, tratada por meio de coagulação com cal e, em seguida, oxidada com hipoclorito de sódio a 5%. A eficiência de remoção de DQO, obtida com as tecnologias de coagulação com cal e oxidação com cloro, foi superior à encontrada com as tecnologias isoladas, 83%. Ressalta-se que, durante os ensaios com o óxido de cálcio, houve a liberação de odor característico de compostos de enxofre. Isto ocorre devido ao poder oxidante do cloro e ao arraste, juntamente com o precipitado, das substâncias que conferem cor e turbidez à amostra. Resultado semelhante foi obtido com o teste realizado com o hipoclorito e o sulfato de alumínio, sendo que a remoção da matéria orgânica foi menor, 67% em relação à DQO. Por outro lado, o aspecto da amostra ficou excelente, semelhante ao da água potável (FIGURA 2). Apesar do excelente aspecto visual, a DQO remanescente permaneceu elevada,  $110 \text{ mgL}^{-1}$ , sendo necessária uma unidade complementar para a redução das substâncias que permaneceram dissolvidas.



**FIGURA 2** – Comparação visual entre a amostra do efluente bruto (SAO II), à esquerda, e a amostra tratadas com (cloro + sulfato de alumínio), à direita

**FOTO** – Maiza Ferreira Santos

## 5 CONCLUSÕES

Considerando-se que a quantidade de metais, a série nitrogenada (nitrato, nitrito, amônia) e os sulfetos estão abaixo dos limites de detecção dos métodos analíticos nos efluentes oriundos do SAO II e da mistura do efluente (SAO II + SN) da Braskem-UNIB, e com base nos estudos de tratabilidade realizados nestes efluentes, foi possível identificar algumas técnicas de tratamento físico-químico e biológico que puderam ser utilizadas para reduzir a quantidade de substâncias dissolvidas e melhorar a qualidade deste efluente para reúso. A melhor técnica isolada para a remoção de matéria orgânica, fenóis, sulfatos, cor, turbidez, odor, óleos e graxas, e a melhoria do aspecto visual foi através da adsorção com carvão ativo granulado mineral. Neste teste, os resultados indicaram uma eficiência de remoção maior que 99% para os fenóis e COT, e 79% para sulfatos, tendo o aspecto da amostra ficado semelhante ao de água potável. Resultados satisfatórios também foram obtidos com outras técnicas isoladas, como, por exemplo, as cepas biológicas, que reduziram a matéria orgânica em mais que 83 % de DQO e a geração de 0,5

$\text{mgL}^{-1}$  de lodo, valor considerado baixo quando comparado com sistemas de lodos ativados que geram em torno de  $150 \text{ gL}^{-1}$ . Ressalta-se que esta técnica requer um sistema de tratamento complementar, que pode ser o carvão ativo mineral, para reduzir a matéria orgânica residual e o sulfato, melhorando, assim, a qualidade do efluente tratado para reúso. Os outros testes realizados com carvão ativo, após tratamento da amostra com o cloro ou  $\text{H}_2\text{O}_2$ , também foram satisfatórios, reduzindo as concentrações de COT e DQO a valores menores do que  $5 \text{ mgL}^{-1}$ , e o sulfato de  $450 \text{ mgL}^{-1}$  a valores em torno de  $70 \text{ mgL}^{-1}$ . Além disso, houve a melhoria do aspecto em relação a cor, odor e turbidez. A principal vantagem do pré-tratamento da amostra antes do carvão está associada à melhoria da qualidade do efluente a ser aplicado no leito de carvão, que, consequentemente, dará maior durabilidade ao carvão, reduzindo a quantidade de retrolavagens e a saturação do mesmo.

Em relação ao tratamento da amostra com cloro e zeólitas, a eficiência também foi satisfatória, com a redução da COT a valores menores do que  $5 \text{ mgL}^{-1}$ . Entre-

tanto, os sulfatos não foram reduzidos, sendo necessária uma unidade complementar para a sua remoção. As técnicas físico-químicas de precipitação/oxidação, com óxido de cálcio e cloro e sulfato de alumínio e cloro, foram eficientes para a remoção maior do que 60% da matéria orgânica em termos de DQO e COT. Este percentual de remoção não foi suficiente para qualificar a água para reúso, visto que permaneceu um residual de 58 mgL<sup>-1</sup> de DQO no efluente tratado com o óxido de cálcio, e de 110 mgL<sup>-1</sup> no efluente tratado com sulfato de alumínio, sendo necessário um sistema complementar para a remoção da MO residual e do sulfato. Além disso, o consumo de produtos químicos e a quantidade de lodo gerado foram significativamente elevados.

Com base nestas informações, conclui-se que os efluentes gerados na Braskem-UNIB, oriundos do SAO II ou do SN, ou da mistura de ambos, poderão ser reaproveitados para reposição em torres de resfriamento ou em outras atividades operacionais, após tratamento com carvão ativo granular de origem mineral ou através de sistemas de tratamento acoplados tais como: oxidação/adsorção ou biodegradação/adsorção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLETTI, E. Toxicidade e concentração de agentes tóxicos em efluentes industriais. **Revista Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 43, n. (3/4), p. 271-277, 1990.
- COSTA, F. C. *et al.* Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativados convencional e combinado com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 156, out./dez. 2003.
- DEZOTTI, M. **Técnicas de controle ambiental em efluentes líquidos:** processos oxidativos avançados: parte 1. Rio de Janeiro: PEQ/COPPE/UFRJ, 2006.
- DIMAS FILHO, J. **Água o bem mais precioso do planeta.** São Paulo: Catálogo Celta Brasil, 2008.
- FURTADO, Marcelo Rijo. Tarifas em alta incentivam os primeiros projetos na indústria. **Revista Química e Derivados**, on-line, São Paulo, n. 444, dez. 2005. Disponível em: <<http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd444/reuso1.html>>. Acesso em: 7 jul. 2006.
- HASSEMER, M. E. N.; SENZ, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil: processo físico-químico com ozônio e coagulação-flocação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 30-36, jan./mar. 2002.
- HASSEMER, M. E. N. *et al.* Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, jul./set. 2005.
- MUSTAFÁ, G. S. **Reutilização de efluentes em indústria petroquímica.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- PIANOWSKI, E . H.; JANISSEC, P. R. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 20, n. 20, p. 6-17, jul./dez. 2003.
- RODRIGUES, F. S. F **Aplicação da ozonização e do reativo de Fenton como pré-tratamento de chorume com os objetivos de redução da toxicidade e do impacto do processo biológico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- STRAUCH, C. A. T. BioLive Proteção Ambiental. Salvador, 2008. Comunicação pessoal.
- TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F Processos oxidativos avançados. **Caderno Temático**, Campinas, v. 3, p. 1-9, 2004.

## Agradecimentos

À BRASKEM - UNIB e toda a sua equipe que contribuíram e incentivaram muito para o reaproveitamento máximo das águas geradas no processo.

À Faculdade ÁREA 1 FTE – Pelo apoio e pelos recursos oferecidos.

À Cetrel Lumina – Tecnologia e Engenharia em Soluções Ambientais.

À Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental.

## **Parte III**

### **MATÉRIAS-PRIMAS E MATRIZ ENERGÉTICA**

# **Matérias-primas e Matriz Energética: uma Visão Sintética, Genérica e de Atenção para o Futuro do Pólo Industrial de Camaçari<sup>1</sup>**

**JOÃO BISPO LINS NETO**

Engenheiro Químico com MBA em Gestão Empresarial (FGV). Gerente de Energia da Braskem.

[joao.lins@braskem.com.br](mailto:joao.lins@braskem.com.br)

**ALBERTO FERREIRA LIMA**

Engenheiro Químico com Mestrado em Engenharia Química/Celulose (EPUSP). Gerente de Qualidade e Desenvolvimento de Produto da Bahia Pulp.

[alberto\\_lima@bahiapulp.com](mailto:alberto_lima@bahiapulp.com)

**ANA CARLA PETTI**

Engenheira Química (PUC-RJ). MSc em Engenharia Mecânica (COPPE/UFRJ).  
Gerente de Gestão e Regulação de Energia da Braskem.

[ana.petti@braskem.com.br](mailto:ana.petti@braskem.com.br)

**ANTONIA LUCIA SANTIAGO CORREIA**

Técnica em Química Industrial com extensão em Responsabilidade Social (UFBA). Gerente de Relacionamento com Clientes Internos na Petrobras (Norte e Nordeste).

---

<sup>1</sup> Trata-se de uma compilação do Workshop realizado em 22/05/08, no Hotel Othon, em Salvador (BA), evento que fez parte da comemoração dos 30 anos do Pólo Industrial de Camaçari organizada pelo Cofic. É fruto de um grupo de trabalho composto por integrantes das empresas do Pólo.

NETO, J. B. L.; LIMA, A. F.; PETTI, A. C.; CORREIA, A. L. S.; PEREIRA, A. C.; SOUSA, A. I.; SILVA, B. M. M. da.; SALGADO, C. M.; PIZETA, E. G.; KIRKPATRICK, J.; FURUKAWA, J. H.; OUBRE, R. G. **Matérias-primas e Matriz Energética: uma Visão Sintética, Genérica e de Atenção para o Futuro do Pólo Industrial de Camaçari**

### **ANTÔNIO CONSTANTINO PEREIRA**

Engenheiro Químico com Especialização em Processamento Petroquímico (CENPEQ - UFBA/Petrobras) e Pós-Graduado em Engenharia Econômica. Engenheiro de Processo da Central Termelétrica da Braskem UNIB-BA.

[constantino.pereira@braskem.com.br](mailto:constantino.pereira@braskem.com.br)

### **ANTÔNIO INÁCIO SOUSA**

Engenheiro Eletricista. Diretor de Energia da Dow Brasil S/A e Diretor Conselheiro da ABRACE.

[afsousa@dow.com](mailto:afsousa@dow.com)

### **BRENO MACHADO MARQUES DA SILVA**

Engenheiro Químico com especializações em Gestão Ambiental e Tecnologias Limpas na Indústria e Engenharia de Segurança (UFBA). Engenheiro de Meio Ambiente Sênior da Monsanto.

[breno.m.silva@monsanto.com](mailto:breno.m.silva@monsanto.com)

### **CARLOS MAGNO SALGADO**

Engenheiro Eletricista com especialização em Finanças (Unifacs). Coordenador de Engenharia de Processo na Braskem.

[magno.salgado@braskem.com.br](mailto:magno.salgado@braskem.com.br)

### **EVANDRO GONÇALVES PIZETA**

Engenheiro Eletricista (UFU). Mestrando em Engenharia Elétrica (POLI/USP). Coordenador de Eficiência Energética da Braskem.

[evandro.pizeta@braskem.com.br](mailto:evandro.pizeta@braskem.com.br)

### **JOHN KIRKPATRICK**

Engenheiro Mecânico com Especialização em Administração (UFBA). Gerente de Manutenção da Unidade de Negócios de Polipropileno da Quattor.

[jkirkpatrick@quattor.com.br](mailto:jkirkpatrick@quattor.com.br)

### **JULIO HARUMITSU FURUKAWA**

Engenheiro Mecânico (UnB). Especialização em Inspeção de Equipamentos pela Petrobras e MBA em Gestão Estratégica de Negócios (FIA-FEA/USP). Gerente Geral Adjunto da Refinaria Landulpho Alves em Mataripe (São Francisco do Conde-BA).

### **ROBERT GERARD OUBRE**

Formação em Tecnologia de Engenharia (ITI). Gerente de Fábrica (HyCO) da Air Products Brasil (Camacari-BA).

[oubre@airproducts.com](mailto:oubre@airproducts.com)

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivo

**P**ara o evento dos 30 anos do Pólo Industrial de Camaçari, o Comitê de Fomento Industrial de Camaçari (Cofic) organizou alguns grupos de trabalho para debater questões relevantes. Um desses grupos foi direcionado a tratar do assunto matérias-primas e matriz energética.

O grupo de trabalho tinha como pano de fundo a visão de se ter um Pólo Industrial globalmente competitivo, integrado e sustentável, com desempenho de primeira classe, e atrativo para novos investimentos. Tornando-se necessária a disponibilidade de matérias-primas e energéticos competitivos para assegurar o desenvolvimento sustentável e a integração das empresas atuais, além da atração de novos empreendimentos.

O objetivo do grupo foi uma avaliação sintética da situação atual de matérias-primas e da matriz energética do Pólo, assim como das perspectivas futuras com foco nos seguintes aspectos:

- análise das cadeias de produção existentes;
- ameaças à disponibilidade de matérias-primas e insumos;
- integração entre as empresas e oportunidades de novos negócios;
- disponibilidade e competitividade da matriz energética.

### 1.2 Metodologia

Foram consultadas as empresas associadas do Cofic quanto aos seus produtos e co-produtos, matérias-primas, quantidades importadas e exportadas e matriz energética, tanto para as informações atuais quanto para as projeções para cinco e dez anos. Também foram consultadas informações de entidades afins com o segmento industrial.

Do total de 51 empresas consultadas, 39 responderam sobre as informações solicitadas. Estima-se que as empresas que não responderam correspondem a menos de 5% das quantidades de produtos movimentados no Pólo Industrial.

Os dados recebidos foram compilados e tratados, permitindo estabelecer algumas conclusões que mostraremos neste material.

Os dados e informações apresentados pelas empresas estão sob guarda com reservas no Cofic. As informações futuras não asseguram que as empresas realizarão os projetos de ampliação do Pólo.

### 1.3 Informações Gerais

Dos dados coletados pelo grupo, extraem-se algumas informações:

- No Pólo, cerca de 120 produtos são comercializados:
  - 79 orgânicos;
  - 41 inorgânicos.
- Empresas que encerraram atividades: 14
- Novas atividades: 12
- Em geral, os ativos atuais apresentam baixa escala de produção e uma relativa defasagem tecnológica.
- Foram identificadas e selecionadas quatro cadeias de produção:
  - química/petroquímica/fertilizantes
  - metalurgia
  - celulose
  - automotiva

### Unidades fora de operação

- DMT/ PET (Braskem)
- Estireno e Poliestireno (Dow)
- Celosize (Dow)
- Metionina (Rhodia)
- Silicone (Silinor )
- SBR (Bayer)
- Melamina (Melanor)
- Anidrido Maleico (Ciquine)
- Fibras (Fisiba/Celanese/Cobafi)
- Ácido Sulfúrico (Sulfab)

- Derivados clorados (Nitroclor)
- Elastômeros (Nitriflex)
- Óleos (Recinor)
- Índigo (Nitronor)

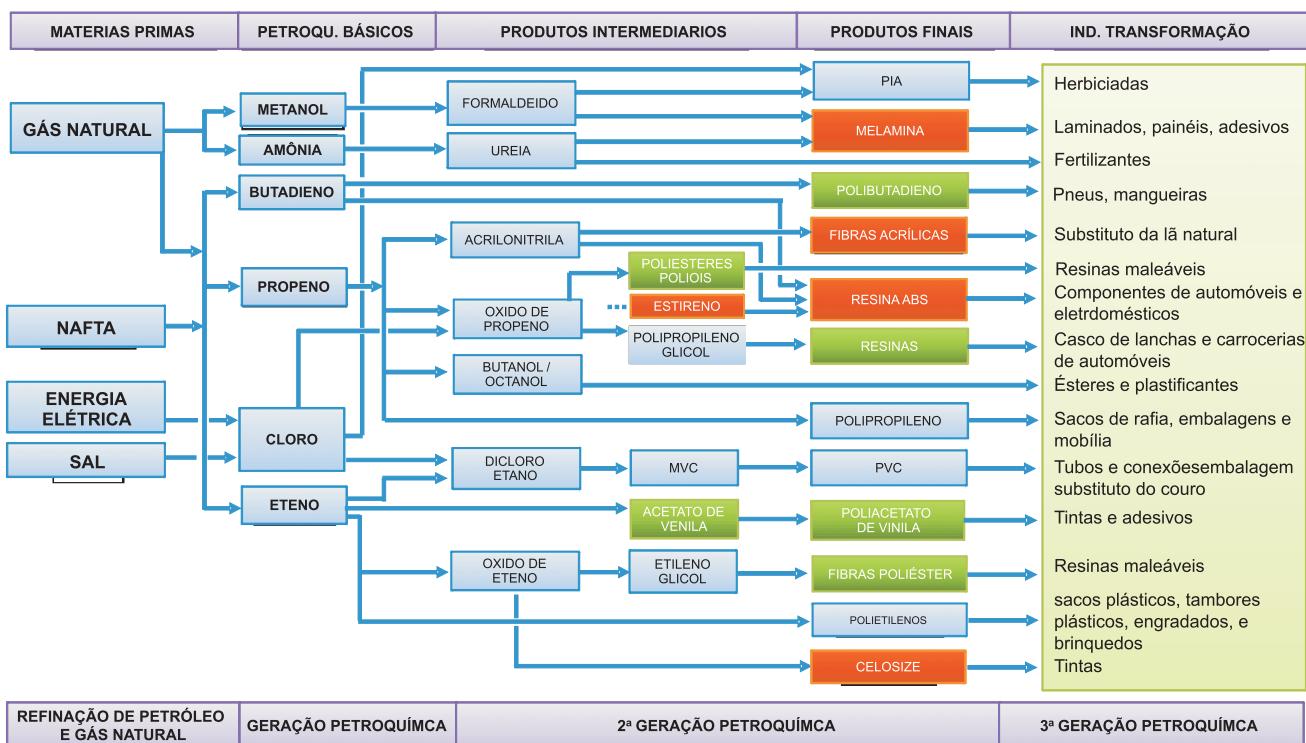
### Novas unidades industriais

- Acqua Service
- BMD Têxteis
- Columbian
- Kordsa
- Monsanto
- Peroxy
- Taminco

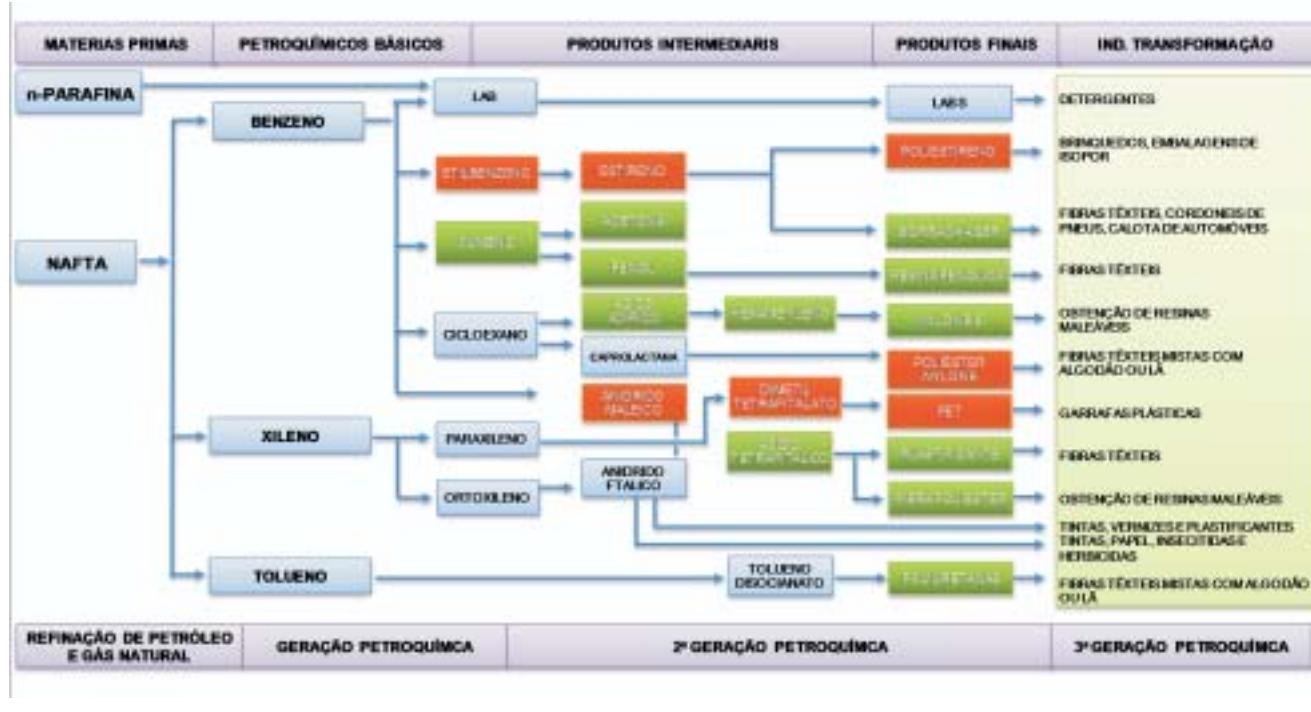
- ITF
- Ind. Auto Jardim
- Ford
- Bridgestone
- Continental

## 2 CADEIAS PRODUTIVAS DO PÓLO INDUSTRIAL

As Figuras 1 e 2 apresentam os produtos orgânicos, compreendendo as cadeias petroquímica, química e de fertilizantes. Podemos observar as matérias-primas, os produtos petroquímicos básicos (primeira geração), os produtos intermediários e finais (segunda geração) e os produtos da indústria de transformação (terceira geração).



**FIGURA 1 – Cadeia de produtos orgânicos do Pólo**



**FIGURA 2 – Cadeia de produtos orgânicos do Pólo**

## 2.1 Química, Petroquímica e Fertilizantes

A cadeia petroquímica/química/fertilizantes foi a primeira e a maior a instalar-se no Pólo Industrial. Após mapeá-la, verifica-se através das Figuras 1 e 2 que:

- muitas atividades foram encerradas, principalmente na segunda geração;
- muitas atividades nem foram instaladas para completar a cadeia, incluindo-se aí a terceira geração (constituída por produtos mais perto dos consumidores);
- a quebra de cadeia, seja por fechamento de atividades, seja por não ter sido instalada originalmente, requer a adição de custos de transporte para o deslocamento dos produtos a serem processados fora da

região, onerando a cadeia de produção, principalmente se os produtos forem commodities gasosas e líquidas;

- quando os produtos produzidos são exportados, tem-se uma perda de competitividade na colocação de commodities no mercado internacional; fatos desse tipo ficam bem caracterizados quando se observam as grandes quantidades de petroquímicos básicos benzeno, para-xileno e propeno que são exportadas;
- a falta de unidades fabris para processamento das cadeias dentro do Pólo caracteriza a perda de oportunidade em geração de empregos e divisas para o Estado.

A Tabela 1 apresenta as principais matérias-primas básicas da cadeia em referência.

**TABELA 1** – Matéria-prima básica (t/ano)

Matéria prima	Imp. %	Origem	2008*	2013**	2018**
Gás Natural MP	0	Brasil	432.461	478.688	517.233
Nafta	30	Argélia, Nigéria, Brasil, Líbia e Argentina	4.315.926	4.315.926	4.315.926
n-Parafina	40	Espanha e Brasil	248.100	248.100	248.100
Cloreto de Sódio	0	Brasil	424.500	424.500	424.500
Concentrado de Fósforo	100	Egito, Argélia e Togo	132.000	153.014	177.408
Calcário Calcítico	0	Brasil	19.200	38.400	57.600
Ilmenita	0	Brasil	100.000	105.263	114.035
Escoria de Titânio	100	Africa do Sul	14.400	15.158	16.421
Cloro	0	Brasil	321.200	401.600	433.700
<b>TOTAL</b>			<b>6.007.787</b>	<b>6.180.649</b>	<b>6.304.923</b>
<b>%</b>			<b>100</b>	<b>102,9</b>	<b>104,9</b>

NOTA – \* atual; \*\* estimado

A cadeia petroquímica do Pólo Industrial de Camaçari é baseada na nafta, sendo que cerca de 30% desta são importados.

As projeções das empresas que responderam ao questionário mostram que não se prevê grandes crescimentos para essa cadeia dentro dos próximos dez anos.

Especificamente em relação à nafta, o crescimento é zero. Podemos concluir que não estão previstas ampliações de produção derivadas da matéria-prima básica mais relevante para o Pólo, indicando uma estagnação da cadeia petroquímica.

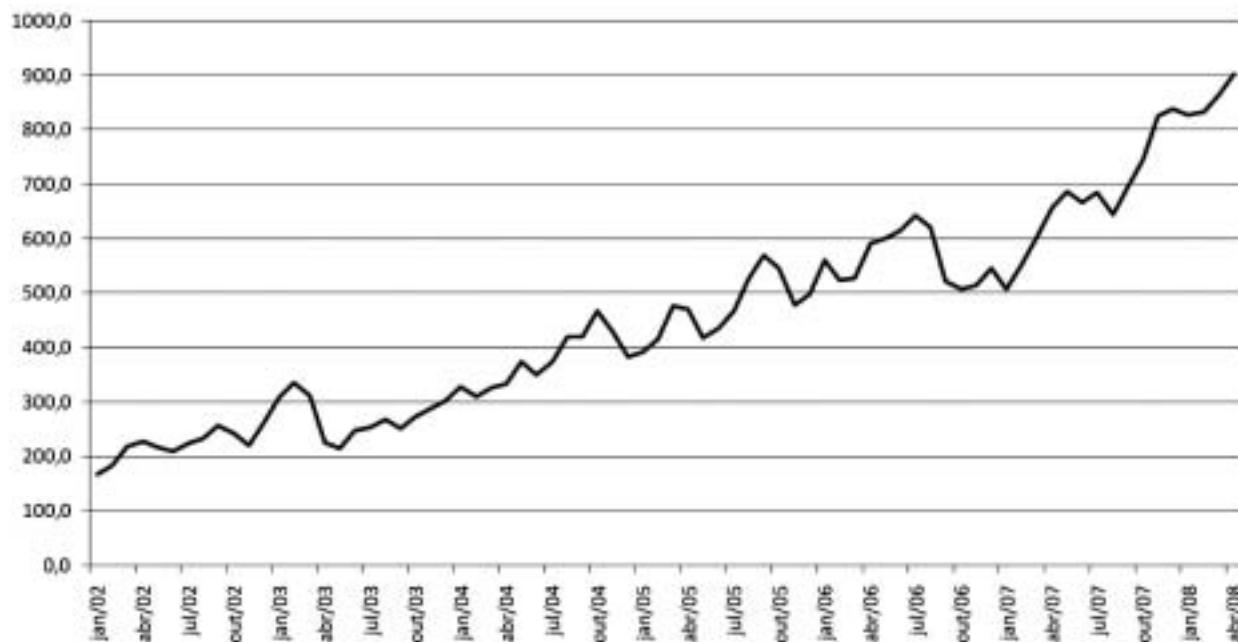
Associadas a essa estagnação, registram-se fábricas sem escala e com tecnologias relativamente defasadas.

Um dos fatores críticos para a competitividade da cadeia petroquímica é o acesso à matéria-prima compe-

titiva. Grande parte dos novos pólos petroquímicos estão sendo instalados próximos a fontes de gás natural onde se pode segregar o etano como principal matéria-prima, com custos significativamente mais competitivos do que a nafta.

A Figura 3 mostra a evolução do preço da nafta de janeiro de 2002 até abril de 2008. Alguns fatores que deixam a nafta com perda de competitividade são: a forte dependência do mercado de combustíveis derivados do petróleo, a parcela de energéticos e solventes inerentes ao seu conteúdo, e a geração de uma quantidade de derivados aromáticos cujos preços são instáveis no mercado internacional.

As Tabelas 2, 3, 4 e 5, acompanhadas de breves comentários, sintetizam as informações compiladas dos dados enviados pelas empresas associadas do Cofic.



**FIGURA 3 – Evolução do preço da nafta em US\$/t**

FONTE – Braskem, abr. 2008

**TABELA 2 – Produtos orgânicos básicos (t/ano)**

Produtos	Pólo	Não Pólo	Exportação	2008*	2013**	2018**
Metanol	82.500	0	0	82.500	82.500	140.250
Eteno	970.000	200.000	0	1.170.000	1.170.000	1.170.000
Propeno	330.000	0	230.000	560.000	560.000	560.000
Benzeno	110.000	0	300.000	410.000	410.000	410.000
Butadieno	0	146.000	0	146.000	146.000	146.000
P-Xileno	0	0	173.000	173.000	173.000	173.000
Orto-Xileno	40.000	30.000	0	70.000	70.000	70.000
Tolueno	28.000	21.000	0	49.000	49.000	49.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.560.500</b>	<b>397.000</b>	<b>703.000</b>	<b>2.660.500</b>	<b>2.660.500</b>	<b>2.718.250</b>
%	58,7	14,9	26,4	100,0	100,0	102,2

NOTA – \* atual; \*\* estimado

### Comentários

- Cerca de 40% dos produtos orgânicos básicos não são processados dentro do pólo e 26% são exportados; exportar produtos orgânicos básicos pode significar perda de competitividade por se pagar fretes mais caros, na competição no mercado internacional de commodities, além da perda de oportunidade de se desenvolver a cadeia de produção localmente.

- Não há previsão de crescimento da cadeia de orgânicos nos próximos dez anos.

**TABELA 3 – Produtos inorgânicos básicos (t/ano)**

Produtos	Pólo	Não Pólo	Exportação	2008*	2013**	2018**
Amônia	334.620	47.000	0	381.620	462.000	462.000
Acido Sulfúrico	376.000	49.000	0	425.000	470.000	515.000
Acido Nítrico	36.300	0	0	36.300	120.000	120.000
Cloro	321.200	0	0	321.200	401.600	433.700
Soda Caustica	142.000	220.000	0	362.000	452.500	488.700
<b>TOTAL</b>	<b>1.210.120</b>	<b>316.000</b>	<b>0</b>	<b>1.526.120</b>	<b>1.906.100</b>	<b>2.019.400</b>
%	79,3	20,7	0,0	100,0	124,9	132,3

NOTA – \* atual; \*\* estimado

#### Comentários

- No caso dos produtos inorgânicos básicos, cerca de 20% são processados fora da região do pólo industrial e não há exportação. Registra-se um melhor beneficiamento desses produtos na região.
- Há uma previsão de crescimento de cerca de 32%.

**TABELA 4 – Produtos a processar (t/ano)**

Produtos	Pólo	Não Pólo	Exportação	2008
POLIETILENO	0	513.400	66.500	579.900
LAB	0	211.000	9.000	220.000
PVC	46.300	191.200	21.200	258.700
MONOETILENOGLICOL	45.250	187.000	17.750	250.000
GLICÓIS	0	103.000	0	103.000
POLIPROPILENO	24.400	100.600	0	125.000
LAS	0	72.800	7.200	80.000
PIA	0	70.000	30.000	100.000
TDI	0	48.000	12.000	60.000
OUTROS	306.250	856.800	151.250	1.314.300
<b>TOTAL</b>	<b>422.200</b>	<b>2.353.800</b>	<b>314.900</b>	<b>3.091.000</b>
%	13,7	76,1	10,2	100,0

#### Comentário

- Um percentual significativo de produtos, cerca de 76%, que poderiam ser processados no Pólo, são enviados para outras regiões do país para processamento e produção de bens de maior valor agregado.

**TABELA 5 – Crescimento da capacidade de produção (t/ano)**

Produto Orgânico	2008*	2013**	2018**
ÓXIDO DE ETENO	250.000	350.000	350.000
GLICOIS	103.000	105.000	115.000
PIA	100.000	130.000	160.000
ACRILONITRILA	90.000	110.000	130.000
METANOL	82.500	82.500	140.250
TDI	60.000	90.000	90.000
ACETONA CIANIDRINA	40.000	65.000	85.000
METIL METACRILATO	40.000	60.000	80.000
n-BUTANOL	31.000	48.000	53.000
2 ETILHEXANÓICO	8.000	10.000	15.000
OUTROS	3.851.600	3.924.500	3.948.750
<b>TOTAL</b>	<b>4.656.100</b>	<b>4.975.000</b>	<b>5.167.000</b>
%	100	105	108

NOTA – \* atual; \*\* estimado

### Comentário

- A previsão de crescimento da capacidade de produção de produtos orgânicos é tímida, estando alinhada com a pequena previsão futura de necessidade de matérias-primas e de aumento de produção de orgânicos básicos.

### Oportunidades

Embora as previsões futuras para o crescimento do Pólo Industrial sejam preocupantes, agravadas pela falta de atualização tecnológica e pelas baixas escalas de produção das indústrias instaladas, algumas oportunidades estão relacionadas a seguir.

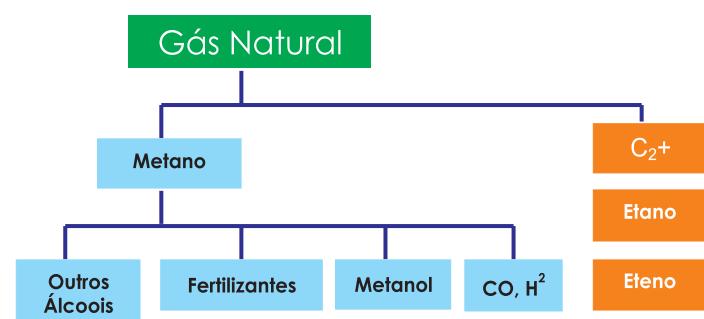
#### • Desenvolvimento da Cadeia de Gás Natural

- Uso nobre do gás natural (matéria-prima)
- Compatibilizar escalas de produção das unidades industriais

O uso mais nobre do gás natural deveria ser como matéria-prima e depois como energético. Como matéria-prima, no Pólo Industrial utiliza-se o gás natural na produção de fertilizantes e nas reformas (produção de CO, metanol e alcoóis), nestas últimas em baixa escala de produção.

Um outro uso nobre do gás natural é a segregação do conteúdo de moléculas com dois ou mais carbonos para processar na cadeia do plástico. Embora a região não

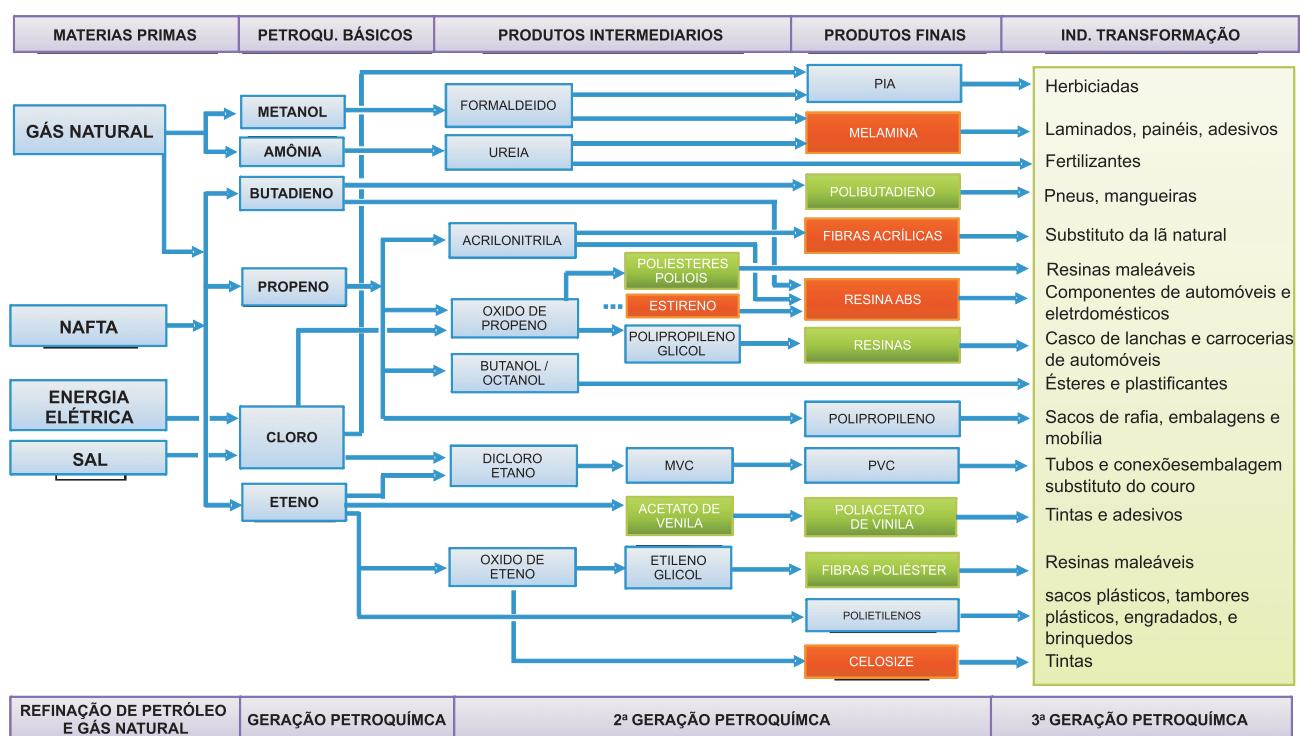
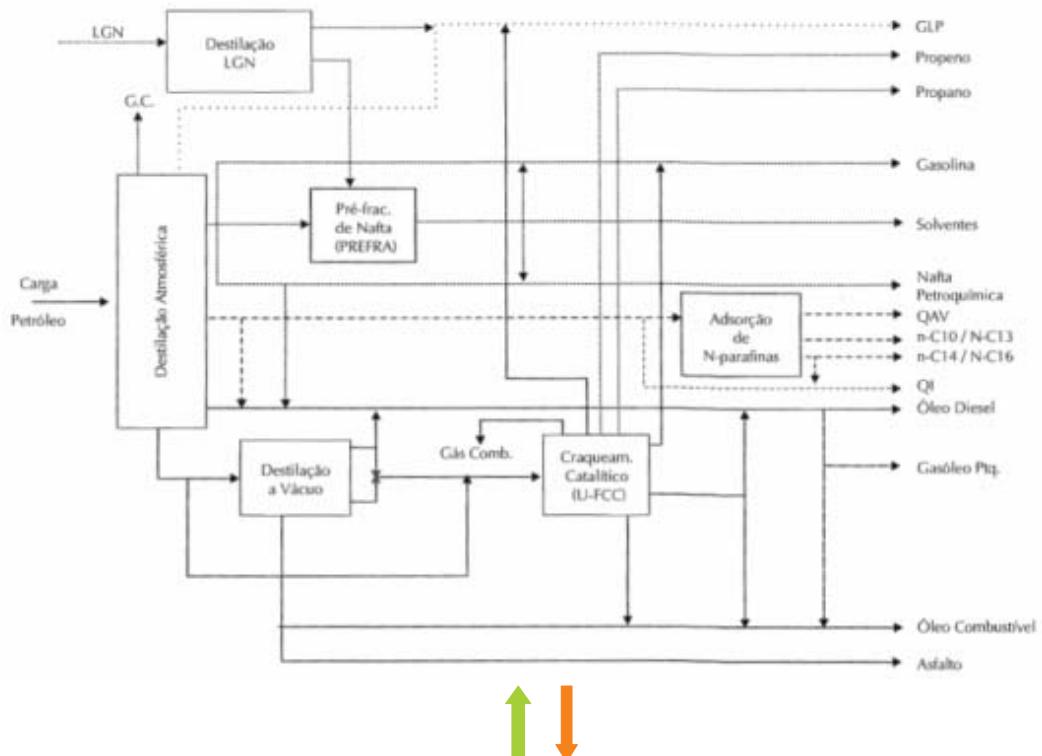
tenha vocação para grandes produções de derivados de petroquímicos dessa natureza através do gás natural, praticamente não se aproveitam as moléculas com dois ou mais carbonos, que são queimadas como combustíveis (uso menos nobre do gás natural).

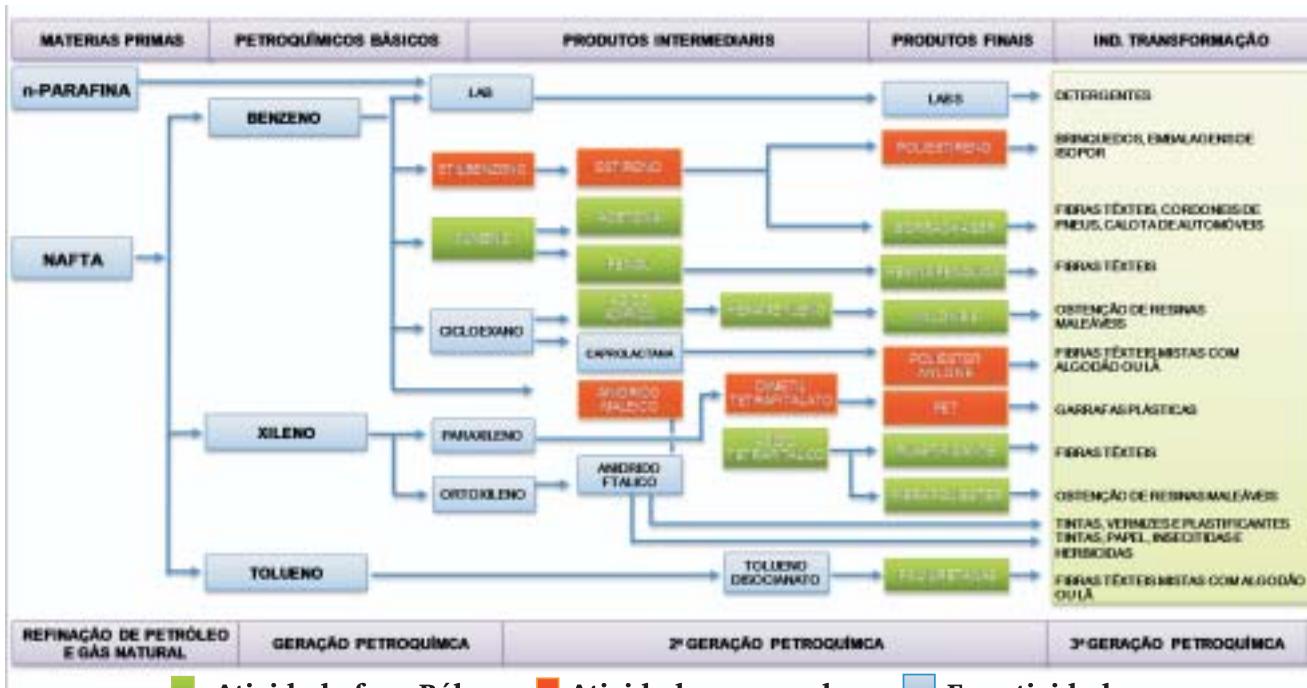
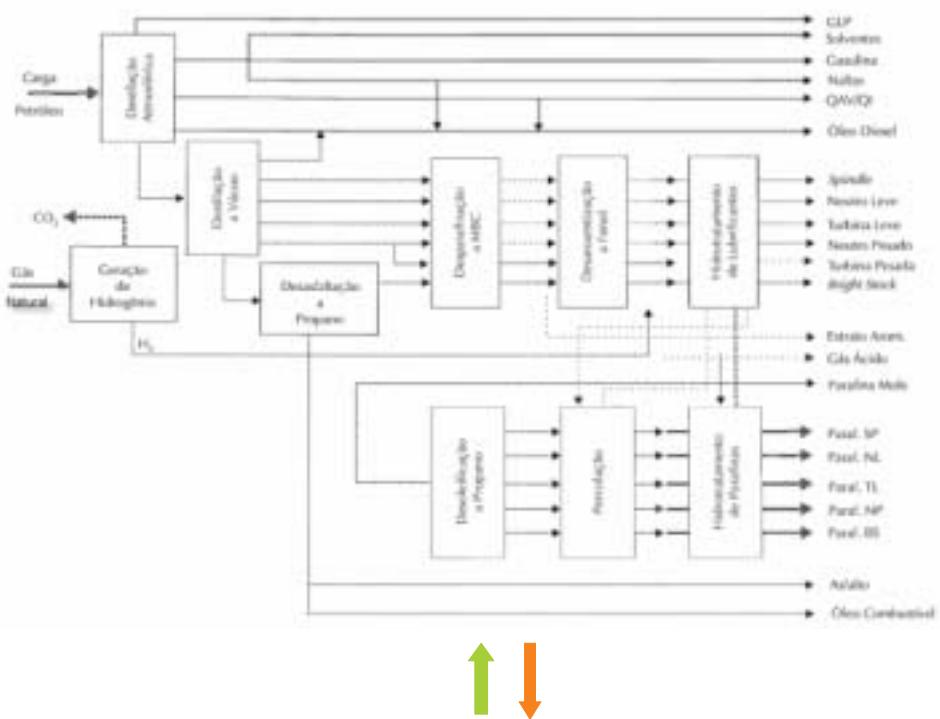


**FIGURA 4 – Cadeia do gás natural como matéria-prima**

**LEGENDA** – Azul - existe no pólo; laranja - pouca utilização dessa rota no pólo.

• Maior integração entre Refinaria e Petroquímica: MP e Produtos

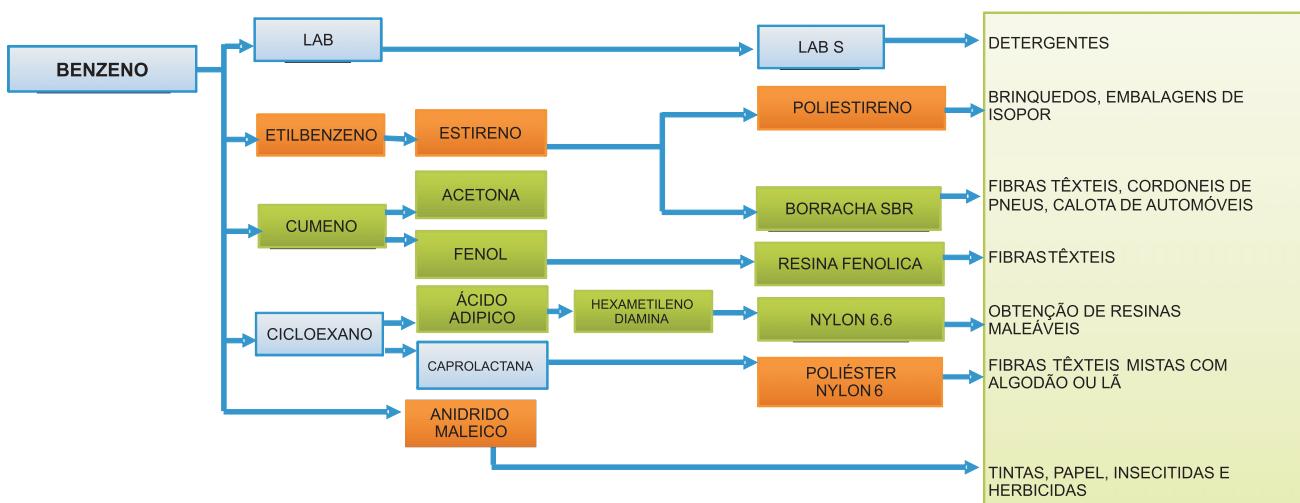




**FIGURA 5 – Interações produtos de refinaria e a cadeia petroquímica**

Atenção deve ser dada à exploração de oportunidades nas trocas de correntes entre a refinaria Landulfo Alves (RLAM) e o Pólo Petroquímico. Necessita de vontade empresarial e política para promover essa melhor integração.

### ● Industrialização do Benzeno Exportado

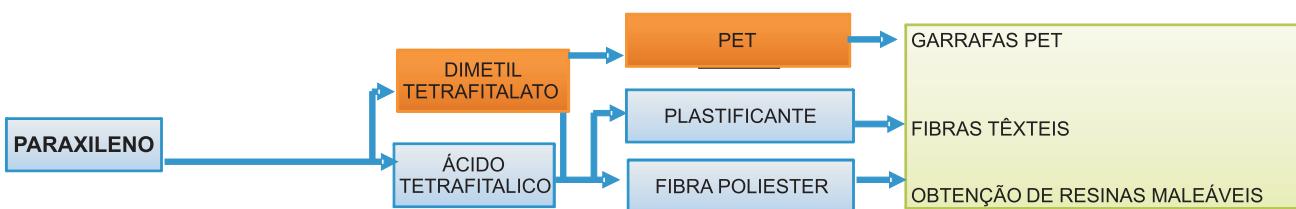


**FIGURA 6 – Cadeia do benzeno**

**LEGENDA** – Azul - atividade existente no pólo; laranja - atividade encerrada; verde - atividade fora do Pólo.

Verificam-se oportunidades no preenchimento da cadeia do benzeno. Requer esforços empresariais e políticos para o desenvolvimento industrial nesse sentido.

### ● Industrialização do para-Xileno importado



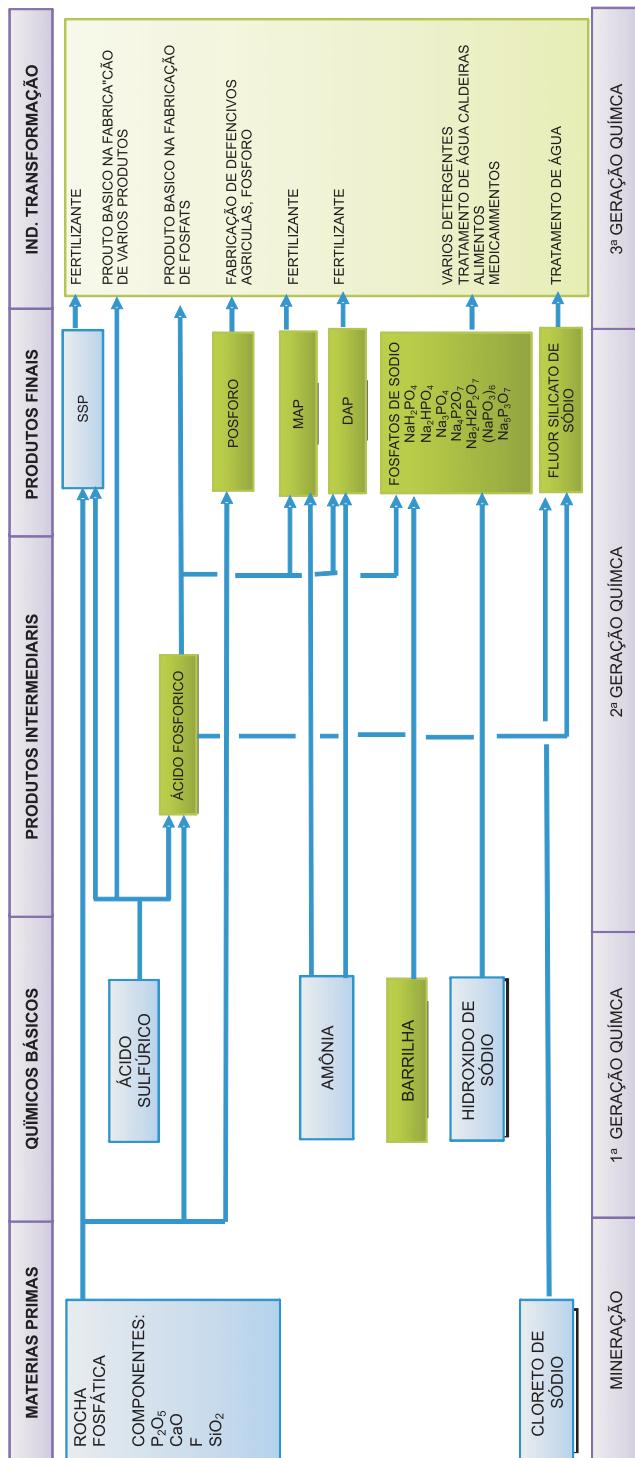
**FIGURA 7 – Cadeia do para-xileno**

**LEGENDA** – Azul - atividade existente no pólo; laranja - atividade encerrada; verde - atividade fora do Pólo.

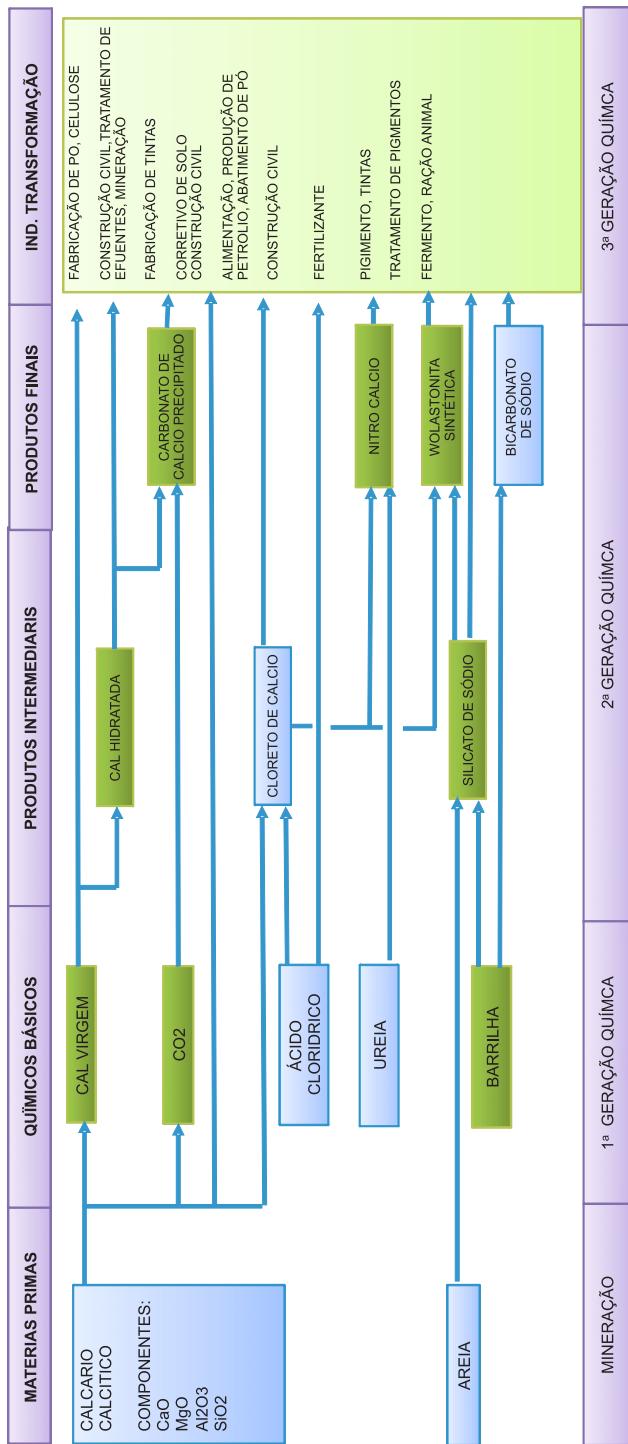
Verificam-se oportunidades no preenchimento da cadeia do paraxileno. Requer esforços empresariais e políticos para o desenvolvimento industrial nesse sentido.

### • Novas Rotas ou Produtos

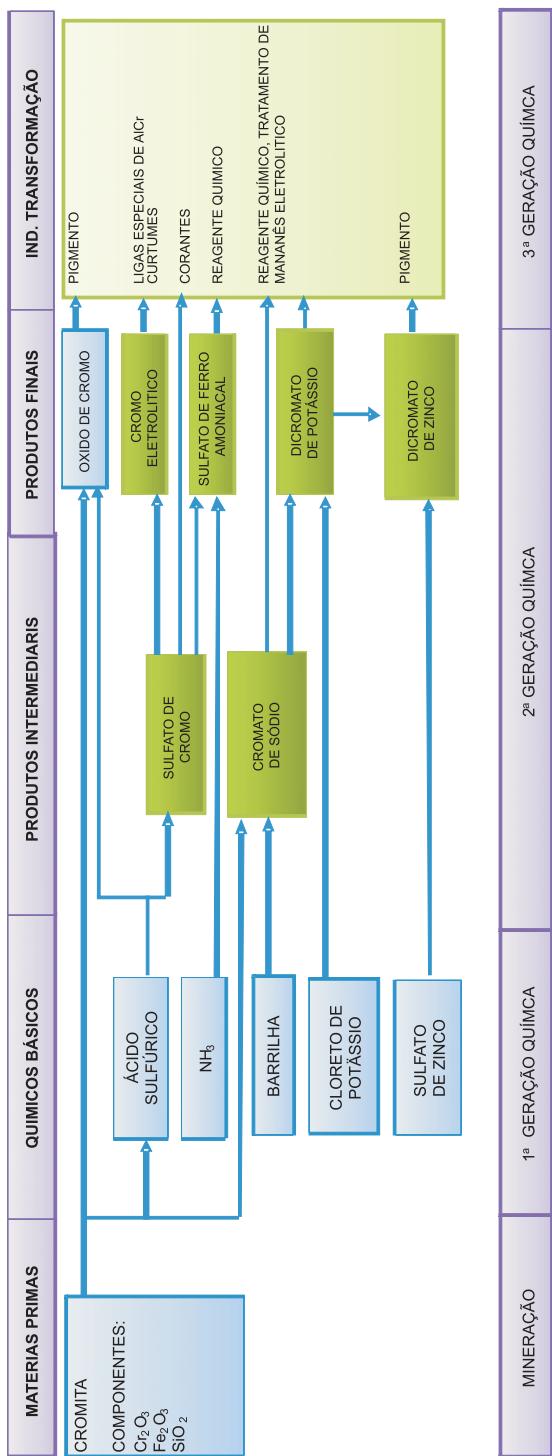
Algumas rotas de produção não existem dentro do pólo industrial, estando, porém, disponíveis as matérias-primas e os insumos. Faz-se necessário envidar esforços empresariais e políticos para o desenvolvimento dessas cadeias de produção. Exemplos são as cadeias apresentadas nas Figuras 8 a 11.



**FIGURA 8 – Rocha fosfática**  
**LEGENDA – Azul - atividade existente; verde - atividade não existente.**

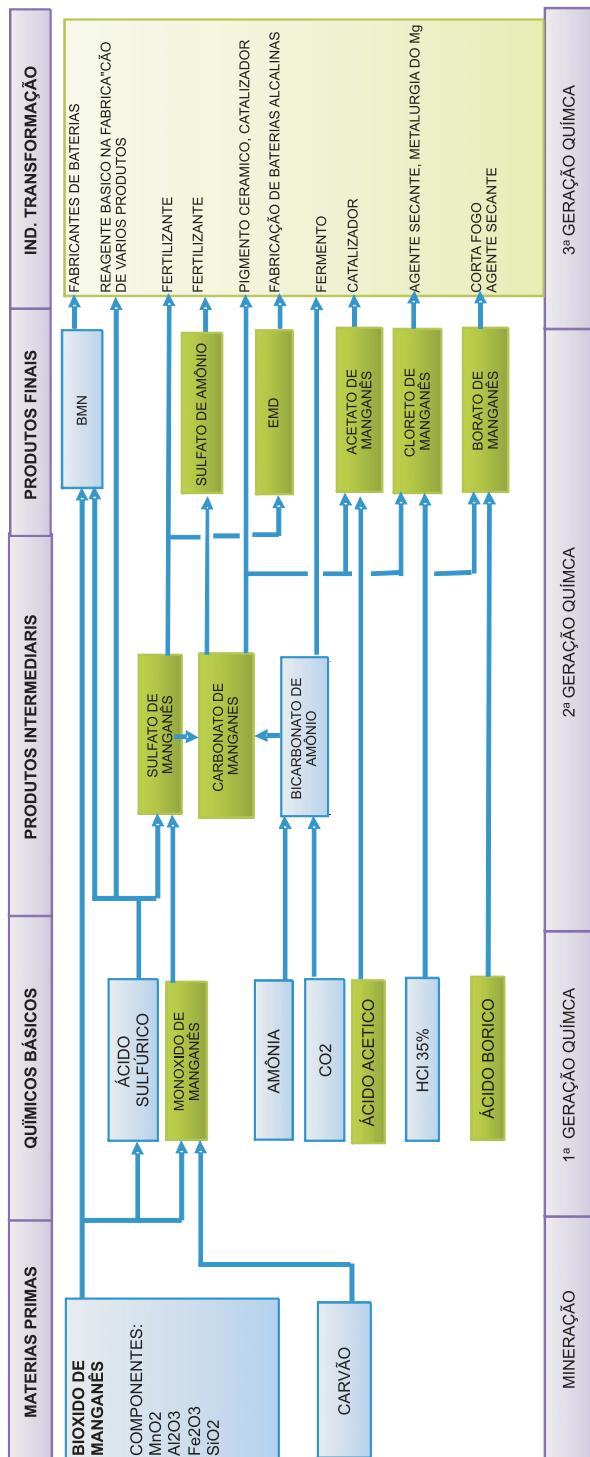


**FIGURA 9 – Calcário calcítico**  
**LEGENDA – Azul - atividade existente; verde - atividade não existente.**



**FIGURA 10 – Minério de cromo**

**LEGENDA – Azul - atividade existente; verde - atividade não existente.**



**FIGURA 11 – Minério de manganês**  
LEGENDA – Azul - atividade existente; verde - atividade não existente.

## Conclusões sobre a Cadeia Química/Petroquímica/Fertilizantes

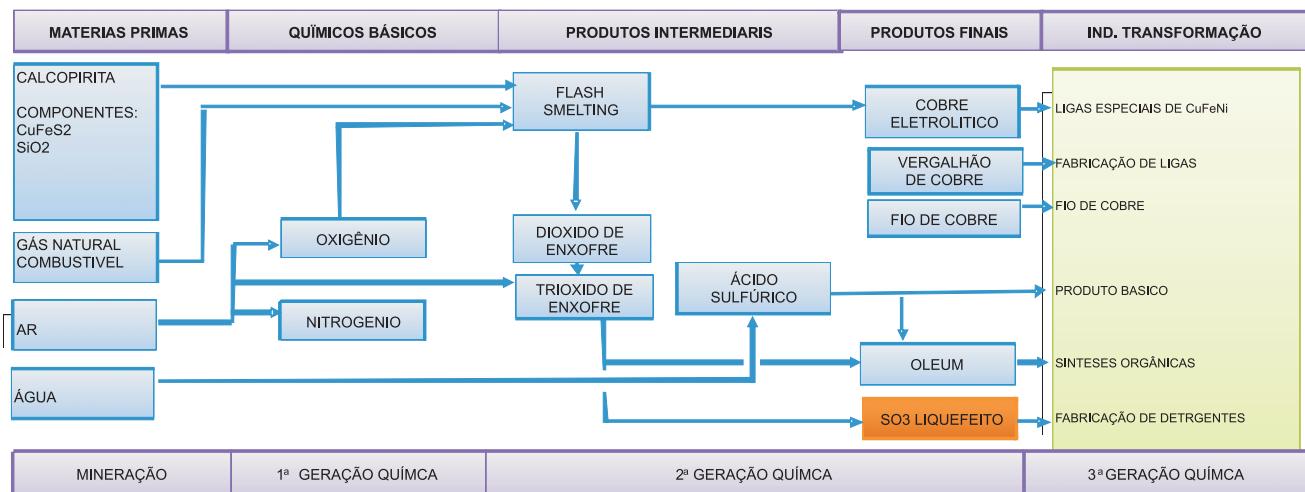
- Muitas atividades foram interrompidas com o fechamento de fábricas por perda de competitividade e rentabilidade.
- As escalas de produção dos ativos instalados são relativamente baixas, fator de baixa competitividade.
- Não há sinalização de crescimento da cadeia petroquímica no horizonte de dez anos.
- Discreta estimativa de crescimento das cadeias química e de fertilizantes em dez anos.
- Significativo percentual de produtos a processar saindo do Pólo ou sendo exportados.
- Necessidade de uma política industrial para a nafta petroquímica que restabeleça a competitividade dos pólos base nafta frente aos novos pólos instalados no mundo à base de gás.
- Oportunidade de maior integração entre as correntes das empresas instaladas.
- Oportunidade de melhor utilização das moléculas do gás natural.

- Oportunidade de integração de correntes com a refinaria.
- Oportunidade de recompor a cadeia petroquímica, processando as correntes que saem do Pólo ou que são exportadas, aproveitando para realizar atualizações de escalas de produção e de tecnologia.
- Oportunidade para desenvolver no estado a indústria de transformação (terceira geração) e novas rotas industriais.

Diversas ações, nos âmbitos governamental e industrial, precisam ser desenvolvidas para fins de restabelecimento da competitividade do pólo petroquímico, principalmente quanto à sua matéria-prima principal (nafta), às capacidades de produção e à tecnologia. Além de ações para o aproveitamento de oportunidades.

## 2.2 Metalurgia

A cadeia metalúrgica é relativamente pequena e caracterizada pela unidade industrial da Caraíba Metais que processa o minério de cobre.



**FIGURA 12 – Cadeia metalúrgica do cobre**

## Matéria-prima

A principal matéria-prima da Caraíba Metais é o minério de cobre, mais conhecido como concentrado de cobre, oriundo da América Latina (Chile, Brasil, Peru e Argentina), de Portugal e Indonésia.

A quantidade de concentrado de cobre anualmente adquirida é de 650.000 toneladas, com composição química média na faixa de 32% de cobre, 26% de ferro e 29% de enxofre. Metais como ouro e prata normalmente estão presentes no concentrado de cobre.

## Produtos

- 1. Vergalhão de Cobre (CONTIROD®)**

### Aplicações

O vergalhão de cobre eletrolítico da Caraíba Metais é utilizado na fabricação de condutores elétricos metáli-

cos, sendo aplicado em larga escala na produção de eletroeletrônicos, telefonia, telecomunicações, transmissão de energia, na indústria automobilística, na construção civil, e também no setor de informática.

- 2. Fio de Cobre Trefilado**

### Aplicações

O Fio de Cobre Trefilado eletrolítico da Caraíba Metais é utilizado na fabricação de condutores elétricos metálicos, sendo aplicado em larga escala na produção de eletroeletrônicos, telefonia, telecomunicações, transmissão de energia, na indústria automobilística, na construção civil, e também no setor de informática.

- 3. Ácido Sulfúrico 98%**

- 4. Oleum**

**TABELA 6** – Destino do cobre produzido (t/ano)

Produtos	Pólo	Não Pólo	Exportação	2008*	2013**	2018**
COBRE	0	58.400	122.200	180.600	200.000	220.000
ÁCIDO SULFÚRICO 98%	374.252	49.248	0	423.500	468.900	515.700
<b>TOTAL</b>	<b>374.252</b>	<b>107.648</b>	<b>122.200</b>	<b>604.100</b>	<b>668.900</b>	<b>735.700</b>
%	62,0	17,8		20,2	100,0	110,7
						121,8

NOTA – \* atual; \*\* estimado

## 2.3 Celulose

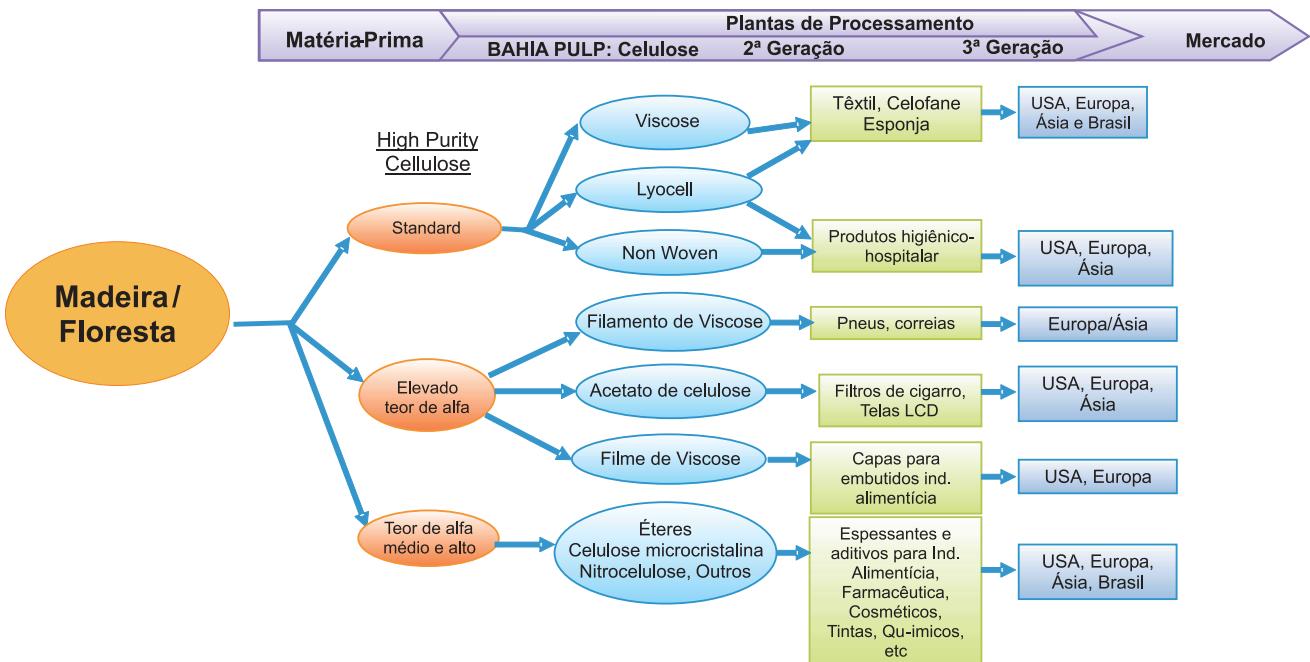
A cadeia da celulose é representada pela unidade industrial da Bahia Pulp, pertencente ao RGM Group.

Utilizando madeira de eucalipto como matéria-prima, proveniente de floresta plantada, a Bahia Pulp produz celulose de alta pureza para derivados celulósicos.

A cadeia de celulose no Pólo tem uma vantagem competitiva por estar próxima da matéria-prima, apresentando esta destacado rendimento florestal.

A planta original, com capacidade de 115.000 t/ano de celulose, teve ampliação em 2008 com a instalação de uma nova linha que pode chegar a 350.000 t/ano, totalizando 465.000 t/ano de capacidade.

A Figura 13 apresenta a cadeia de celulose de alta pureza. Podemos considerar que esta rota da celulose é uma especialidade quando comparada com as aplicações tradicionais para a fabricação de papéis.



**FIGURA 13 – Cadeia da celulose de alta pureza**

Seguem algumas aplicações da celulose de alta pureza:

#### **Viscose - Lyocell - Filamentos - Esponjas e Filmes**

- Tecidos de viscose (rayon)
- Fios de elevada qualidade (filamento têxtil)
- Celofane (para embalagens)
- Esponjas

#### **Acetato de Celulose**

- Filtros de cigarros
- Películas para monitores de cristal líquido (LCD)
- Armações de óculos, cabos de ferramentas

#### **Indústria Alimentícia e Farmacêutica**

- Remédios (cápsulas e drágeas)

- Batons e cosméticos, ligante para pasta de dente, agentes protetores para creme, espessantes e estabilizantes
- Agentes espessantes para alimentos industrializados (Catchup e bebidas lácteas)
- Retardante de cristalização para congelados e sorvetes
- Invólucros para salsichas e embutidos

#### **Químicos e outras utilizações**

A celulose solúvel é matéria-prima ainda para produtos de alta qualidade da indústria química, como:

- Nitrocelulose para componente de tintas especiais e explosivos
- Filamentos de alta tenacidade para pneus e mangueiras de alta pressão
- Plásticos moldados

Na Tabela 7 estão os principais insumos dessa cadeia e sua previsão de crescimento para 2013, quando se pretende estar a plena capacidade e com eventual aumento de

escala. A maior parte dos insumos utilizados são provenientes do Pólo Industrial. Na Tabela 8, está a previsão de aumento de consumo de madeira eucalipto em 2013.

**TABELA 7** – Principais insumos da cadeia de celulose e previsão de crescimento para o período 2008-2013

Principais insumos	2008	2013
Hidróxido de sódio	5.000	15.000
Ácido sulfúrico	5.000	15.000
Oxigênio	1.670	5.000
Peróxido de hidrogênio	1.170	3.500
Cal	2.000	6.000
Clorato de sódio	2.670	8.000
<b>Energia</b>		
GNP	14MM	42 MM
GLP	0.8MM	2,5 MM

**TABELA 8** – Previsão de consumo de madeira de eucalipto para o período 2008-2013

Máteria-prima	2008	2013
Madeira Eucalipto	700.000	2.500.000

No Pólo Industrial está implantado o início da cadeia de celulose, com a produção da celulose de alta pureza, compreendendo a primeira geração. Não tem implantadas a segunda e a terceira gerações, que podemos considerar como uma oportunidade para o desenvolvimento da cadeia na região, com produtos de maior valor agregado.

Houve inclusive o encerramento das atividades da unidade da Dow que produzia éter de celulose.

O mercado internacional é o maior destino atual da celulose de alta pureza.

## 2.4 Automotivo

A cadeia automotiva no Pólo Industrial é a mais recente instalada e tem se apresentado competitiva. É represen-

tada principalmente pela unidade de fabricação de automóveis da Ford, que congrega outras empresas em um sistema de produção.

Este trabalho não explorará em mais detalhes essa cadeia. Seguem algumas características básicas.

- A mais nova cadeia do Pólo Industrial de Camaçari
- 29 Empresas
- 10 mil empregos diretos
- Produção de 250 mil veículos/ano
- 60% das Vendas saem de Camaçari

### 3 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA

#### 3.1 Introdução

Conforme mostrado na Tabela 9, o Pólo Industrial de Camaçari consome em termos energéticos cerca de 1,4% de todo o consumo do Brasil.

**TABELA 9** – Balanço Energético Nacional 2006

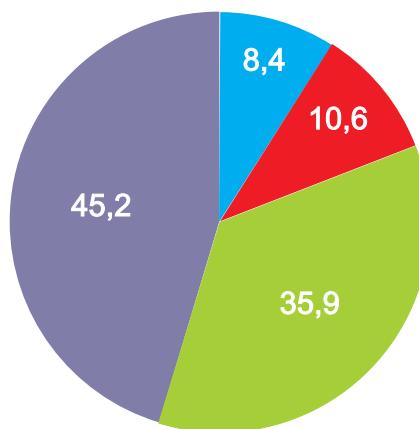
	TEP X 1000	Participação (%)
Consumo Brasil	202.900	100,0
Setor Industrial	76.757	37,8
Indústria Química	7.364	3,6
Pólo Industrial Camaçari	2.894	1,4

FONTE – EPE, 2007

#### Consumo Energético do Pólo

As Figuras 14 e 15 mostram que a matriz energética do Pólo Industrial é baseada em óleo combustível, gás natural, combustíveis gerados internamente e energia elétrica. 45% da matriz energética são gerados internamente

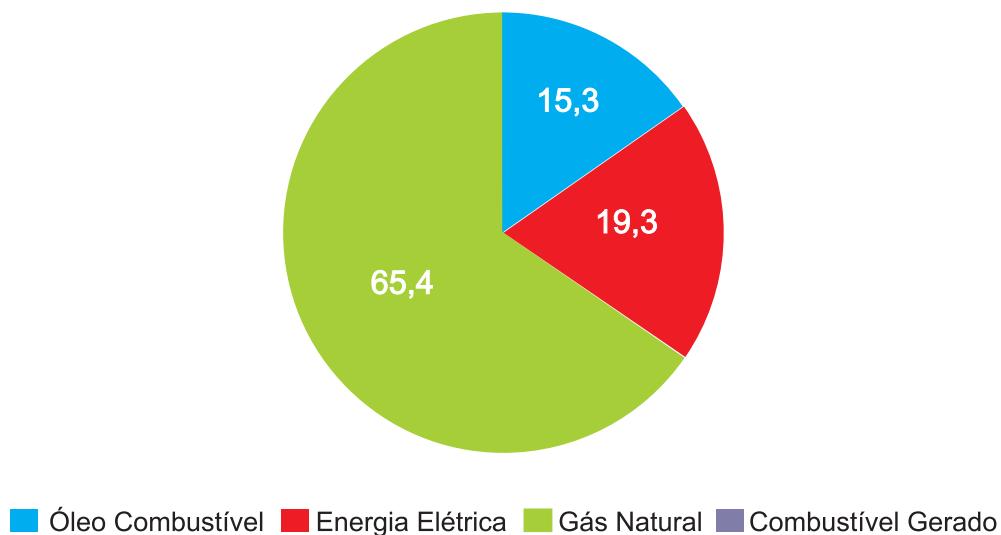
no pólo, sendo grande parte dessa parcela o conteúdo energético que está presente na principal matéria-prima, a nafta. O segundo insumo energético mais consumido é o gás natural, seguido de energia elétrica e óleo combustível.



■ Óleo Combustível ■ Energia Elétrica ■ Gás Natural ■ Combustível Gerado

**FIGURA 14** – Porcentagem de distribuição da matriz energética (base consumo energético)

FONTE – COFIC, 2008



**FIGURA 15** – Porcentagem de distribuição da matriz energética excluindo-se os combustíveis gerados internamente

FONTE – COFIC, 2008

NOTA – Considera-se aqui somente os energéticos adquiridos externamente (base consumo energético).

A Figura 15 mostra a importância do gás natural na matriz energética do Pólo Industrial quando se considera somente os energéticos adquiridos externamente. Gás natural corresponde a 65,4% do total energético consumido pelas empresas.

### 3.2 Gás Natural

**TABELA 10** – Aplicações e quantidades de gás natural no Pólo Industrial de Camaçari

Aplicação	Mil m <sup>3</sup> /dia	%
<b>Matéria-Prima</b>	1.600	33
Metanol	190	4
Fertilizante	990	20
Oxi-Alcoois	130	3
Gás de Síntese	290	6
Eteno (potencial)	-	
<b>Combustível</b>	3.300	67
<b>Total</b>	4.900	100

Do total de gás natural consumido no Pólo Industrial de Camaçari, 67% são utilizados como combustível e 33% como matéria-prima.

Como combustível, é utilizado principalmente em fornos de processo e na produção de vapor e energia elétrica.

A aplicação do gás natural no seu uso mais nobre como matéria-prima já foi comentada anteriormente. Essa região, mesmo sem vocação para a exploração de grandes quantidades de gás natural, não aproveita o gás disponível da melhor forma possível, isto é, primeiramente como matéria-prima.

### Oferta de Gás Natural na Bahia

A Bahia é o maior produtor de gás natural no Nordeste.

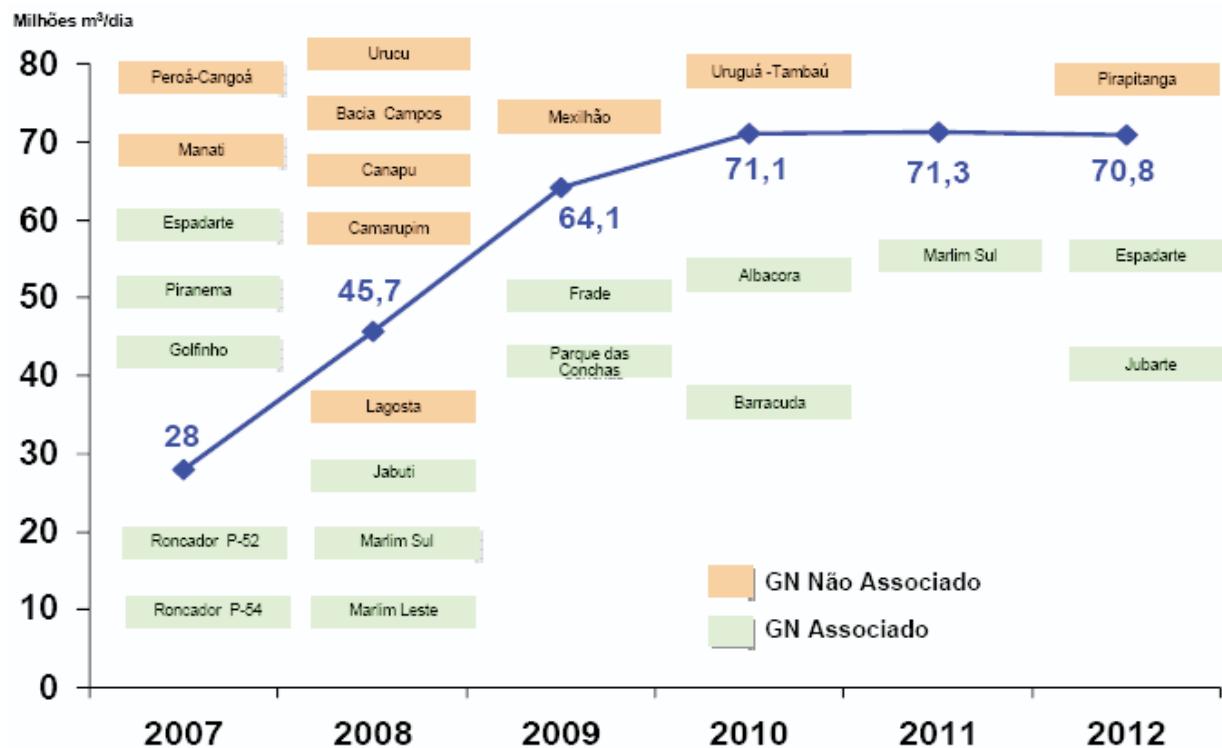
**2007: 6,4 milhões m<sup>3</sup>/d (56% do Nordeste)**

A produção de gás natural para a Bahia vem de poços do Recôncavo Baiano e, mais recentemente, do campo de Manati.

Com o declínio da produção do Recôncavo, houve um desbalanço na oferta de gás natural para a Bahia.

A tendência é de aumento de disponibilidade de gás com a maior exploração do campo de Manati, que pode produzir cerca de 8 milhões de m<sup>3</sup>/dia, entre 7 a 10 anos, horizonte relativamente curto de disponibilidade.

Embora existam algumas prospecções de novos campos de gás natural na costa baiana, os investimentos previstos pela Petrobrás para o aumento da produção estão concentrados na região Sudeste, conforme pode ser visto na Figura 16 (novas ofertas de gás natural).



**FIGURA 16 – Novas Ofertas de Gás Natural**

FONTE – Rachid, 2008

Para evitar o desabastecimento futuro da Bahia e da região do Pólo Industrial, está prevista a interligação das redes de transporte de gás natural entre o Sudeste e o Nordeste, através da construção do gasoduto sudeste-nordeste (GASENE) e da implantação dos terminais de regaseificação de GNL (gás natural liquefeito) em Pecém (CE) e na Baía de Guanabara (RJ), para importação do insumo com foco em equilibrar o balanço de gás natural.

Com essas medidas, espera-se que não haja problemas na disponibilidade de gás natural no futuro próximo (após 2013) para a região do Pólo Industrial.

#### **Oferta/Demanda de Gás Natural na Bahia até 2012**

Até 2008, o Pólo Industrial de Camaçari foi contingenciado na oferta de gás natural, em função do declínio da produção do Recôncavo e do atraso na partida da produção de Manati. As unidades industriais, motivadas pelo custo mais competitivo desse insumo frente a outros energéticos, direcionaram sua matriz energética para o maior consumo de gás natural. Com isso, houve uma redução da oferta e um aumento da demanda.

Com a estabilização da produção em Manati, a Petrobras e a Bahiagás fecharam um acordo para abastecimento de gás natural para os próximos cinco anos (2008-2012).

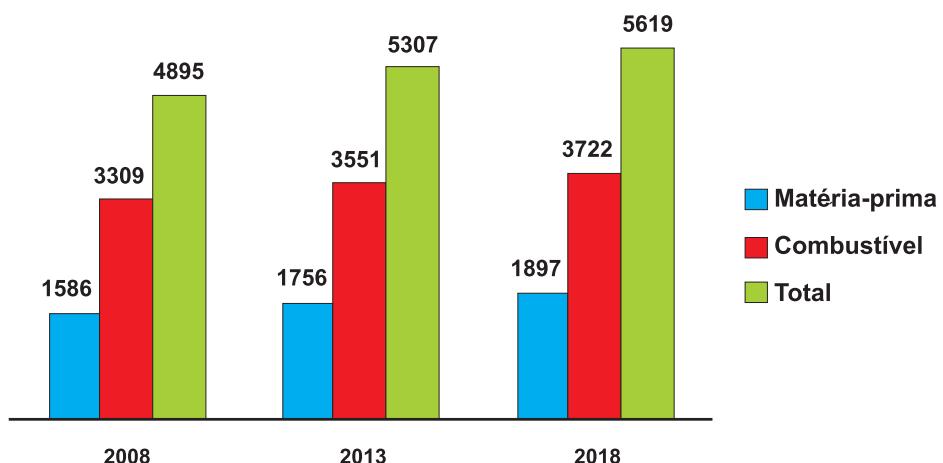
**TABELA 11 – Bases do Acordo Petrobras/Bahiagás (2008-2012):**  
5,1 milhões m<sup>3</sup>/dia

Firme inflexível	3,5 milhões m <sup>3</sup> /dia
Firme flexível	0,5 milhões m <sup>3</sup> /dia
Interruptível	1,1 milhões m <sup>3</sup> /dia

O acordo Petrobras-Bahiagás prevê a disponibilização de 5,1 milhões de m<sup>3</sup>/dia. Porém, desses 5,1 milhões de m<sup>3</sup>/dia, somente 3,5 milhões são firmes. Os outros 1,6 milhão m<sup>3</sup>/dia

são flexíveis e estão sujeitos a interrupção em função do cenário de energia elétrica do País. Essa oferta firme não atende a previsão de demanda 2008-2013, conforme a Figura 17.

**Demandा de GN**



**FIGURA 17 – Demanda de Gás Natural na Bahia**  
FONTE – Levantamento COFIC, 2008

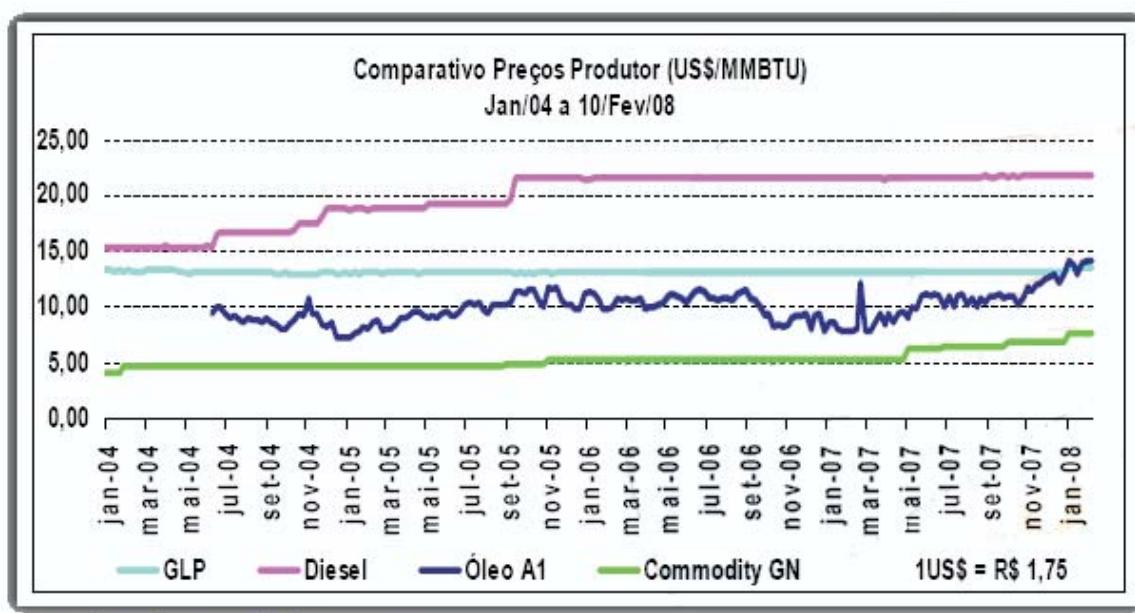
Vale lembrar que as empresas não comprometem seu capital em investimentos quando se tem um cenário de incertezas na disponibilidade de insumos.

Outro ponto a considerar sobre o gás natural de Manatí é o mais alto teor de nitrogênio na sua composição. Esse fato compromete as capacidades de produção dos ativos que usam esse gás natural como matéria-prima.

Faz-se necessário desenvolver ações envolvendo a Bahiagás, a Petrobras e as empresas consumidoras para equacionar o assunto.

### Competitividade do Gás Natural

A Figura 18 mostra que desde 2004 até fevereiro de 2008 o gás natural era o combustível mais competitivo para a matriz energética.



Observação: Valores com PIS/Cofins sem ICMS.  
Preço do GN = Commodity

**FIGURA 18 – Comparativo preços de combustíveis**

**FONTE** – Abrace

Estando o consumidor com essa oportunidade de utilizar um combustível mais competitivo, direcionou sua matriz para o consumo de gás natural. Na região do Pólo Industrial, como houve contingenciamento do gás, não foi possível consumir esse energético mais competitivo (utilizou-se o óleo combustível como principal substituto do gás natural), onerando os custos da matriz energética. Como consequência, teve-se vapor e energia elétrica de cogeração menos competitivos.

Pensando adiante, o cenário de competitividade fica mais preocupante. Sinaliza-se entre os agentes do setor que o preço do gás natural será equiparado ao preço do óleo

combustível (baseado nas fórmulas de preço da Petrobrás para as distribuidoras), sendo este último um dos componentes de menor competitividade da matriz (ver item 3.2).

Além disso, no caso específico da Bahia, o contrato de concessão da Bahiagás expõe os consumidores à tarifação, sendo possível haver grandes aumentos de tarifa quando do reajuste da commodity pela Petrobrás.

Em síntese, a região que esperava e, de certa forma, se preparou para usufruir de um energético mais competitivo, não poderá desfrutar desse benefício. Pelo contrário, só ocorrerá oneração da matriz energética.

### Conclusões sobre o Gás Natural

- Houve um contingenciamento no fornecimento de GN para o Pólo frente à quantidade demandada entre 2002 e 2008
- Há um crescimento de demanda no horizonte de 5 a 10 anos
- O gás natural firme, conforme acordo entre Petrobras e Bahiagás, não atende as necessidade de crescimento do Pólo para os próximos 5 anos
- O mais alto teor de nitrogênio do gás natural de Manati compromete as capacidades de produção dos ativos que usam o gás natural como matéria-prima
- Há necessidade de previsibilidade de oferta no horizonte de 2013-2018
- Faz-se necessário ter o GASENE no prazo (2010) e explorar novas fontes off-shore na Bahia para aumentar a oferta
- Os empresários não conseguem focar seus investimentos de longo prazo baseados em gás natural, devido às incertezas de disponibilidade

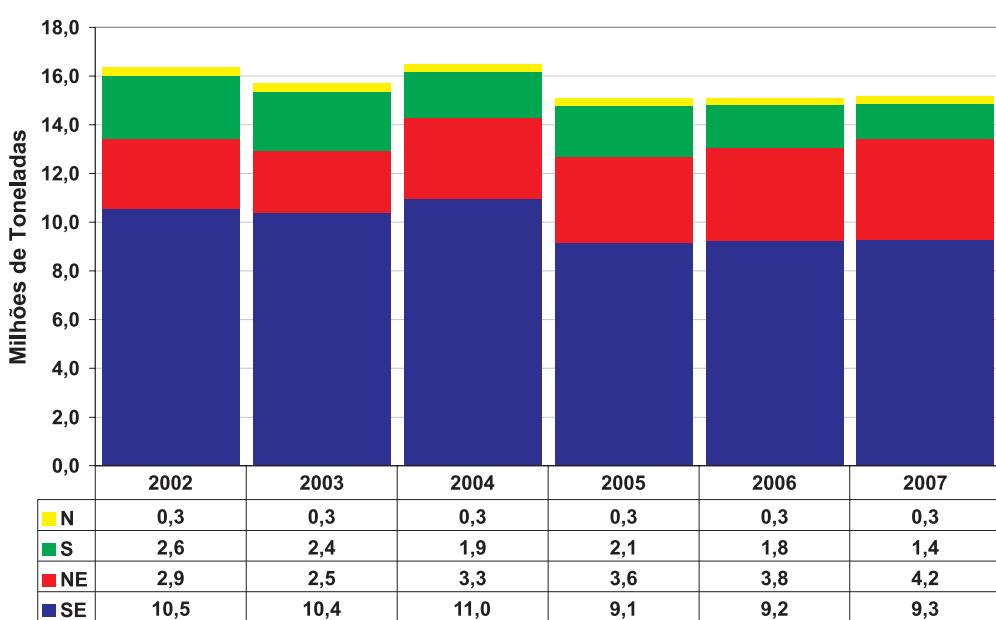
- As novas fórmulas de preço prevêem aumentos futuros para o gás natural
- Há necessidade de revisão do contrato de concessão da Bahiagás frente à exposição do consumidor final à fórmula de tarifação
- Em suma, existem incertezas quanto a disponibilidade e custos mais altos com esse insumo energético, fatores que reduzem a competitividade e não atraem empresários para investimentos

### 3.2 Óleo Combustível

A principal utilização do óleo combustível é para geração de vapor e geração de energia elétrica (co-geração).

Do lado da oferta, há sobras de óleo combustível no Brasil, que exporta os excedentes.

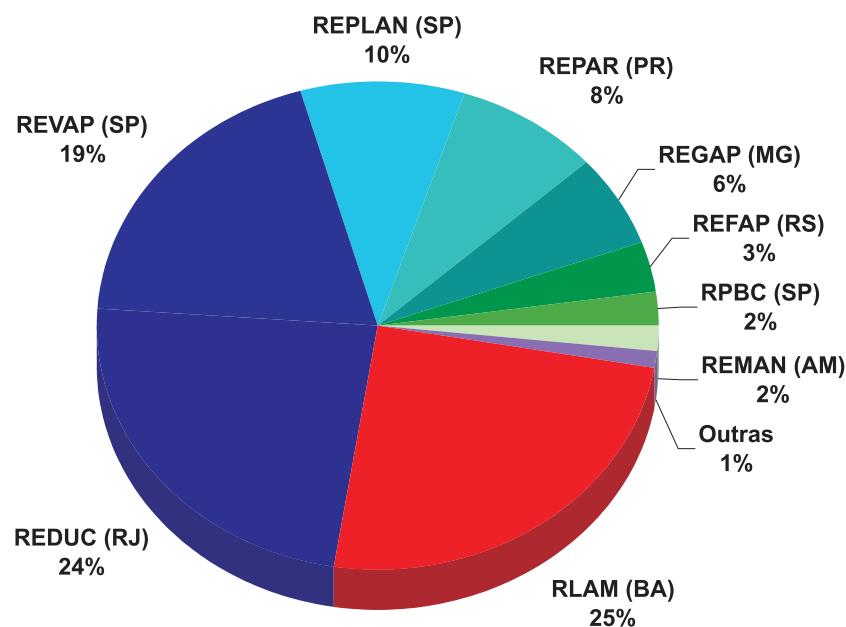
Devido a essa sobra, há esforços para a redução da produção. Na Figura 19 pode-se ver a evolução da produção de óleo combustível entre 2002 e 2007 nas regiões brasileiras.



**FIGURA 19** – Produção de óleo combustível por região

FONTE – ANP

Na Figura 20 temos a participação das refinarias na produção de óleo combustível no Brasil.



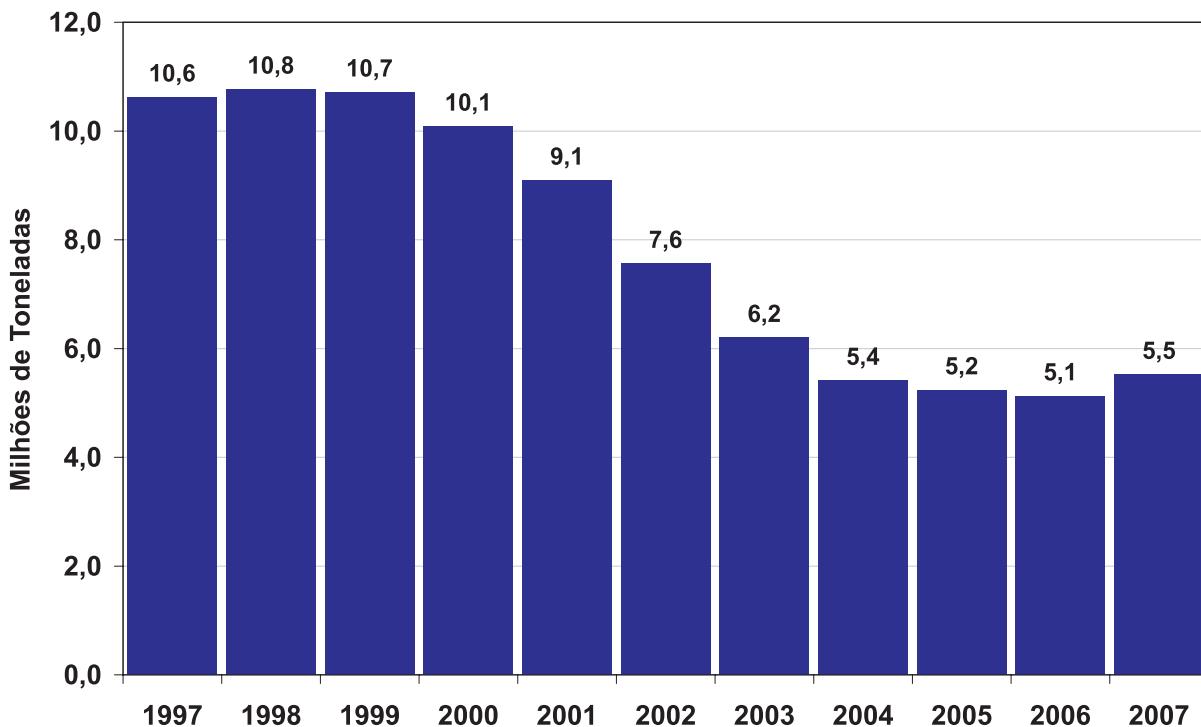
**FIGURA 20** – Participação das refinarias na produção

A Petrobras tem em seus planos o processamento de óleo combustível das refinarias em unidades de coqueamento retardado, onde são produzidos produtos mais nobres e de maior valor agregado, tais como diesel, nafta, gasolina e GLP. A REPLAN (SP) e a REFAP (RS) já dispõem dessas unidades. Planeja-se a instalação de processamentos dessa natureza na REDUC (RJ), na REPAR (PR) e na REVAP (SP). Espera-se uma redução em 2010 de cerca de 24% na produção de óleo combustível.

Dessa forma, a RLAM (BA) ratificará sua posição de dianteira na produção de óleo combustível dentre as refinarias da Petrobras.

Este fato poderia ser um fator de competitividade nesse insumo para o Pólo Industrial, devido à proximidade da RLAM, onde se esperaria custos mais baixos com fretes. Porém, veremos adiante que não é isso que acontece.

Analizando a demanda, verifica-se que têm sido reduzidas as vendas de óleo no Brasil (FIGURA 21), fortemente influenciadas pelo direcionamento ao consumo de gás natural, insumo energético que vinha apresentando menores custos para a matriz energética.



**FIGURA 21** – Vendas de óleo no Brasil entre 1997 e 2007

FONTE – ANP, 2008

O Pólo Industrial representa cerca de 30% do consumo de óleo combustível do Estado da Bahia. Não há previsões futuras para o aumento significativo desse consumo.

Conclui-se também que não há preocupações em relação à disponibilidade de óleo combustível para a região, devido à sobre oferta já mencionada, ainda descontando-se a redução prevista na produção com a instalação das unidades de coqueamento retardado.

### Competitividade

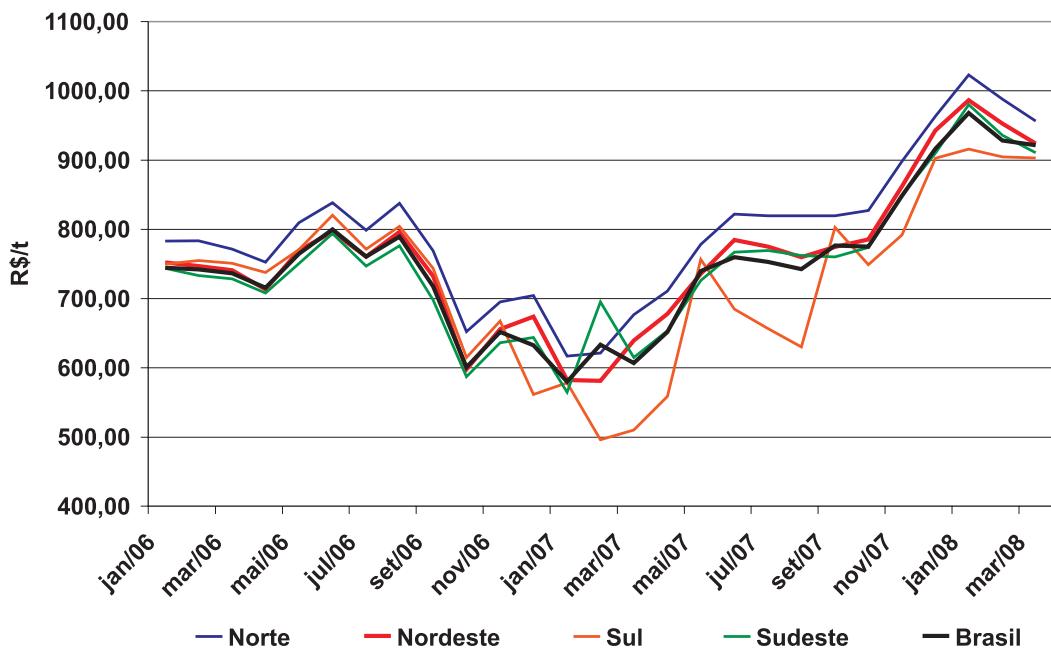
Conforme apresentado na Figura 18, dentre os principais combustíveis adquiridos externamente pelo Pólo Industrial, o óleo combustível é o que apresentou os maiores custos entre 2004 e 2008.

Em função da correlação existente entre o preço do óleo combustível e o preço do petróleo, ocorreu elevação acelerada nos preços, principalmente a partir do final de 2007.

Comparando os preços de óleo combustível entre as diversas regiões do País, as Figuras 22 e 23 mostram que no Nordeste tem-se o segundo maior, sendo também mais alto do que a média de preço desse insumo no Brasil.

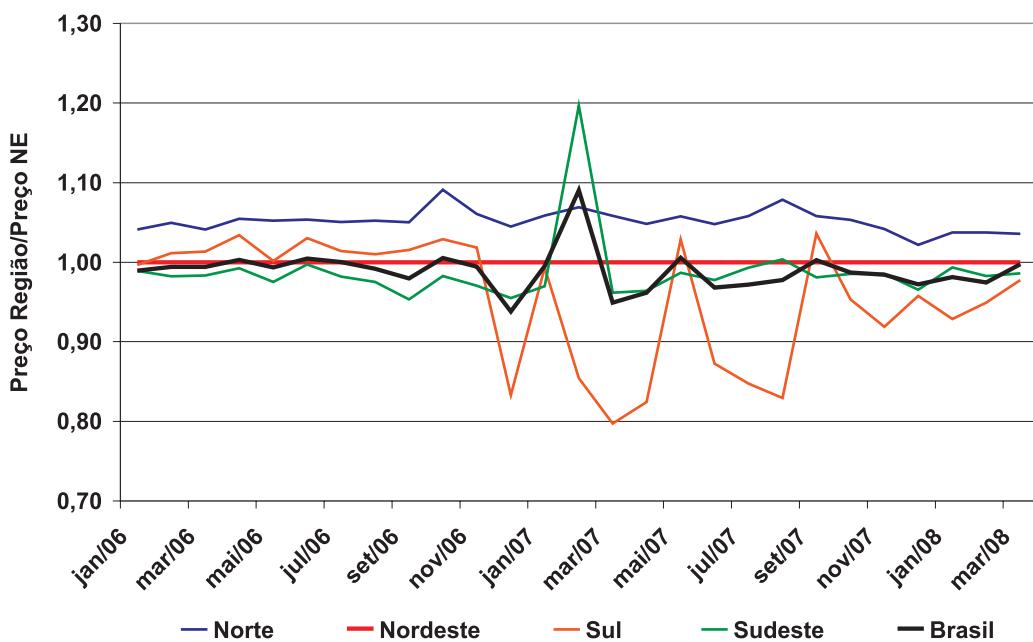
Nota-se que o Pólo Industrial não usufrui da vantagem de estar próximo da refinaria que mais produz óleo combustível no Brasil.

Comparando agora os preços do óleo combustível no Brasil com algumas referências internacionais, verificamos nos gráficos da Figura 24 que somos os primeiros em preço.



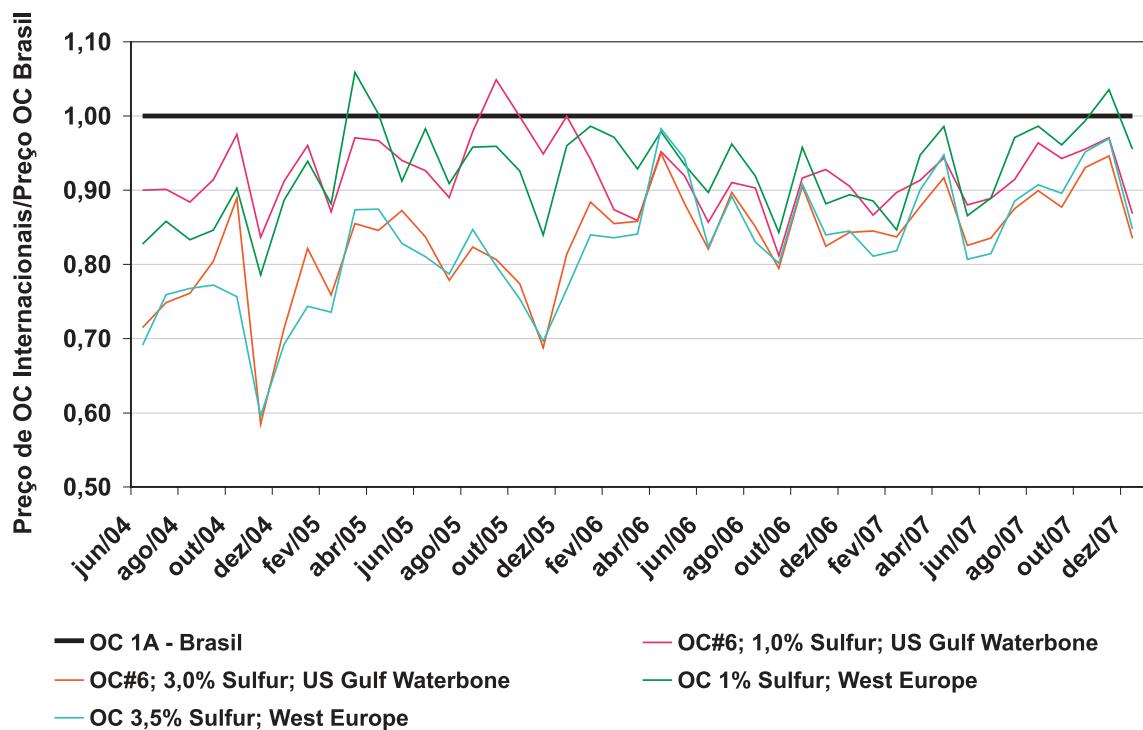
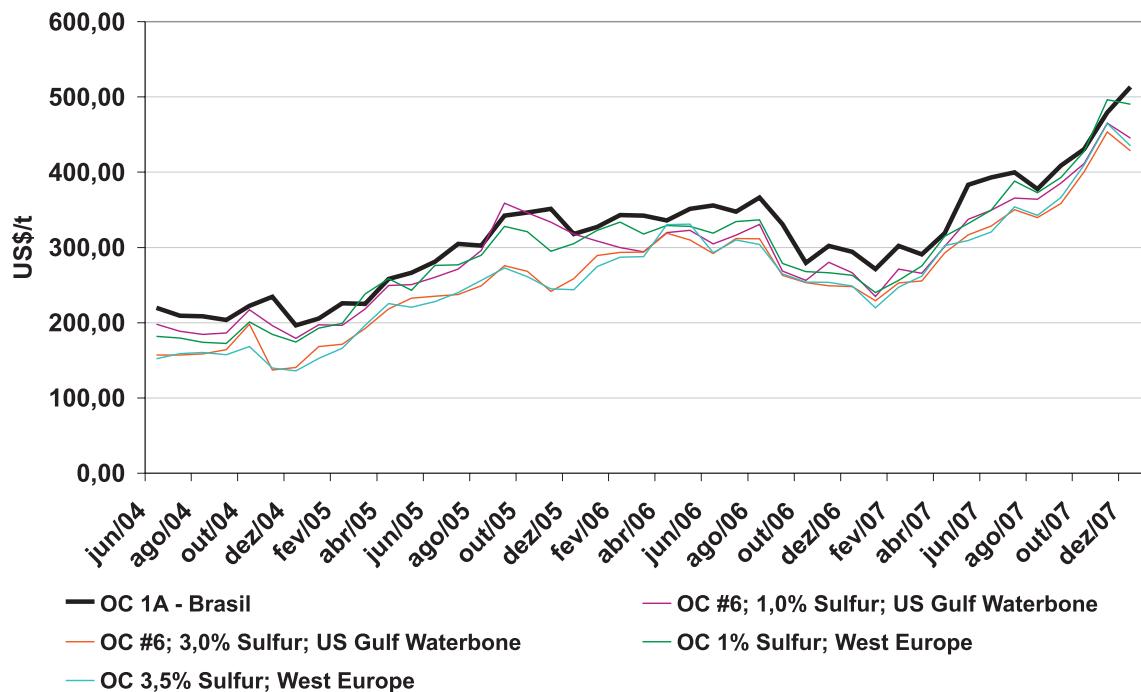
**Figura 22** – Comparação do preço de óleo combustível por região do país

FONTE – ANP, 2008



**FIGURA 23** – Relação do preço de óleo combustível no produtor por região do País com o preço na região Nordeste

FONTE – ANP, 2008



**FIGURA 24 – Comparativos com referências de preços internacionais**

FONTES – ANP, 2008; CMAI

Não se justifica termos internamente os maiores preços do mundo de óleo combustível quando se tem uma sobre oferta desse insumo, o que leva o Brasil a exportar os excedentes.

Agravando essa situação, os consumidores de óleo combustível não têm muitas alternativas para influenciar o mercado. Embora o mercado não seja regulado, tem-se um único produtor de óleo combustível no Brasil, a Petrobras, que o entrega às distribuidoras para chegar, posteriormente, ao consumidor final. Dessa forma, a Petrobras também atua como um "price maker".

Os distribuidores e os consumidores têm dificuldades de acesso ao mercado internacional para importação de óleo combustível em função de barreiras logísticas. Hoje, quem tem em mãos e controla a logística de óleo combustível é a Petrobras, havendo dificuldades de viabilização econômica para projetos de instalação de logística própria pelos distribuidores e consumidores.

Tudo isso justifica termos internamente os preços de óleo combustível dentre os menos competitivos do mundo.

Considerando que no Pólo Industrial o óleo combustível é um dos insumos relevantes para a produção de vapor e energia elétrica, temos esses energéticos derivados dentre os menos competitivos quando comparados com referências internacionais.

## Considerações Finais

- O óleo combustível é o principal substituto do gás natural: com a escassez de gás natural, tem-se maior consumo de óleo combustível
- O óleo combustível no Pólo Industrial não é competitivo, apesar da grande produção regional e do Brasil ser exportador
- As alternativas de importação não se viabilizam
- Consequentemente, temos os energéticos derivados de cogeração (vapor e energia elétrica) dentre os menos competitivos quando comparados com referências internacionais

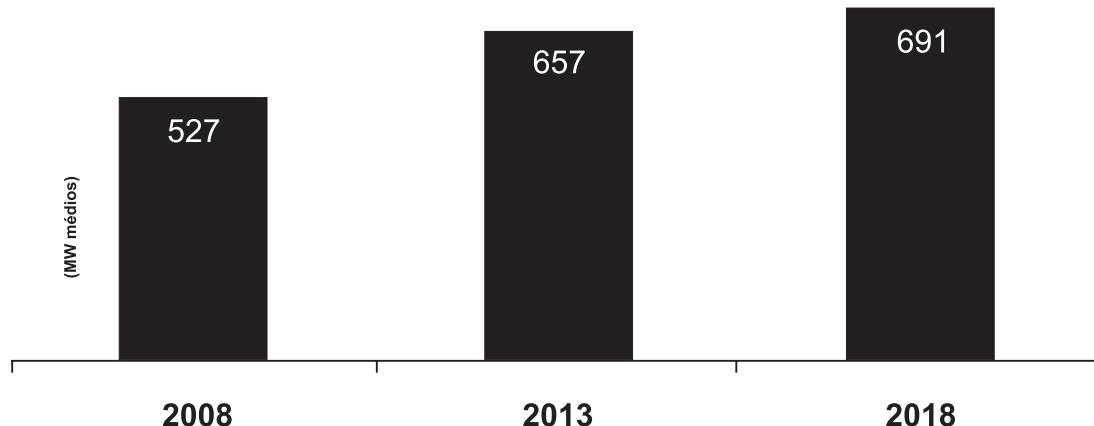
### 3.3 Energia Elétrica

Em relação à energia elétrica, o Pólo Industrial gera uma parte e consome outra da rede para complementar suas necessidades.

A carga total do Pólo, tanto a atendida pela rede básica quanto a atendida por geração própria, evoluirá ao longo dos dez anos conforme gráfico (FIGURA 25) abaixo. Nota-se um crescimento de 31% entre 2008 e 2018.

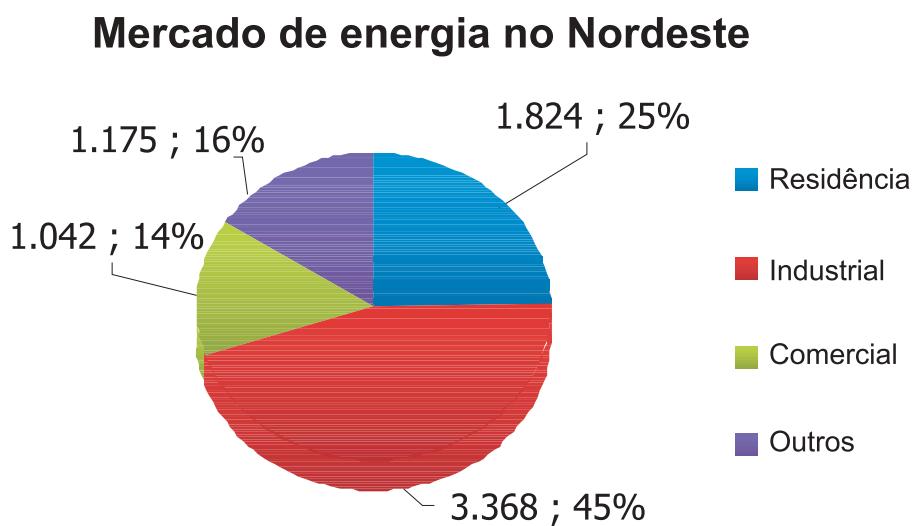
Focaremos a análise nas questões relacionadas à energia consumida da rede.

**Evolução da carga do Pólo Industrial de Camaçari**



**FIGURA 25** – Evolução da carga do Pólo Industrial de Camaçari

Considerando informações do balanço energético do NE (FIGURA 26), temos que cerca de 45% (base abril 2008) da energia elétrica dessa região vão para o setor industrial.



**FIGURA 26** – Balanço Energético do NE

FONTE -- EPE, 2008

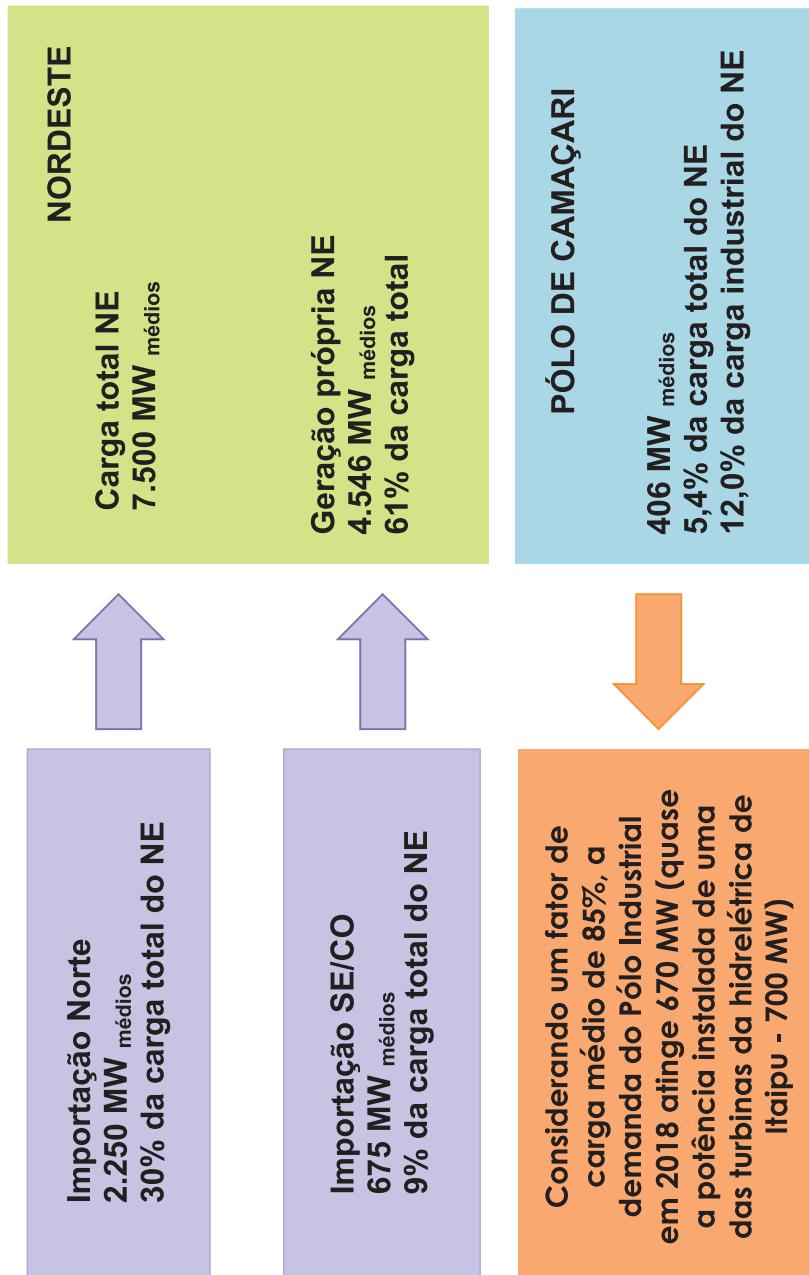
NOTA – Valores expressos em MW médios; %

A Figura 27 mostra o fluxo de energia elétrica médio entre 14/03 e 08/05/2008 (embora ocorram algumas alterações durante o ano, consideraremos como a referência para a análise) e algumas informações do Pólo Industrial.

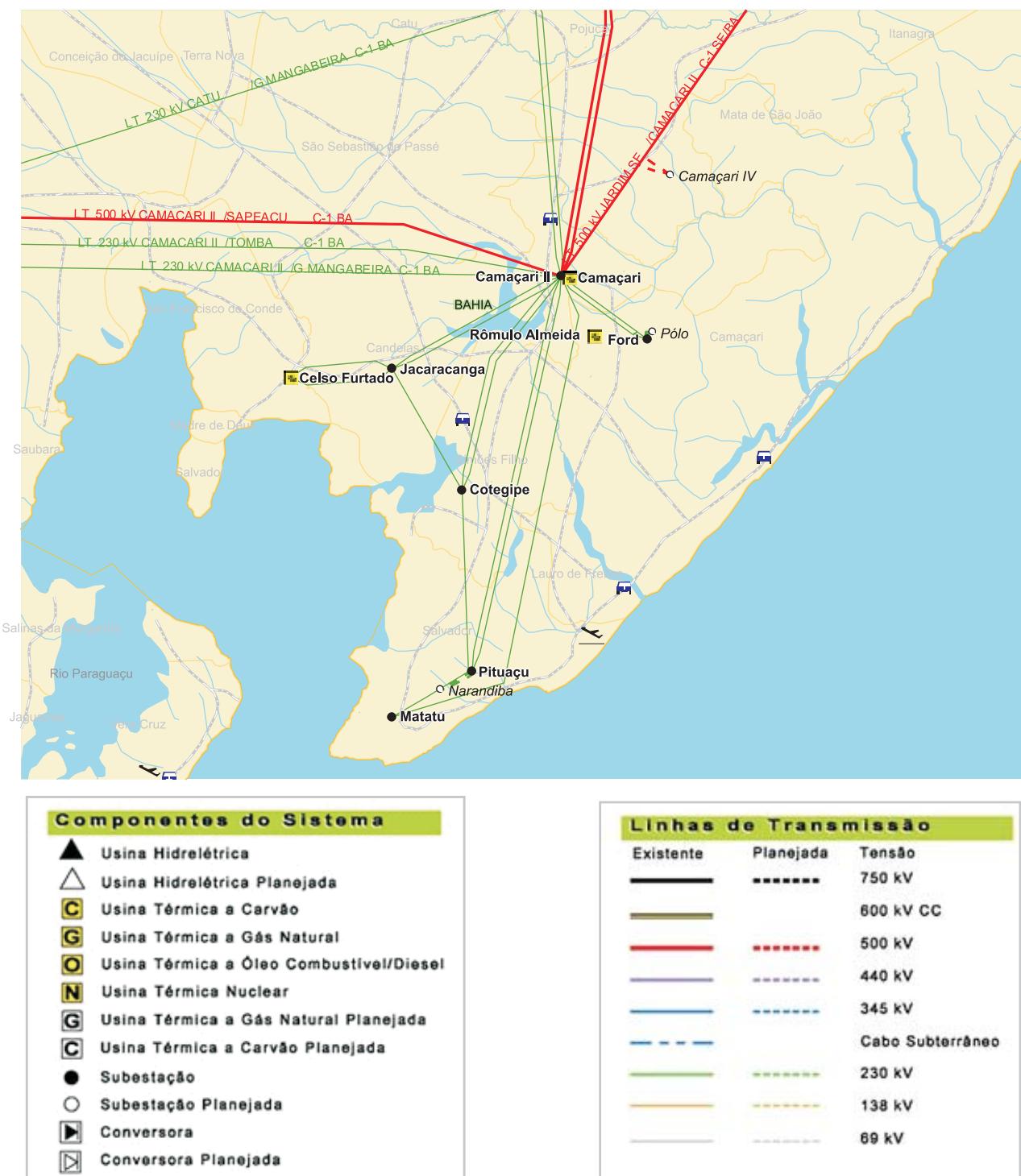
A região Nordeste tem uma carga total de cerca de 7.500 MW médios, sendo atendida em 61% por geração própria, 9% proveniente da região Sudeste/Centro-Oeste e 30% da região Norte.

A carga do Pólo Industrial atendida pela rede básica é de 406 MW médios, equivalente a 5,4% da carga total do Nordeste e a 12% da carga industrial dessa região.

Há uma perspectiva de aumento dessa demanda até 2018, principalmente em função da previsão de ampliação de plantas eletro-intensivas.



**FIGURA 27 – Fluxo de energia elétrica e crescimento da carga do Pólo Industrial**  
**NOTA – Análise considerando o período de 14.03.2008 a 08.05.2008 (Dados dos IPDOs ONS).**



**FIGURA 28 – Sistema de Rede Básica Camaçari**

Analizando o sistema de transmissão, constata-se que a Rede Básica Camaçari tem robustez suficiente para suportar aumentos de demanda para a região (FIGURA 28).

Abordando sinteticamente as questões relacionadas à geração, registra-se que temos poucos geradores de energia competitiva (hidrelétrica) na região.

Devido ao fato da região Nordeste ser importadora de energia elétrica, torna-se difícil encontrar geradores que queiram oferecer energia para empresas desse submercado.

A unificação dos submercados do Brasil configura-se como uma ação importante que contribuirá para aumentar a competição entre os geradores de energia elétrica.

Esta unificação pode dar-se comercialmente ou fisicamente, com reforços nas linhas de transmissões que fazem o intercâmbio de energia de outras regiões para o Nordeste.

Outro fator importante para a disponibilização de energia elétrica competitiva para a região Nordeste é o aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

O Complexo Hidrelétrico de Belo Monte está localizado no Estado do Pará, no Rio Xingu, a 50 km a leste da cidade de Altamira e a 400 km a sudoeste da capital Belém.

A usina hidrelétrica terá uma capacidade instalada de 11.182 MW e geração firme de 4.675 MW. O sítio de Belo Monte é considerado um dos melhores aproveitamentos hidrelétricos em todo o mundo, gerando energia competitiva.

Sua energia gerada seria escoada para as regiões SE/CO e NE e iria contribuir de forma significativa com o abastecimento elétrico destas regiões e, consequentemente, para a unificação dos submercados de energia do Brasil.

O Governo Federal planeja leiloar a hidrelétrica dentro em breve. Porém, existem entraves judiciais que estão protelando o leilão.

### **Compartilhamento de Infra-estrutura**

O compartilhamento das instalações de infra-estrutura é um fator que contribui para a atração de empresas na região de Camaçari.

Pelo fato de ainda não haver uma regulamentação que aborde esta questão, complicações regulatórias podem restringir as vantagens inerentes na aquisição compartilhada de insumos energéticos.

A criação de uma regulamentação que estabeleça de forma clara a questão energética em pólos industriais é importante para manter a competitividade dos pólos existentes, bem como proporcionar a criação de condições para estabelecimento de novos pólos industriais no Brasil.

Esta regulamentação irá incentivar empresas a se unirem e criarem novos pólos industriais, bem como dar segurança jurídica às que já estão estabelecidas, caso do Pólo Industrial de Camaçari.

### **Conclusões sobre Energia Elétrica**

Para assegurar energia elétrica competitiva para o Pólo Industrial de Camaçari faz-se necessário desenvolver algumas ações:

- unificar os submercados de energia elétrica;
- implantar a usina hidrelétrica de Belo Monte;
- regulamentar as questões de compartilhamento de infra-estrutura em pólos industriais.

### **4 COMENTÁRIOS FINAIS**

O Pólo Industrial de Camaçari completa 30 anos com alguns pontos que merecem comemoração e outros que necessitam de atenção para assegurar mais uma jornada de realizações.

A cadeia de celulose é competitiva e com potencial para crescimento e desenvolvimento. Igual comentário podemos fazer para a automotiva.

Cuidados especiais merece a mais antiga e maior cadeia, a petroquímica/química/fertilizantes. Fortemente dependente da nafta como matéria-prima, tem dificuldade em se posicionar de forma competitiva, além de depender de insumos energéticos que também necessitam de atenção para serem competitivos. Tanto regionalmente quanto globalmente, não se verifica ali expectativa de desenvolvimento e crescimento nos próximos 10 anos.

Constata-se um grupo de unidades fabris de baixa escala de produção e necessitando de atualização tecnológica.

Esforços governamentais, políticos e empresariais conjuntos são necessários para resgatar a competitividade dos negócios atualmente instalados, criar uma agenda de atratividade de novos empreendimentos e de aproveitamento de oportunidades.

## REFERÊNCIAS

[ABIQUIM] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Anuário da Indústria Química Brasileira**. São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. **Nota técnica sobre precificação do gás natural como matéria-prima**. São Paulo, 2007.

[ABRACE] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIALIS DE ENERGIA E DE CONSUMIDORES LIVRES. Disponível em: <<http://www.abrace.org.br/port/home/index.asp>>.

[ANP] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2008.

BARBASSA, Almir. **Plano de investimentos 2008-2012**. Campinas: IBEF; Investidores, 27 nov. 2007. Disponível em: <[http://www.ini.org.br/ini//downloads/Plano\\_2020\\_-IBEF\\_e\\_INVESTIDORES.pdf](http://www.ini.org.br/ini//downloads/Plano_2020_-IBEF_e_INVESTIDORES.pdf)>.

[CCEE] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/>>.

[CMAI] CHEMICAL MARKET ASSOCIATES INC. Disponível em: <<http://www.cmaiglobal.com/>>.

[COFIC] COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI. **Dados ano-base 2007**. Apresentado no workshop Grupo de Trabalho GT-III Matérias-Primas e Matriz Energética. Camaçari, 2008.

[EIA] ENERGY INFORMATION AGENCY. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/>>.

[EPE] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2007**: ano base 2006: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5483/textogeral2.pdf>>.

\_\_\_\_\_. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**, Rio de Janeiro, ano 1, n. 7, abr. 2008.

OLIVEIRA, Adary. **O Pólo Petroquímico de Camaçari**: industrialização, crescimento econômico e desenvolvimento regional. 1. ed. Salvador: P555 Edições, 2006. v. 1. 344 p.

RACHID, Luciana. **Perspectivas para o gás**. In: WORKSHOP ENERGY DAY - UNIBANCO, São Paulo, 13 fev. 2008. São Paulo: Associação Paulista de Cogeração de Energia, 2008.

SILVA, C. O. E. **El papel de la ANP en el abastecimiento de combustibles en Brasil**. In: SEMINÁRIO DO ABASTECIMIENTO – AGÊNCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, 2., 2006, Bogotá, República de Colômbia.

# A Importância Estratégica do Gás Natural como Matéria-prima para o Pólo Industrial de Camaçari-BA

## MÔNICA OLIVEIRA GRASSI

Engenheira Química (UFBA). Especialização em Processos Petroquímicos (CENPEQ - UFBA/Petroquisa). Aperfeiçoamento em Engenharia Química (Itália). Mestre em Engenharia Química (UNICAMP). Experiência em Unidades de Processamento de Gás Natural e *Steam Crackers*, com ênfase em desenvolvimento de Projeto e Tecnologia de Processos. Engenheira de tecnologia de processos – grupo de olefinas, da Braskem UNIB-BA.

[monica.grassi@braskem.com.br](mailto:monica.grassi@braskem.com.br)

## CARLOS ALBERTO DA ROCHA CARUSO

Engenheiro Químico (UFRJ). Especialização em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Petroquímicos (CEPESQ/Petrobras). Experiência em processos de produção de Metanol, Ácido Fórmico, Pentaeritritol, Formaldeído, *Steam Crackers*, Unidades de Processamento de Gás Natural e Processos de Refino, com ênfase em Projetos, Desenvolvimento de Tecnologia de Processos, *Troubleshooting* e Otimização. Engenheiro de tecnologia de processos – grupo de olefinas, da Braskem UNIB-BA.

[carlos.caruso@braskem.com.br](mailto:carlos.caruso@braskem.com.br)

## SUZANA MARQUES DOMINGUES

Engenheira Química (UFPE). Especialização em catálise (UFBA). Mestrado em Engenharia Química (Pennsylvania State University, EUA) e MBA em Gestão Empresarial (FGV). Responsável pela área de Tecnologia de Processos da Unidade de Insumos Básicos da Braskem, em Camaçari, e coordenadora da Comissão de Tecnologia do Comitê de Fomento Industrial de Camaçari (Cofic).

[suzana.domingues@braskem.com.br](mailto:suzana.domingues@braskem.com.br)

## ANTÔNIO CONSTANTINO PEREIRA

Engenheiro Químico (UFBA). Especialização em Processamento Petroquímico (CENPEQ - UFBA/Petrobras). Pós-Graduado em Engenharia Econômica. Atuou como Engenheiro de Planejamento e Controle de Produção da Unidade de Insumos Básicos da Braskem e como Engenheiro de Produção e Processo das Unidades de Produção de Etileno. Engenheiro de Processo da Central Termelétrica da Braskem UNIB-BA.

[constantino.pereira@braskem.com.br](mailto:constantino.pereira@braskem.com.br)

**Braskem S.A. – Unidade de Petroquímicos Básicos**  
Rua Eteno, 1561 - Pólo Industrial de Camaçari - Bahia - Brasil

## RESUMO

O presente trabalho enfatiza a importância e o benefício da aplicação do gás natural de Manati como matéria-prima para as indústrias petroquímicas, químicas e de fertilizantes, na região do Pólo Industrial de Camaçari (BA), permitindo que sejam mais competitivas nas áreas em que atuam. Na indústria petroquímica, o craqueamento de etano em fornos de pirólise é estratégico para reduzir a dependência de nafta, principal matéria-prima da cadeia petroquímica, operando com uma maior flexibilidade de carga.

Inicialmente, os autores apresentam o panorama mundial quanto à diversificação de matéria-prima nos processos petroquímicos, diante do atual cenário de alta competitividade e baixas margens praticadas, seguindo com uma visão geral da oferta e demanda de gás no Brasil e região Nordeste, com foco no campo de Manati (BA), principal fonte de gás para a Bahia.

A partir disso, uma estratégia de flexibilização da matéria-prima para produção de eteno, via rota gasosa, é apresentada, para a qual foi desenvolvido um estudo de viabilidade para ampliação e modernização de uma unidade existente para recuperação de etano a partir do gás natural de Manati, com qualidade e tipos de contaminantes diferentes do projeto original. Para uma nova capacidade de processamento de 3 MM m<sup>3</sup>/d de GN de Manati, estima-se uma economia anual de nafta aproximadamente 195.000 t.

## PALAVRAS-CHAVES

Gás natural. Manati. Flexibilidade. Matéria-prima. Competitividade. Contaminantes. Produção de eteno.

## 1 INTRODUÇÃO

O gás natural (GN) é um importante insumo para a geração de energia elétrica através de unidades termelétricas em ciclo combinado. Adicionalmente, o gás natural é utilizado como combustível veicular (GNV) e como matéria-prima para algumas indústrias químicas, petroquímicas e de fertilizantes.

Na indústria química e petroquímica, os diversos componentes do gás natural, metano, etano, propano, butano e componentes com mais de cinco átomos de carbono, podem ser usados como insumos para diversos produtos, conforme mostrado na Figura 1.

Atualmente, o Pólo Industrial de Camaçari possui sete indústrias consumidoras de GN como matéria-prima, conforme mostrado na Tabela 1.

Para a indústria petroquímica de primeira geração, a base de matéria-prima inclui, além do gás, cargas líquidas como nafta e gasóleo na produção de eteno e propeno, insumos para a produção de polímeros pela indústria de segunda geração. Adicionalmente, outros produtos importantes para a cadeia petroquímica como butadieno, MTBE/ETBE, buteno-1, isopreno e produtos aromáticos, como benzeno, tolueno, orto- e paraxilenos, são gerados no craqueamento térmico da nafta. Para a geração de energia e vapor necessários ao processo, a petroquímica pode utilizar como insumo o GN, o óleo combustível e o carvão.

No cenário mundial, as indústrias petroquímicas com base gás são as mais competitivas, principalmente aquelas localizadas no Oriente Médio onde o gás associado, extraído junto com o petróleo, tem os custos mais baixos. Com a nafta atingindo recordes sucessivos de preços, esta competitividade ficou ainda mais evidente. Adicionalmente, a escala também é um fator de competitividade e unidades com grandes capacidades de produção de eteno, a partir de gás, estão sendo construídas nesta região com entrada em operação a partir de 2009.

Conforme mostrado na Figura 1, a rota gasosa de processamento nos fornos de pirólise utiliza apenas a fração com mais de dois átomos de carbono (etano, propano e butanos) como matéria-prima e precisa ser separada do metano presente no GN em uma unidade de de-etanização. A partir daí, o metano separado retorna para o sistema de distribuição de GN, sendo utilizado como matéria-prima para outras indústrias ou como gás combustível para gerar vapor e energia elétrica.

## 2 COMPETITIVIDADE DA CADEIA PETROQUÍMICA

A Braskem, maior petroquímica da América Latina, possui duas unidades de produção de Petroquímicos Básicos, localizadas em Camaçari, na Bahia, e Triunfo, no Rio Grande do Sul. Ambas produzem eteno e propeno, entre outros produtos, e têm como base de matéria-prima a carga líquida (nafta). Entretanto, as duas unidades de craqueamento térmico também processam cargas gasosas (etano, propano e butanos) nos seus fornos de pirólise.



**FIGURA 1** – Produtos a partir do Gás Natural

**TABELA 1** – Gás natural como matéria-prima na indústria química

Empresa	Produto
1 Air Products	monóxido de carbono e hidrogênio
2 Braskem	etano e eteno
3 Copenor / Metanor	metanol, gás oxo e hidrogênio
4 Elekeiroz	oxo-álcoois
5 Fafen	amônia e uréia
6 Unigel	policarbonatos e acrilatos
7 Gerdau	gás de síntese

**FONTE** – Levantamento Abiquim, 2007

A Tabela 2 apresenta algumas empresas petroquímicas internacionais que utilizam cargas líquidas e que competem neste mercado. Pode ser observado que as empresas listadas diversificaram a sua base de matéria-prima, permitindo a flexibilidade para a escolha do insumo de maior atratividade dentro do mercado volátil de petróleo e seus derivados.

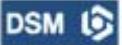
A necessidade de diversificação e busca de matéria-prima com mais baixo custo no cenário de alta competitividade e baixas margens tem sido uma preocupação para as petroquímicas mundiais, em especial a Braskem. A partir do acesso a matérias-primas mais atrativas é possível garantir margens sustentáveis. Neste

contexto, o GN se coloca como a matéria-prima de melhor rentabilidade, em linha com o aumento de valor agregado do seu uso como insumo nas diversas aplicações, conforme mostrado na Figura 2.

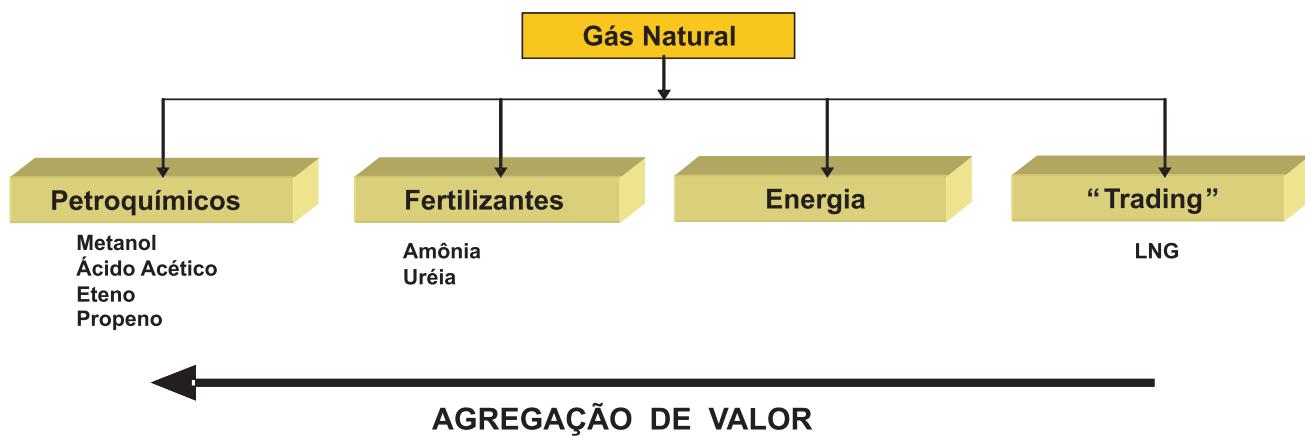
### 3 PANORAMA DE GÁS NATURAL NO BRASIL

As reservas brasileiras provadas de GN, base dezembro de 2007, foram de 365 bilhões de m<sup>3</sup>, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Na Tabela 3 é apresentada a distribuição dessas reservas nas diversas regiões do País.

**TABELA 2** – Flexibilidade de matéria-prima das principais empresas petroquímicas no mundo

Empresas	Localização dos "Crackers"	Etano	GLP	Nafta Leve	Condensados	Nafta	Diesel
	EUA, Holanda	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EUA	—	—	✓	✓	✓	—
	EUA, Holanda e Espanha	—	✓	✓	✓	✓	✓
	Holanda	—	—	✓	✓	✓	✓
	EUA	✓	✓	✓	—	✓	✓
	EUA	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EUA	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EUA	✓	✓	✓	—	—	—
	BRA	—	—	—	—	✓	—

FONTE – Levantamento Braskem, 2005



**FIGURA 2** – Agregação de valor para os produtos a partir do gás natural

**TABELA 3** – Distribuição das reservas provadas de gás natural, em 31/12/2007

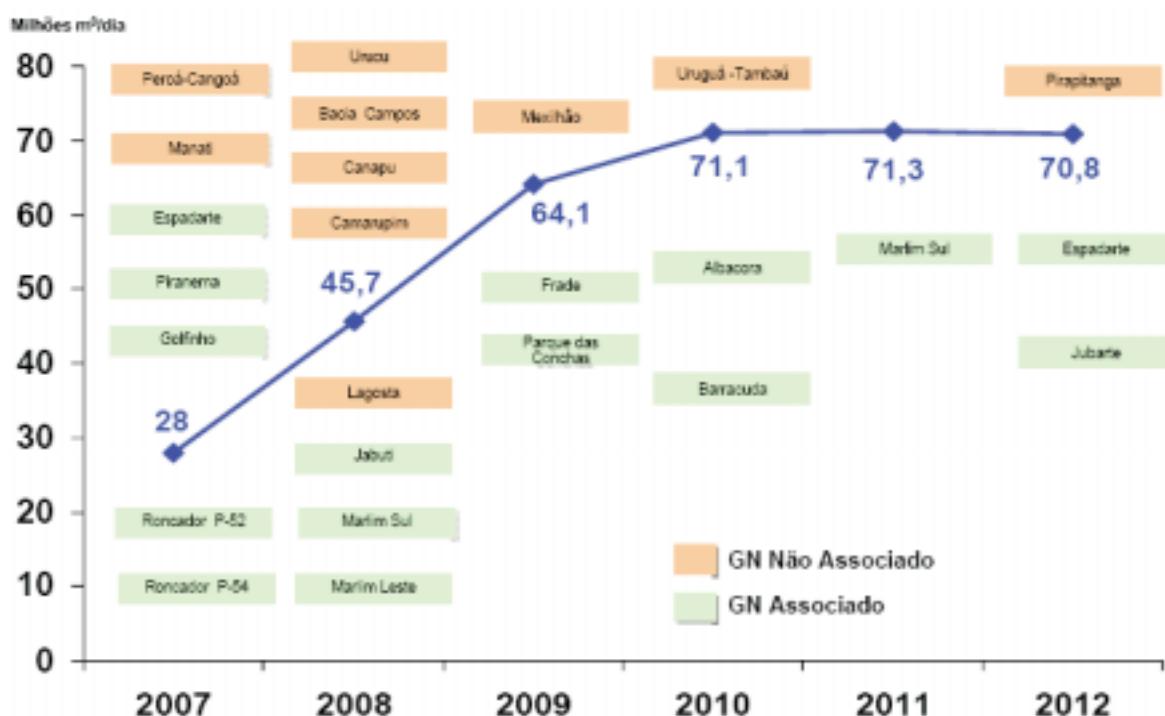
Região	Bilhões de m <sup>3</sup>	%
Sul	0,8	0,2
Norte	52,8	14,5
Nordeste	56,9	15,6
Sudeste	254,5	69,7
Total Brasil	365	100,0

FONTE – ANP, 2008

Observa-se que as grandes reservas de GN estão concentradas na região Sudeste, principalmente no Estado do Rio de Janeiro (167,9 bilhões de m<sup>3</sup>). O Nordeste brasileiro possui participação de 15,6% das reservas provadas nacionais, sendo o Estado da Bahia (34,9 bilhões de m<sup>3</sup>) o que apresenta a maior concentração, correspondendo a 61,3% das reservas dessa região – o que indica um aumento em torno de 35% quando com-

parado a 2006. Das reservas de GN localizadas na Bahia, 75,7% estão situadas no mar e o restante em terra.

As potenciais ofertas futuras de GN no País demonstram que este insumo estará disponível em quantidade adequada às necessidades térmicas e de crescimento do Brasil nos próximos cinco anos, conforme mostrado na Figura 3.

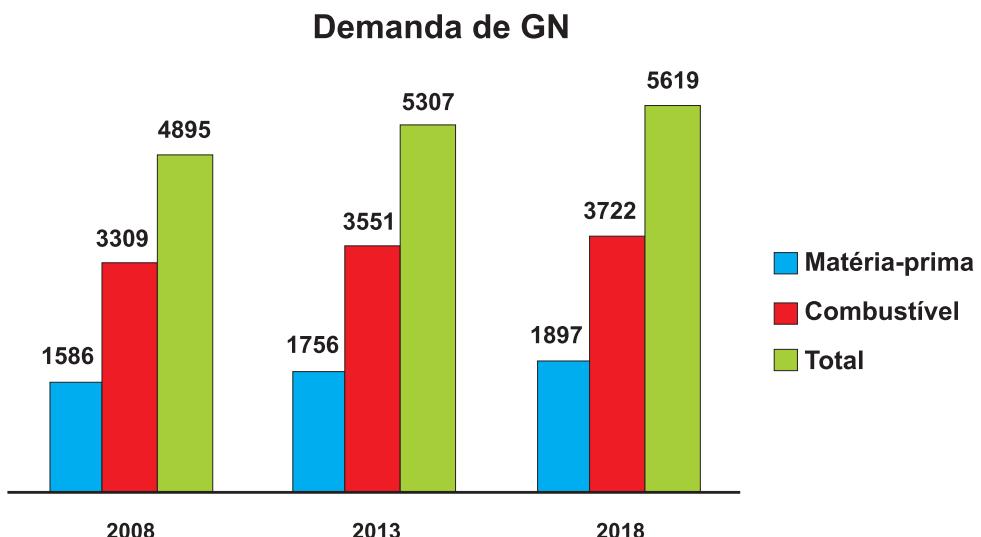


**FIGURA 3** – Novas ofertas de gás natural no Brasil

FONTE – Rachid, 2008

Na região próxima ao Pólo Industrial de Camaçari, o campo de Manati, que iniciou sua produção no final de 2007, é a fonte de gás mais importante para atender ao crescimento das demandas industriais e urbanas da Região Metropolitana de Salvador e cidades

vizinhas. Segundo dados do Comitê de Fomento Industrial de Camaçari - COFIC, as futuras demandas para uso industrial são crescentes tanto para combustíveis como para matéria-prima, conforme apresentadas na Figura 4.



**FIGURA 4** – Demandas atual e futura de gás natural no Pólo Industrial de Camaçari

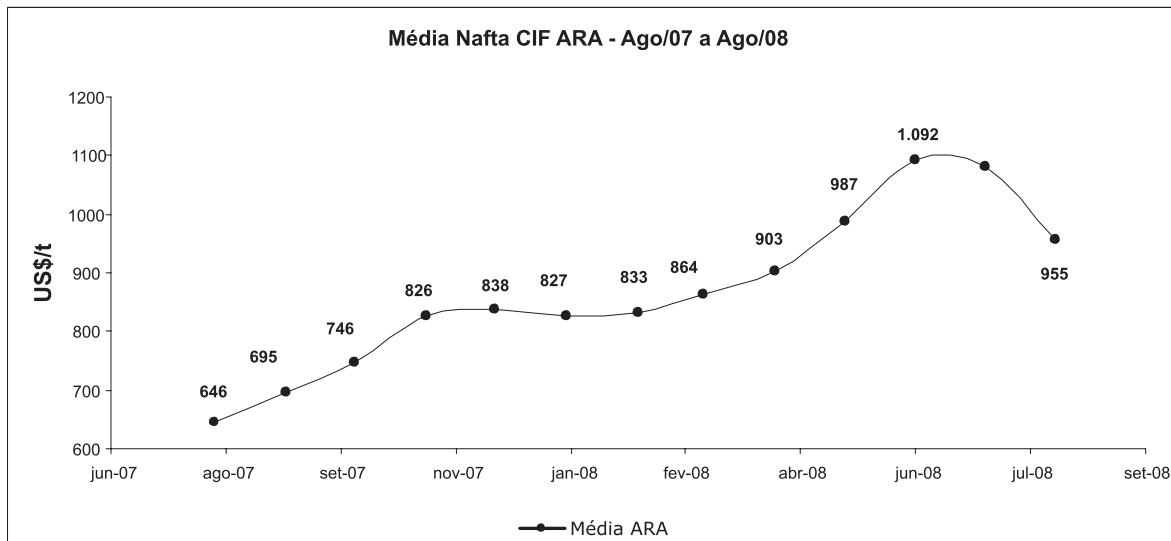
**FONTE** – Levantamento Cofic, 2008

O uso do GN como combustível gera menos impactos ao ambiente quando comparado a outros combustíveis. O GN é conhecido como um dos gases mais limpos, pois gera menores quantidades relativas de CO<sub>2</sub>, NOx e particulados no processo de combustão.

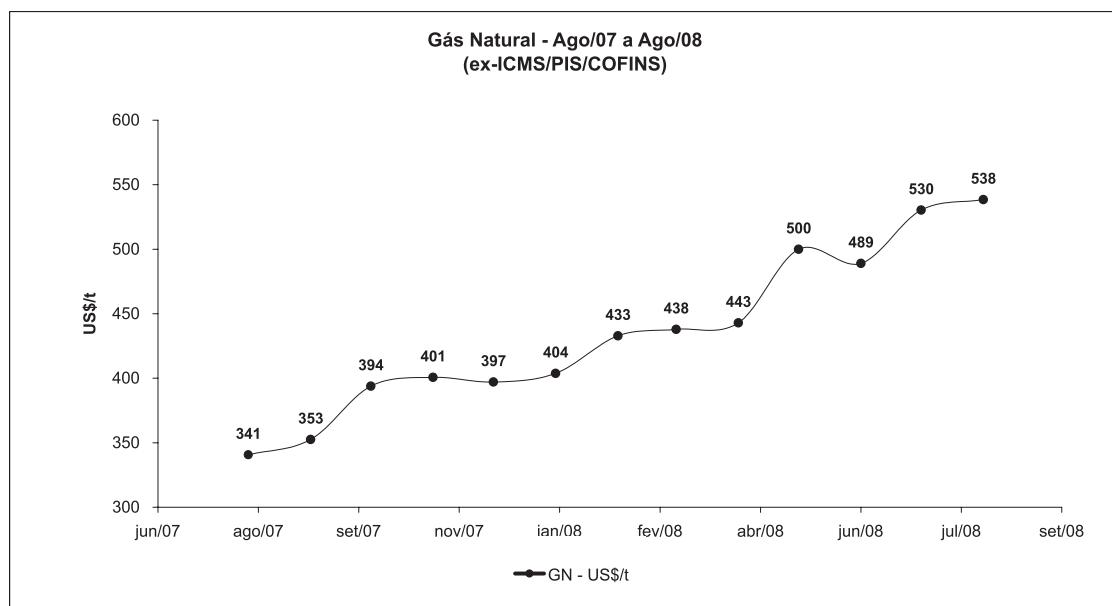
No uso não energético do GN, a partir da de-etanização deste, a corrente C2+ separada e tratada apresenta-se como rota de melhor rendimento para a produção de eteno e, geralmente, com preços mais atrativos que as cargas líquidas processadas. A Figura 5 mostra a volatilidade dos preços de nafta no mercado internacional e o seu crescimento no período de agosto de 2007 a agosto de 2008, e a Figura 6 mostra o crescimento do preço do GN ao longo deste mesmo período.

#### 4 ESTRATÉGIA DE FLEXIBILIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETENO

A Braskem possui uma Unidade de Recuperação de Etano integrada a uma das Unidades de Pirólise na planta de Camaçari. Esta Unidade foi instalada em 1978 e projetada para processar 2 MM m<sup>3</sup>/d de GN; porém, devido à indisponibilidade deste insumo na Bahia, ficou hibernada até 1999. Em 2001 foi recondicionada, voltando a operar com restrições de carga. Nos últimos anos, a unidade vinha operando com carga reduzida e, por escassez de GN, foi retirada de operação em fevereiro de 2007.



**FIGURA 5 – Preços de nafta – Base ARA (Amsterdã-Roterdã-Antuérpia), de agosto de 2007 a agosto de 2008**

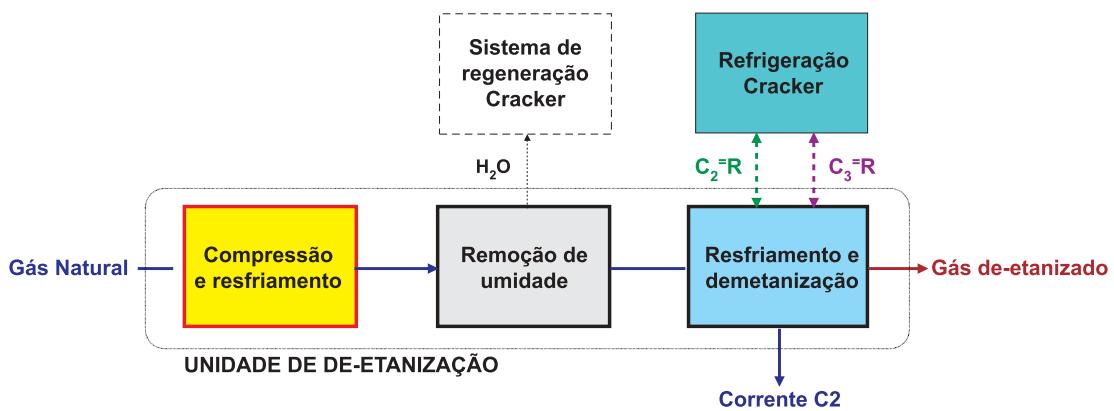


**FIGURA 6 – Preços do gás natural – base Bahiagás, de agosto de 2007 a agosto de 2008**

Na Figura 7, pode-se observar um diagrama de blocos da unidade de recuperação de etano a partir de GN. A unidade tem uma integração energética com a unidade de craqueamento de nafta, utilizando o sistema refrigerante de eteno e propeno.

A integração desta unidade no esquema geral de processamento das unidades de petroquímicos básicos da Braskem, em Camaçari, é mostrada na Figura 8.

Com os preços crescentes de nafta e a descoberta do Campo de Manati, a Braskem iniciou um estudo para a ampliação e modernização da sua unidade instalada de recuperação de etano a partir do GN. Este estudo se alinhava com a estratégia de flexibilização de matéria-prima e ampliação da produção de eteno, via rota gasosa, garantindo o crescimento e a competitividade da cadeia petroquímica do Pólo de Camaçari.



**FIGURA 7 – Esquema básico do processo de de-etanização de GN**

Vários cenários potenciais foram considerados para avaliação de viabilidade técnico-econômica, de acordo com a disponibilidade de GN do Recôncavo, a partir de Catu e de Manati, que são as fontes da região próximas à Unidade Industrial de Camaçari. Em função da composição destas fontes e dos contaminantes presentes, foram adicionadas ao projeto algumas unidades de tratamento. Estas unidades tinham como objetivo a remoção de alguns destes contaminantes com riscos potenciais ao processo e aos equipamentos, além de especificar o produto final para a sua aplicação. Foram estudadas tecnologias comercialmente disponíveis (*proven design*) e que permitissem redução e/ou eliminação de impacto ambiental.

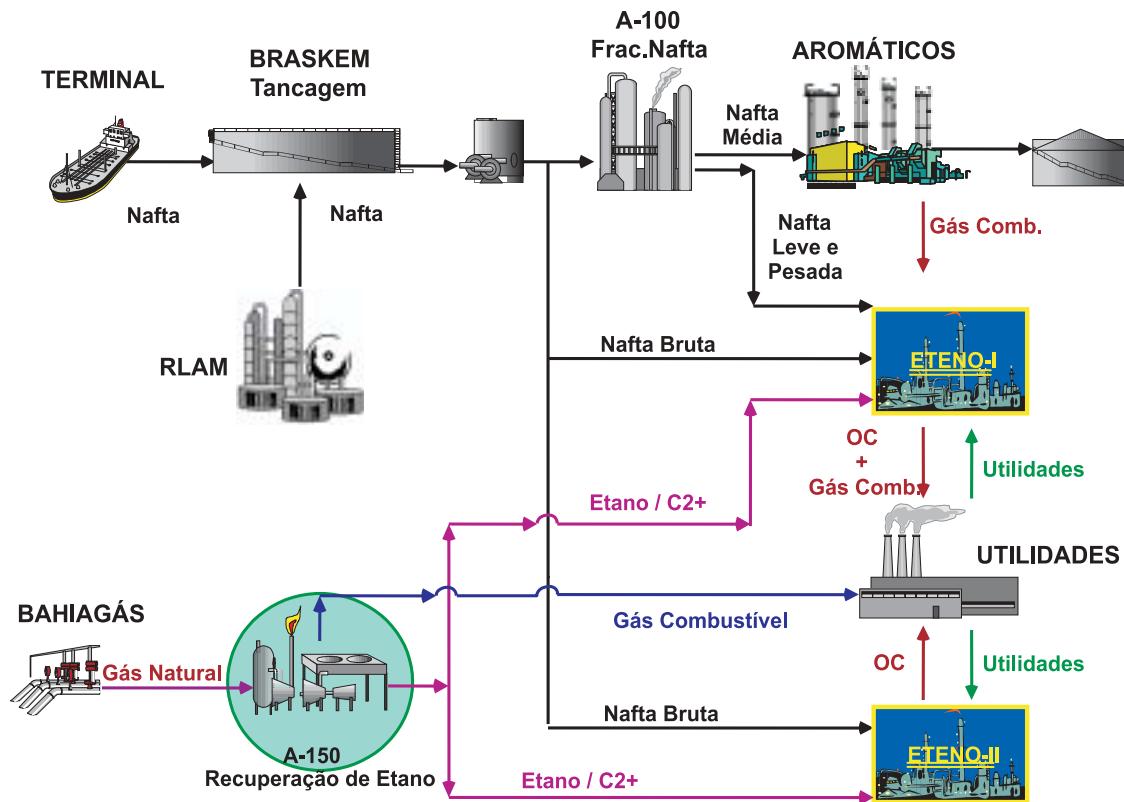
Os volumes disponíveis e as composições do GN destas duas fontes têm diferenças importantes para a sua utilização: o conteúdo de etano e componentes mais pesados e o teor de nitrogênio. O gás do Recôncavo é mais rico em etano, enquanto que o de Manati é mais rico na soma dos componentes etano, propano e butanos. Adicionalmente, o gás de Manati apresenta um alto teor de nitro-

gênio, em torno de 6%, que precisa ser removido para uso como matéria-prima em algumas aplicações.

Estas diferenças e as restrições de aplicação determinam os sistemas adicionais que devem ser incorporados ao projeto.

## 5 PRODUÇÃO DE ETENO PELA ROTA GASOSA

A utilização de matéria-prima gasosa para a produção de olefinas, eteno em particular, apresenta um rendimento diferenciado nos fornos de pirólise com relação à nafta ou outras cargas líquidas. Neste estudo, as diferenças médias de produção a partir destas duas matérias-primas são mostradas na Tabela 4. Estas produções consideram as atuais tecnologias existentes nas Unidades de Craqueamento de Pirólise da Braskem Camaçari, considerando uma passagem pelo forno (*once-through*) sem reciclo do material não convertido. Quando considerado reciclo, o etano não convertido retorna até a sua extinção e estas diferenças ficam ainda mais significativas.



**FIGURA 8** – Esquema geral das principais unidades de petroquímicos básicos da Braskem Camaçari e a integração com a unidade de de-etanização do GN

**TABELA 4** – Quadro comparativo de rendimento de eteno para processamento de carga líquida e gasosa considerando uma passagem pelo forno

Tipo de carga	Vazão (t/h)	Rendimento de eteno (%)	Produção de eteno (t/h)
<b>Nafta</b>	27,0	26	7,0
<b>C2+ do GN Manati</b>	17,1	41	7,0
<b>Etano puro</b>	14,0	50	7,0

A partir dos resultados apresentados acima, pode-se concluir que a substituição de 27 t/h de nafta por 17,1 de C<sub>2+</sub> ou 14,0 de etano resultam na mesma produção de eteno. Com a matéria-prima líquida (nafta ou similar), o processo de craqueamento produz uma variedade de produtos que vai do eteno e do propeno a produtos aromáticos de cadeia de seis a nove carbonos, além de resíduos mais pesados. A carga gasosa é mais seletiva e produz preferencialmente os produtos mais leves, até quatro átomos de carbono.

Para um caso específico estudado, o processamento de 3 MM m<sup>3</sup>/d de GN de Manati na unidade de de-etanização fornece gás para as unidades de craqueamento suficiente para deslocar em torno de 195.000 t/a de nafta para a mesma produção de eteno.

## 6 TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO DOS CONTAMINANTES E IMPUREZAS DO GÁS NATURAL DE MANATI

Para atender aos requisitos de processamento do gás natural de-etanizado em unidades petroquímicas e outras aplicações, é necessário adicionar unidades para o tratamento da carga. Estas unidades têm como objetivo a remoção de contaminantes e impurezas como mercúrio, nitrogênio e CO<sub>2</sub>, necessária à proteção do processo e dos equipamentos e à especificação de correntes de produto (metano e etano) para sua devida aplicação.

Os potenciais processos encontrados em literatura e aplicados nas indústrias para o tratamento da carga de GN são:

- Remoção de N<sub>2</sub>: Processo Criogênico; Peneira Molecular; Absorção não Criogênica (com solvente); Membrana.
- Remoção de CO<sub>2</sub>: Processo com Aminas / Absorção com Soda Cáustica; Peneira Molecular / Adsorção; Membranas; Condensação (criogênica).
- Remoção de Mercúrio: Carvão Ativado e Peneira Molecular.

A seguir, são apresentados brevemente os tratamentos com tecnologias comercialmente disponíveis para a remoção de contaminantes e impurezas do GN de Manati.

## 7 PROCESSOS PARA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

O gás de-etanizado tem o metano como gás combustível residual. O nitrogênio presente na fonte de Manati, cerca de 6% em volume, vai ser separado junto com o metano, prejudicando aplicações na indústria química onde os processos apresentam restrições para estas faixas de nitrogênio. A reforma a vapor é um dos exemplos em que o conteúdo maior de nitrogênio reduz o seu rendimento. Para a aplicação como GNV, com os critérios da ANP, Resolução ANP Nº 16, revisada recentemente em 17/6/2008, o limite de inertes (N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) para a região Nordeste foi elevado para 8% molar; não havendo, portanto, necessidade de se tratar o GN de Manati para este fim.

No estudo de viabilidade realizado pela Braskem foram avaliadas tecnologias disponíveis comercialmente para esta remoção.

### Processo Criogênico

Processo baseado nas diferenças de temperaturas entre o metano e o nitrogênio quando passam da fase gasosa para a líquida. A partir do devido controle das pressões e temperaturas do sistema, o metano (CH<sub>4</sub>) é condensado e coletado, enquanto o nitrogênio (N<sub>2</sub>) é removido do processo. O CH<sub>4</sub> é então re-vaporizado, obtendo-se uma corrente especificada quanto ao teor de N<sub>2</sub>. O excesso de N<sub>2</sub> pode ser enviado para a atmosfera ou tocha (*flare*). Este processo é aplicado para projetos de grande porte, devido ao requerimento de equipamentos operando com nível de temperatura muito baixo, com capacidade de processamento de 30 a 70 MM scfd de GN e teor de N<sub>2</sub> entre 5 a 80% mol. A recuperação de hidrocarbonetos é maior que 99.9%.

A maior vantagem do processo criogênico é a redução do investimento total, quando associado à recuperação de outras frações como etano e GLP, além de resultar em menor perda de frações de alto valor comercial.

### Outros Processos Potenciais

Processo de Recuperação de N<sub>2</sub> com Solvente: é muito eficiente, porém representa um maior investimento, além de maior necessidade de área física para sua construção.

Processos de membrana e PSA (*Pressure Swing Adsorption*): podem necessitar de recompressão para o fornecimento e resultar em perdas elevadas de frações valiosas. As maiores vantagens destes processos são a construção compacta e a sua independência de baixas temperaturas.

## 8 PROCESSOS PARA REMOÇÃO DE CO<sub>2</sub>

O CO<sub>2</sub> é solidificado na seção criogênica da unidade e, também, com a presença de água, pode promover um ambiente corrosivo nos equipamentos. Além disso, o CO<sub>2</sub> é incorporado à corrente C2+ produzida na unidade, devendo ser removido na Unidade de Lavagem Cáustica das Unidades de Pirólise que irão receber este gás. Para o caso específico deste estudo, como as unidades de craqueamento já estavam com capacidade limitada, optou-se por abater CO<sub>2</sub> e compostos derivados de enxofre na Unidade de De-etanização de GN, implicando, adicionalmente, em uma economia no consumo de soda nas unidades de craqueamento e, consequentemente, na redução da vazão de soda gasta para as Unidades de Tratamento de Soda Gasta das plantas de pirólise.

A unidade de lavagem cáustica tem flexibilidade, eficácia e investimento competitivos, porém gera esgoto altamente poluente que necessita de tratamento antes do descarte. As tecnologias de tratamento da soda gasta requerem investimento relativamente elevado e ocupam espaço físico significativo.

### Processo com Aminas

Este processo é baseado na reação de um solvente com o CO<sub>2</sub> presente na corrente, formando um composto de ligação fraca. O solvente rico em CO<sub>2</sub> é então aquecido permitindo que o CO<sub>2</sub> seja liberado. Geralmente, o solvente é uma solução aquosa de alcanolamina contendo ativadores e inibidores adicionados para aumentar a transferência de massa e regular a corrosão, respectivamente. Os solventes usados neste processo são: monoetanolamina (MEA), diisopropanolamina (DIPA) e metil dietanolamina (MDEA). Este último apresenta uma menor demanda de energia durante a regeneração do solvente, sendo, portanto, mais utilizado em alguns processos.

## 9 PROCESSOS PARA REMOÇÃO DE Hg

Considerando a possibilidade de se ter mercúrio presente na carga, sua remoção se faz necessária para assegurar que nenhum mercúrio tenha contato com os trocadores do sistema criogênico da unidade, garantindo a proteção destes e do processo. O fenômeno esperado resultante do contato do mercúrio com o material de alumínio do sistema criogênico é a fragilização do material por difusão do metal líquido (*Liquid Metal Embrittlement*, LME), localizada principalmente nas soldas, com eventual falha catastrófica da estrutura da mesma.

Os processos de remoção de Hg são baseados na instalação de simples vasos, na corrente total de GN, com leito fixo de adsorção para reações irreversíveis com o contaminante a ser removido, permitindo a especificação final da corrente com teor de Hg na faixa de ppb. O material adsorvente deverá ser substituído quando estiver saturado de Hg. Quanto à questão de transporte, tratamento e descarte do material adsorvente gasto, deverão ser realizados por empresas credenciadas, com suporte do fornecedor do adsorvente, atendendo sempre aos regulamentos e requerimentos legais da região, para evitar os impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

Especificamente para o GN de Manati, como ainda não há nenhuma confirmação deste contaminante, esta unidade não é necessária.

O conceito final da unidade de De-etanização de GN com as várias unidades de remoção de contaminantes interligadas é mostrado no diagrama de blocos da Figura 9. Neste desenho, a unidade tem um sistema de regeneração fechado incorporado, além de um turbo-expansor que permite eliminar a necessidade de etileno refrigerante proveniente da Unidade de Pirólise. Apenas uma pequena vazão de propeno refrigerante ainda é necessária.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

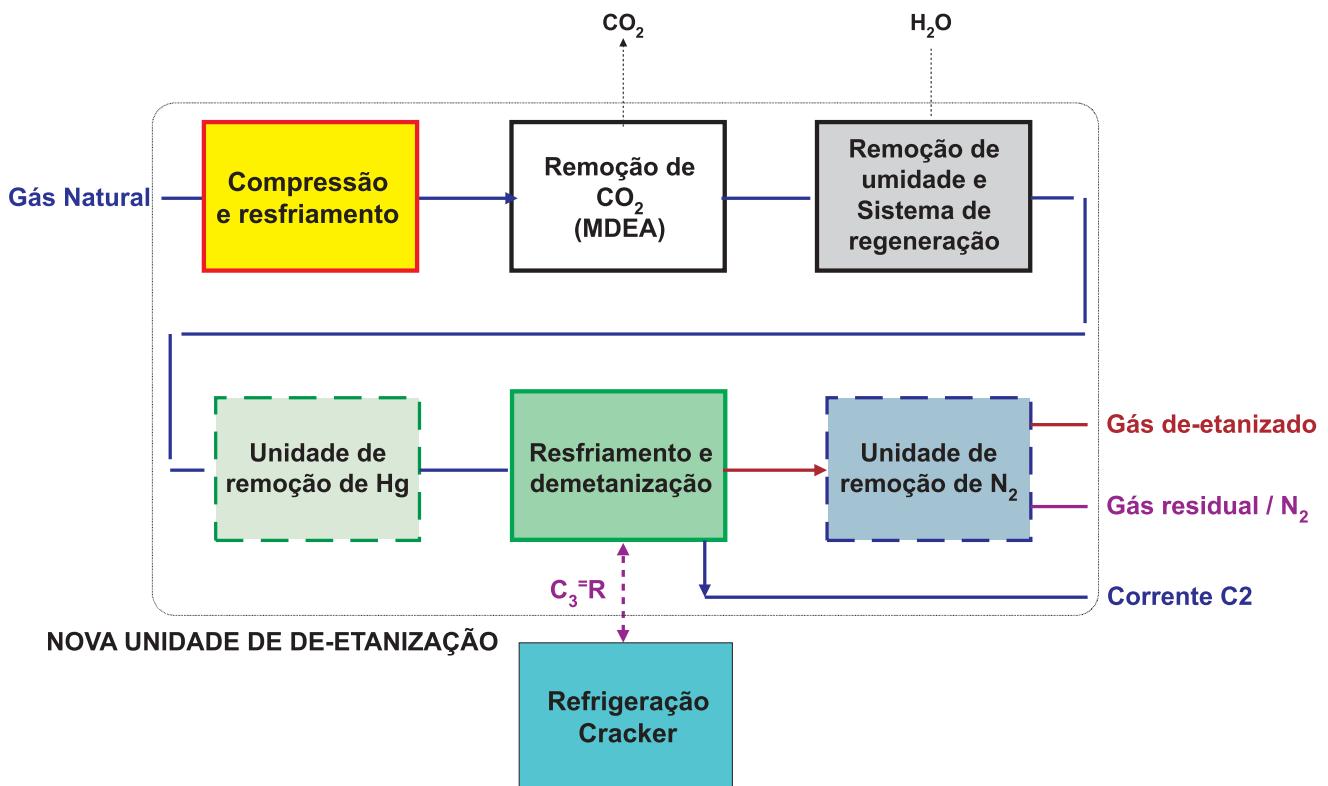
O Gás Natural utilizado como matéria-prima apresenta uma maior agregação de valor comparado ao seu uso como combustível. No cenário de grande competitividade da petroquímica mundial e com altos preços de matéria-prima, a rota gasosa para a produção de eteno apresenta-se como uma grande oportunidade de flexibilização

para a Unidade de Produção de Petroquímicos Básicos, trazendo uma maior rentabilidade e possibilidade de aumento de capacidade. A disponibilidade do Gás de Manati e do Recôncavo, como insumos para esta aplicação industrial e em outros processos químicos no Pólo Industrial de Camaçari, reforça toda a cadeia petroquímica.

Vale ressaltar que o gás natural como fonte de energia também é importante para as indústrias da região, que têm uma matriz energética desfavorável a partir de óleo combustível. Entretanto, o valor da recuperação dos

componentes etano, propano e butanos para utilização como matéria-prima petroquímica propicia a produção do gás metano especificado para outros usos, inclusive combustível.

A especificação do Gás de Manati para as diversas aplicações como matéria-prima é possível a partir da instalação de unidades adicionais específicas para remoção dos contaminantes e impurezas tais como dióxido de carbono, água, mercúrio e nitrogênio. Estas unidades têm tecnologias comprovadas e comercialmente disponíveis (*proven design*).



**FIGURA 9** – Unidade de de-etanização com unidades adicionais de tratamento

---

## REFERÊNCIAS

[ABRACE] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIALIS DE ENERGIA E DE CONSUMIDORES LIVRES. Disponível em: <<http://www.abrace.org.br/port/home/index.asp>>.

[ANP] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2008.

BARBASSA, Almir. **Plano de investimentos 2008-2012**. Campinas: IBEF; Investidores, 27 nov. 2007.

CONCEPTUAL design study prepared for Braskem S.A.: revamp of natural gas de-ethanization unit. TDE Thermo Design Engineering Ltd., Edmonton, Alberta, Canada, 2007.

FEASIBILITY study prepared for Braskem S.A.: revamp of natural gas de-ethanization unit. TDE Thermo Design Engineering Ltd., Edmonton, Alberta, Canada, 2006.

GUO, B.; GHALAMBOR, A. **Natural gas engineering handbook**. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 2005.

**HYDROCARBON PROCESSING. Gas processes handbook 2006**. Houston, USA: Gulf Publishing, 2006. Disponível em: <<http://www.hydrocarbonprocessing.com>>.

RACHID, Luciana. **Perspectivas para o gás**. In: WORKSHOP ENERGY DAY - UNIBANCO, São Paulo, 13 fev. 2008. São Paulo: Associação Paulista de Cogeração de Energia, 2008. Disponível em: <[http://www.cogensp.com.br/cogensp/workshop/2008/Perspectivas\\_GasNatural\\_SP\\_13022008.pdf](http://www.cogensp.com.br/cogensp/workshop/2008/Perspectivas_GasNatural_SP_13022008.pdf)>.

# **Modelagem e Simulação de uma Central Termelétrica com Cogeração e Ciclo Combinado**

## **RICARDO KALID**

Doutor em Engenharia Química. Prof. Adjunto da Escola Politécnica/UFBA-Deptº Eng. Química.  
Vice-coordenador da Rede TECLIM.

## **EMERSON SALES**

Doutor em Ciências /Engenharia Química. Prof. Associado do Instituto de Química (UFBA).  
Pesquisador da Rede TECLIM.

## **ASHER KIPERSTOK**

PhD em Engenharia Química, Tecnologias Ambientais.  
Prof. Associado da Escola Politécnica/UFBA-Deptº Eng. Ambiental. Coordenador da Rede TECLIM.  
[asher@ufba.br](mailto:asher@ufba.br)

## **LEONARDO SOUZA**

Mestrando em Engenharia Química (UFBA). Pesquisador da Rede TECLIM.

## **ADRIANO DE SENA FREITAS**

Estudante de Engenharia Química (UFBA). Bolsista de Iniciação Científica da Rede TECLIM.

**Universidade Federal da Bahia (UFBA), Escola Politécnica,  
Departamento de Engenharia Ambiental, TECLIM**  
Rua Aristides Novis, 2 - Federação. 40210-630 – Salvador - Bahia - Brasil  
Tel.:+ 55(71)32354436 – Fax: + 55(71)32839892

## **VICTOR MATTIA PIRES**

[victor.mattapires@braskem.com.br](mailto:victor.mattapires@braskem.com.br)

## **EDGAR NUNES DE ALMEIDA**

Mestre em Engenharia Química (UFBA). Engenheiro da Braskem S.A.

**Braskem S.A. - Unidade de Insumos Básicos (UNIB)**  
Camaçari - BA

## RESUMO

Uma Unidade Termelétrica, instalada junto a um Complexo Industrial com processos intensivos em calor, pode dispor de um ciclo térmico com cogeração (geração de energia elétrica seguida do uso racional da energia térmica residual) e apresentar elevada eficiência energética. O gerenciamento energético representa um ponto crítico desta aplicação, tendo em vista a frequente ocorrência de desequilíbrio na geração de energia elétrica e térmica, ocasionados pelas variações de consumo e mudanças operacionais. Este trabalho tem por objetivo apresentar um simulador utilizado no gerenciamento da Unidade Termelétrica do Complexo Petroquímico de Camaçari, que dispõe de cogeração e ciclo combinado. Este simulador possibilita a avaliação integrada de diferentes configurações operacionais, permitindo a visualização da condição operacional de menor custo operacional e, consequentemente, menor impacto ambiental.

## 1 INTRODUÇÃO

**U**ma unidade termelétrica pode ser definida, em sua concepção básica, como uma instalação cuja finalidade é a geração de energia elétrica a partir do vapor gerado em caldeiras (ALMEIDA, 2005). Seu processo compõe-se de quatro etapas:

- geração de vapor numa caldeira a partir do calor gerado pela queima de um combustível (carvão, óleo, gás, etc.);
- utilização deste vapor (de alta pressão) numa turbina para acionar um gerador elétrico;
- condensação do vapor de exausto da turbina, transferindo o calor latente residual para um circuito independente de resfriamento;
- bombeamento deste condensado de volta à caldeira, completando o ciclo.

A produção simultânea de múltiplas formas de energia a partir da queima de um determinado combustível, a cogeração, permite uma produção mais econômica e racional dos recursos energéticos, tendo em vista a possibilidade da eliminação das perdas inerentes ao calor latente da condensação do exausto do turbogenerator a vapor. Portanto, a cogeração implica em uma operação de menor custo e, consequentemente, com menos emissões atmosféricas, favorecendo o uso

sustentável dos recursos naturais disponíveis (KIMURA; ZHU, 2000).

Os sistemas industriais intensivos em calor propiciam a cogeração, quando o vapor superaquecido de alta pressão gerado nas caldeiras e fornos é admitido em turbogeneradores de contrapressão para geração de energia elétrica. O vapor extraído destes turbogeneradores em vários níveis de pressão é utilizado como fonte de calor nos diversos pontos do processo.

A complexidade do sistema térmico pode tornar a gestão energética do sistema impraticável, tendo em vista a quantidade e a interdependência das variáveis operacionais deste último. Nestes casos, torna-se imprescindível o uso de simuladores de processo.

## 2 DESCRIÇÃO DA CENTRAL TERMELÉTRICA DO PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI

Na Unidade de Termelétrica situada no Pólo Industrial de Camaçari, o vapor gerado nas caldeiras alimenta dois turbogeneradores de contrapressão, dos quais parte do vapor é extraída para suprir de calor o processo petroquímico (cogeração), seguindo outra parte para uma turbina condensante, exclusiva para geração de energia elétrica. O exausto desta turbina é condensado com água da torre de resfriamento, levando a uma acentuada perda energética (ALMEIDA, 2005).

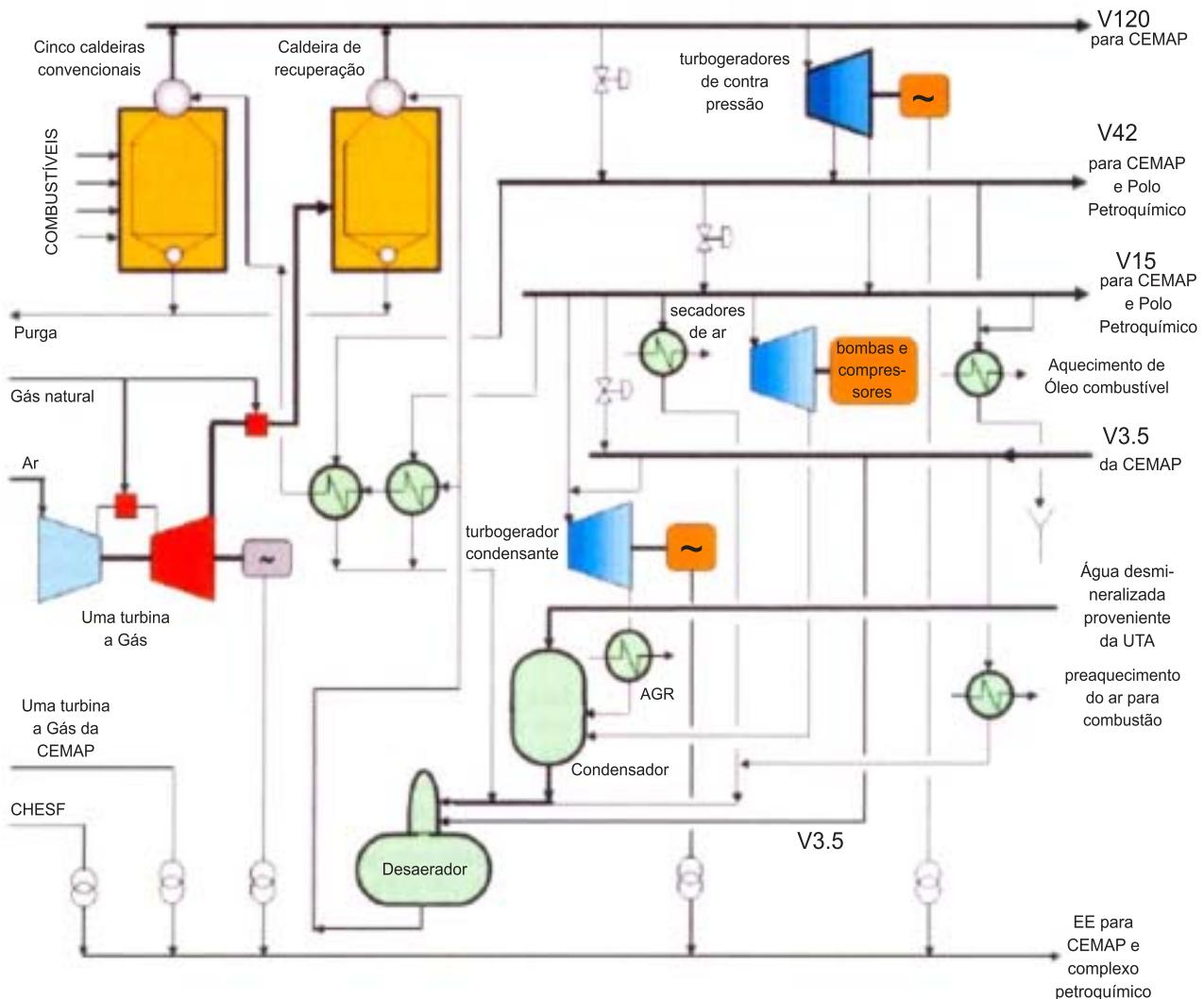
Essa unidade também opera em ciclo combinado, em que uma turbina a gás gera energia elétrica pela queima de gás natural, e seu exausto supre de calor uma caldeira de recuperação que participa da geração de energia elétrica nos turbogeneradores a vapor.

A capacidade instalada de geração de vapor de alta pressão é de 2.100 t/h e a de energia elétrica é de 277 MW e 323 MVA em 13,8 kV.

O sistema de vapor está constituído de seis níveis de pressão (V120-123,42 bar e 538°C; V42-43,86 bar e 385°C; V15-16,32 bar e 280°C; V3,5-4,59 bar e 180°C; 1,02 bar e 100°C; e vácuo a 0,15 bar e 54°C) estando, porém, acoplado à central de matérias-primas petroquímicas nos quatro níveis de maior pressão e suprindo vapor para os clientes externos em dois níveis intermediários (43,86 bar e 16,32 bar). O sistema elé-

trico está constituído de oito níveis de tensão (230 kV; 69 kV; 13,8 kV; 4,16 kV; 480 V; 120 V, 125 Vdc e 24 Vdc), onde se acopla à concessionária Companhia Hi-

drelétrica do São Francisco (CHESF) em 230 kV e supre as unidades petroquímicas internas e externas em 69 kV; 13,8 kV.



**FIGURA 1** – Fluxograma simplificado da Unidade Termelétrica

### 3 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR DO SISTEMA TÉRMICO E ELÉTRICO DO PÓLO PETROQUÍMICO

Quanto maior o coeficiente de cogeração, maior a eficiência energética do sistema. Essa otimização do sistema térmico e elétrico é realizada com a seleção de acionadores e distribuição de carga de forma a minimizar as perdas energéticas.

O desenvolvimento do simulador do sistema térmico e elétrico para esta unidade é importante, pois permite:

- o gerenciamento energético da unidade;
- visão ampla e de clara interpretação das mudanças operacionais no ciclo térmico;
- a melhoria do balanço mássico e energético da unidade, tornando-o mais confiável;
- a indicação do impacto na unidade termelétrica causado pela mudança no consumo e na geração de vapor nas centrais de matérias-primas.

O simulador utilizado no gerenciamento energético da Unidade Termelétrica do Pólo foi desenvolvido no software Engineering Equation Solver (EES®). Além de prover um extenso banco de dados composto por diversas propriedades termodinâmicas de várias substâncias, o EES® é um simulador que apresenta uma interface gráfica bastante amigável e de fácil acesso e visibilidade na simulação de situações operacionais. A implementação de modificações num programa existente é de relativa facilidade. Este software realiza os cálculos através da solução de sistemas de equações (lineares ou não-lineares), separando-as em “blocos” (conjuntos de equações). A programação das referidas equações é simples, não necessitando de explicitar a variável a ser calculada. Esse simulador foi desenvolvido, inicialmente, como objeto de estudo de um trabalho de pesquisa de uma dissertação de mestrado (ALMEIDA, 2005), a partir do qual o trabalho realizado no Projeto Ecobraskem deu-se em duas etapas. Na primeira, ocorreu a ampliação do simulador através do detalhamento dos equipamentos da própria unidade termelétrica (caldeiras, turbinas, bombas, etc.). Na segunda, expandiu-se o simulador para incorporar as centrais de matérias-primas que são acopladas à unidade termelétrica.

A unidade termelétrica foi simulada por Almeida (2005) utilizando como plataforma o software EES®, obedecendo às equações de balanço de massa e energia e restrições de projeto. Os equipamentos similares foram agrupados em blocos, o que simplifica a visualização do sistema e a utilização do simulador no gerenciamento da unidade. Em uma segunda etapa, o simulador foi ampliado de forma a permitir a retirada de operação de equipamentos-chaves como caldeiras, turbogeradores, bombas, pré-aquecedores, e foram acrescentados equipamentos do sistema de vapor da central de matérias-primas como trocadores de calor e turbinas, tornando o simulador mais flexível, reproduzindo resultados mais próximos da realidade operacional. Em uma última etapa, foi feito um levantamento dos limites operacionais de variáveis-chaves do sistema como a geração de potência na turbina condensante e a geração de vapor de super-alta pressão nas caldeiras, fixando uma região viável para a otimização da eficiência de cogeração da unidade. Essas modificações são necessárias para aumentar as similaridades entre a realidade e a simulação, além de melhorar as possibilidades de modificações.

### 4 METODOLOGIA

A seguir, será descrita mais especificamente a segunda etapa do trabalho realizado no Projeto Ecobraskem juntamente com a alteração no contrato de fornecimento de energia elétrica.

#### 4.1 Incorporação das Centrais de Matérias-primas

As centrais de matérias-primas são constituídas pelas plantas de produção dos olefínicos e aromáticos (principais produtos da unidade). Estas consomem vapor, através das turbinas acionadoras de compressores e de bombas e trocadores de calor, e produzem vapor nos vasos de pressão. Como a quantidade de vapor produzida nos fornos dessas centrais não é suficiente para o próprio consumo, elas necessitam importá-lo da unidade termelétrica. Devido aos aspectos econômicos, as plantas das centrais são fontes constantes de projetos de otimização energética que visam, principalmente, à diminuição do consumo de vapor, o qual é importado da unidade termelétrica. Dessa forma, torna-se necessária uma ferramenta que possibilite a avaliação dos impactos de tais projetos na unidade. A atividade de expansão do simulador deu-se de acordo com as seguintes etapas:

- levantamento dos equipamentos consumidores e geradores de vapor nas centrais, bem como dos valores das vazões mais representativas (no caso dos trocadores e vasos) e das potências (no caso das turbinas);
- inserção de modelo matemático referente ao consumo de vapor dos equipamentos das centrais. As equações das sub-rotinas calculam as vazões de vapor por meio de balanços de massa e energia;
- elaboração da interface gráfica das centrais com o usuário.

Nesta interface, o acesso às telas que representam as centrais de matérias-primas é feito pela tela principal. A primeira tela a abrir é a que contém os maiores consumidores de vapor – as turbinas acionadoras de compressores –, os fornos geradores de vapor de super-alta pressão e as caixas através das quais se tem acesso às telas que apresentam as bombas turbinadas, o consumo de vapor realizado pelos trocadores de calor e a quantidade de vapor produzida nos vasos geradores de vapor.

#### **4.2 Incorporação da mudança na tarifação da energia elétrica**

Como foi visto anteriormente, a unidade termelétrica em estudo, apesar de produzir energia elétrica, opera em paralelo com a CHESF, uma vez que a quantidade produzida não é suficiente para a demanda da unidade. A energia fornecida pela CHESF é comprada pela unidade mediante contrato horossazonal. A horossazonalidade significa que as tarifas adquirem valores diferenciados em virtude do período do ano (e do dia) em que aquela é consumida. O ano é separado em período seco (de junho a outubro), quando há menor incidência de chuvas, e em período úmido (de novembro a maio), quando o volume de chuvas aumenta. E o dia é separado em horário de ponta - HP (18 às 21 h, fora do horário de verão, e das 19 às 22h, durante horário de verão), e horário fora de ponta - FP (demais horários e finais de semana). Desta forma, as tarifas pagas no período seco e no horário de ponta são as mais caras. A unidade termelétrica paga por uma demanda fixada e pelo que consome de energia elétrica. Caso o consumo da unidade ultrapasse o valor fixado na demanda, o custo da energia aumenta em cerca de três vezes – a tarifa para a ultrapassagem é três vezes maior do que aquela para a

demandas normal. Nesse contexto, a ANEEL regularizou a venda do excedente de energia elétrica, pelas concessionárias e autorizadas para consumidoras com demanda a partir de 3 MWh, através do Mercado Atacadista de Energia (MAE). O fato é que essa energia possui preço menor do que a adquirida pela CHESF, de modo que se decidiu estudar o impacto no custo operacional da unidade causado pela alteração da compra de energia nos horários de ponta e nos casos de ultrapassagem que passaria a ser feita a partir do MAE. Não se estudou, de antemão, a obtenção do total da energia elétrica consumida a partir do MAE devido à não regularidade de oferta da referida fonte.

Com isso, as tarifas MAE foram inseridas na sub-rotina de cálculo do custo da unidade com energia elétrica. As equações utilizadas para a realização do cálculo são relações de multiplicação do período com o custo por período.

#### **4.3 Considerar consumo de gás combustível (gás UO) e gás metano no turbogerador da Unidade de Olefinas (TG-UO)**

Anteriormente, era considerado no simulador que a turbinha a gás de Olefinas consumia gás natural em vez de gás combustível (residual). Além disso, não era considerada a possibilidade de consumo de gás metano.

Foi refeito o balanço no *header* de combustíveis gasosos para retirar o consumo de gás natural pela TG-UO e foi acrescentada uma variável binária, a qual tem seu valor inserido pelo usuário flexibilizando a utilização dos combustíveis nesta.

Foi acrescentada uma função para calcular a energia para o gás metano e inserida uma variável para o poder calorífico inferior, informada pelo usuário.

#### **4.4 Considerar disponibilidade de GN no fechamento do “MIX” de combustíveis para as caldeiras**

No simulador, o gás natural era mostrado no diagrama como uma variável de saída, não sendo considerada a disponibilidade de gás natural na planta. Com isso, foi acrescentada uma variável para indicar a disponibilidade de gás natural, com seu valor inserido pelo usuário, e

uma variável para indicar a demanda de gás natural a qual é calculada pelo simulador. A diferença entre a demanda e a disponibilidade de gás natural é avaliada e, utilizando uma função, se a disponibilidade for menor que a demanda, o gás natural é retirado das caldeiras B, C, D e E, e enviado para a turbina a gás, TGF, sendo a carga térmica reposta por óleo combustível (OC1A). Observe que, no simulador, a caldeira A não consome gás natural.

#### **4.5 Considerar porcentagem de combustível líquido em base térmica para cada caldeira**

A queima de diferentes combustíveis nas caldeiras representadas no simulador por quatro correntes (GÁS NATURAL, OC1A, RAP, GASOLINA) possui diferentes contribuições em termos de carga térmica fornecida. Para verificar a contribuição dos combustíveis líquidos em termos de carga térmica na produção de vapor nas caldeiras, foi acrescentada uma variável que calcula o percentual de combustível líquido (OC1A e equivalentes) com relação ao gás natural, considerando como critério a carga térmica contida nestes. Esta variável é mostrada no diagrama individual das caldeiras.

#### **4.6 Adicionar consumo de vapor, V15, nos pré-aquecedores de OC1A, e de V42 nos pré-aquecedores de RAP**

No simulador, o consumo de vapor V15 ( $15 \text{ kgf/cm}^2$ ) no pré-aquecedor de OC1A não era computado no balanço do header de V15. Além disso, não estava sendo considerado o pré-aquecimento do RAP com vapor V42 ( $42 \text{ kgf/cm}^2$ ). Foi feito um levantamento da pressão e da variação de temperatura do RAP no pré-aquecedor e, a partir da composição deste, foi calculado o consumo de V42 e inseriu-se este no balanço do header de V42. O consumo de V15 pelo pré-aquecedor de OC1A foi inserido no header de V15.

#### **4.7 Considerar consumo de V15 nos secadores regenerativos, sopradores de fuligem e adicionar alívio de V15.**

Foi realizada uma pesquisa de campo para levantar o consumo médio de vapor de  $15 \text{ kgf/cm}^2$  pelos secado-

res regenerativos e sopradores de fuligem, sendo constatado um consumo médio de  $6 \text{ t/h}$  pelos secadores regenerativos, e de  $7 \text{ t/h}$  por cada soprador de fuligem. Assim, foram acrescentadas variáveis manipuladas pelo usuário para a vazão de V15 dos secadores e número de sopradores de fuligem. O alívio de V15 foi acrescentado e pode ser manipulado pelo usuário. Todos estes consumidores foram inseridos no balanço do header de V15.

#### **4.8 Considerar limite mínimo de 15 MW de produção na TGF para a geração de vapor V120 pela GVH sem queima suplementar**

A turbina a gás, TGF, opera acoplada à caldeira de recuperação, GVH, de forma que a carga térmica do exausto da TGF possa ser utilizada para geração de vapor de  $120 \text{ kgf/cm}^2$ , dependendo do alinhamento deste.

A caldeira de recuperação pode utilizar gás natural, para elevação de sua produção, através da queima suplementar. Na produção de vapor sem queima suplementar, a TGF deve estar com uma produção acima de 15 MW, permitindo assim especificação do vapor.

Foi criada uma função de forma que esta restrição do processo fosse respeitada, visualizando as diferentes configurações de operação como o alinhamento do exausto da TGF para a atmosfera.

### **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As modificações realizadas no simulador aumentaram a confiabilidade em seus resultados, ampliando o seu uso pela operação. O uso do simulador possibilita avaliar a eficiência global da planta, bem como determinar as variáveis que mais impactam positivamente e negativamente nesse índice. As análises levam em consideração confiabilidade e custo operacional, na medida em que se tem embutido o real papel da Unidade: o de supridor de energia e vapor para o Pólo Petroquímico de Camaçari.

As tomadas de decisões operacionais baseadas nas simulações levaram a uma redução significativa dos custos operacionais. Os resultados obtidos pelo uso rotineiro do simulador podem ser summarizados nas alterações do

modo operacional em momentos oportunos em que tais mudanças não comprometam a confiabilidade do sistema.

Essas oportunidades detectadas e seus ganhos anuais médios são apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1** – Ganhos absolutos obtidos através de oportunidades detectadas com o uso do simulador em unidades monetárias

Oportunidade detectada	Ganho absoluto (UM\$/ano)
Redução de 20 t/h de alívio de V3,5 por injeção no TG-E	14.000.000,00
Redução de 20 t/h de injeção de V15 no TG-E	9.000.000,00
Aumento de importação de EE (CHESF) de 8MW	350.000,00
Abertura de 50% de uma REDUTORA-120/42	400.000,00

A comparação demonstrada na Tabela 2 apresenta os efeitos na unidade termelétrica quando todas as bombas turbinadas estão operando e quando apenas 75% operam. A central termelétrica tem a flexibilidade de enviar vapor

de média pressão para a central petroquímica e, ainda, receber o excedente de vapor de média pressão não utilizado nas plantas petroquímicas. Por isso, observa-se o sinal negativo na vazão do referido vapor na Tabela 2.

**TABELA 2** – Efeito da retirada de bombas turbinadas que utilizam vapor de baixa pressão na unidade termelétrica

Bombas turbinadas	Vapor de média pressão no Limite de Bateria da unidade* (t/h)	Óleo combustível (t/h)	Vapor de baixa pressão para a atmosfera (t/h)
Todas operando	-1	36,8	49,6
75% operando	-31	34,5	19,6

Pode-se observar na Tabela 2 que, quando todas operam, há maior demanda de vapor de média pressão, causando um menor excedente desse vapor retornado para a unidade termelétrica. O aumento observado na quantidade de vapor de baixa pressão emitido para a atmosfera ocorre devido ao fato das turbinas em questão expandirem para

baixa pressão. A diminuição observada no consumo de óleo combustível é referente à menor necessidade de produção de vapor de média pressão – uma vez que este retorna à unidade termelétrica – que culmina na produção de menor quantidade de vapor de super-alta pressão e, assim, num menor consumo do referido combustível.

A Tabela 3 demonstra o efeito da alteração da tarifação da energia elétrica importada pela unidade termelétrica. Segundo a mesma, quando a unidade consome energia elétrica do MAE, nos horários de ponta e

no caso de ultrapassagem da demanda estabelecida no contrato, ao invés de comprar sempre da CHESF, ocorre uma redução de cerca de 11% no custo operacional da planta.

**TABELA 3** – Mudança no custo operacional em unidades monetárias com relação à mudança de distribuidora de energia elétrica

<b>Custo operacional (UM\$/ano)</b>	
MAE	608955,1
CHESF	679876,9

Os resultados obtidos para os equipamentos consumidores e geradores de vapor da Central de Matérias-Primas foram satisfatórios, como é possível constatar na Tabela 4, na qual são mostradas va-

zões obtidas pelo simulador para as turbinas de contra-pressão das CEMAPS, que utilizam vapor de 42 kgf/cm<sup>2</sup> e têm como exausto vapor de baixa (3,5 kgf/cm<sup>2</sup>).

**TABELA 4** – Validação de resultados do simulador com relação aos dados de projeto para as turbinas da Central de Matérias-Primas consumidoras de V42 e geradoras de V3.5

Turbinas	Vazão (t/h)			Desvio (%)
	EES	Projeto	Diferença	
V42 x V3.5 UO1	169,1	198,1	29,0	14,6
V42 x V3.5 UA1	37,7	37,9	0,2	0,4
V42 x V3.5 UO2	138,1	130,4	- 7,7	- 5,9
V42 x V3.5 UA2	20,0	23,9	3,9	16,4

## 6 CONCLUSÕES

O simulador desenvolvido apresenta-se como uma ferramenta de relevante utilidade para a previsão de efeitos na unidade termelétrica de acordo com os seus diferentes cenários operacionais e os das unidades a ela acopladas (as centrais de matérias-primas). Devido à sua interface amigável, à flexibilidade frente a alterações e à facilidade de utilização, o simulador está

operacionalizado na unidade que representa facilitando identificação de oportunidades de otimização na planta de forma mais rápida e precisa.

Esse trabalho também serviu como um bom canal de comunicação entre a empresa e a universidade, desenvolvendo tecnologia junto a uma empresa brasileira e podendo ser usada pelas diversas instituições que estejam dispostas a reduzir custos e aumentar a eficiência dos processos.

---

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Edgar Nunes. **Análise energética de uma central termelétrica com cogeração num complexo petroquímico.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2005.
- DHOLE, V. R.; LINNHOFF, B. Total site targets for fuel, cogeneration, emissions and cooling. **Comput. Chem. Eng.**, v. 17, Supl., p. S101-S109, 1993.
- KENNEY, W. F. **Energy conservation in the process industries.** San Diego: Academic Press, 1984.
- KIMURA, H.; ZHU, X. X. R-curve concept and its application for industrial energy management. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 39, p. 2315-2335, 2000.
- MAKWANA, Y.; SMITH, R.; ZHU, Frank. X. X. A novel approach for retrofit and operations management of existing total sites. **Computers Chem. Eng.**, v. 22, Supl., p. S793-S796, 1998.
- MANNINEN, Jussi; ZHU, Frank. X. X. Thermodynamic analysis and mathematical optimisation of power plants. **Computers Chem. Eng.**, v. 22, Supl., p. S537-S544, 1998.
- MAVRONATIS, S. P. **Conceptual design and operation of industrial steam turbine networks.** Thesis (Ph.D.) – UMIST, Manchester, UK, 1996.
- RAISSI, K. **Total site integration.** Thesis (Ph.D.) – UMIST, Manchester, UK, 1994.
- SERRA, Osmar Carvalho. **Identificação de oportunidades para redução das perdas de água e energia em um sistema de geração e distribuição de vapor.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2006.
- VARBANOV, P.; PERRY, S.; MAKWANA, Y.; ZHU, Frank. X. X.; SMITH, R. Top-level analysis of site utility systems. **Trans. ICheinE, Chemical Engineering Research and Design**, v. 82 (A6), p. 784-795, 2004.
- ZHU, Frank X. X.; VAIDEESWARAN, Lakshmi. Recent research development of process integration in analysis and optimisation of energy systems. **Applied Thermal Engineering**, v. 20, p. 1381-1392, 2000.

# ORIENTAÇÃO AOS AUTORES

## 1 OBJETIVO

A TECBAHIA Revista Baiana de Tecnologia representa um novo espaço para a difusão de informações relativas à tecnologia na Bahia e no Brasil. Partindo da discussão técnica, visa divulgar nacionalmente o posicionamento analítico das classes empresarial, intelectual, universitária e política, através de artigos, matérias e entrevistas.

## 2 NORMAS GERAIS

Os artigos e matérias jornalísticas devem ser necessariamente digitados em processador de textos *Word for Windows* e enviados em disquete acompanhado de uma cópia impressa em papel.

O limite para os artigos técnicos é de 12 laudas (uma lauda = 30 linhas). As matérias de cunho jornalístico e de opinião deverão somar 7 laudas, no máximo.

Mantenha cópia do seu trabalho em disquete.

As ilustrações, tabelas e fotografias (preto & branco) devem ser numeradas e as legendas apresentadas à parte. Identifique no texto, o espaço referente a desenhos, fotografias, ilustrações e tabelas.

A seção Espaço Universitário destina-se basicamente aos estudantes para expor seus trabalhos técnicos ou sua opinião analítica sobre o tema de seu interesse.

## 3 NORMAS PARA ARTIGOS TÉCNICOS

Os artigos devem ser encaminhados com o nome do autor, nome e endereço da Instituição a que pertence e referência à sua atual atividade profissional.

O artigo deverá conter: título e subtítulo (se houver), resumo informativo do artigo, palavras-chave, texto e as referências bibliográficas.

Ao final, o texto deverá conter: título do artigo, resumo (*abstract*) e palavras-chave (*key words*) em inglês.

## 4 PRAZOS DE ENTREGA

15 de fevereiro (número 1), 15 de junho (número 2) e 15 de outubro (número 3).

## 5 FOTOS E ILUSTRAÇÕES

Deverão ser enviadas, junto com os artigos, fotos em preto & branco do autor e outras que ilustrem o assunto, assim como gráficos, tabelas ou desenhos, em papel vegetal ou digitalizados.

## 6 PARA ONDE ENVIAR

CEPED/EDITEC

Rodovia BA-512, km 0

42810-440 - Camaçari - Bahia - Brasil

Tel: + 55 71 3634-7307 o + 55 71 3634-7300

Fax: + 55 71 3632-2095 o 3634-7359

rbaroud.ceped@uneb.br

# GUIDELINES FOR THE AUTHORS

## 1 OBJETIVES

TECBAHIA Bahia Journal of Technology represents a new space for technological information and its diffusion in the State of Bahia and Brazil.

## 2 GENERAL RULES

The papers must, necessarily, be written in *Word for Windows* word processor, and sent in diskette along with a copy in paper.

The limit for technical papers is 15 pages (1 page= 30 lines). For journalistic essays and author's opinion, the limit is 7 pages.

The authors shall maintain a back-up copy of the work with themselves.

The figures, tables and photographs (in B&W), must be numbered with their legends attached. The space where they will be displayed in the text must be indicated.

The section University Space is destined to College students who wish expose their opinions or technical papers.

## 3 RULES FOR TECHNICAL PAPERS

The papers must contain the name of the author(s), the name and address of the institution to which he or she belongs, and a reference to his or her present professional activity.

The paper must include: title and subtitle (if present), key-words, text and bibliographic references.

## 4 RECEPTION LIMIT DATES

- February 15 (number 1)
- June 15 (number 2)
- October 15 (number 3)

## 5 FIGURES AND PHOTOGRAPHIES

Black and white photographies of the author and other which may illustrate the matter. Figures (graphics, drawings or tables) can be in transparent paper or scanned.

## 6 CORRESPONDENCE TO

CEPED/EDITEC

Rodovia BA-512, km 0

42810-440 - Camaçari - Bahia - Brasil

Phone: + 55 71 3634-7307 o + 55 71 3634-7300

Fax: + 55 71 3632-2095 o 3634-7359

rbaroud.ceped@uneb.br

# ORIENTACIÓN A LOS AUTORES

## 1 OBJETIVO

La TECBAHIA Revista Baiana de Tecnología representa un nuevo espacio para la difusión de informaciones relativas a la tecnología en Bahia y en el Brasil. Partiendo de la discusión técnica, tiene por objetivo divulgar nacionalmente el posicionamiento analítico de las clases empresarial, intelectual, universitaria y política, a través de artículos, materias y entrevistas.

## 2 NORMAS GENERALES

Los artículos y materias periodísticas deben ser necesariamente digitados en procesador de textos *Word for Windows* y enviados en diskette acompañado de una copia impresa en papel.

El límite para los artículos técnicos es de 15 hojas (una hoja = 30 líneas). Las materias de tipo periodístico y de opinión deberán tener como máximo siete hojas. Es recomendable que el autor mantenga una copia de su trabajo en diskette.

Las ilustraciones, tablas y fotografías (en blanco y negro) deben ser numeradas y las leyendas presentadas a parte. Identifique en el texto el espacio referente a diseños, fotografías, ilustraciones y tablas.

La sección "Espacio Universitario" se destina básicamente a los estudiantes para exponer sus trabajos técnicos o su opinión analítica sobre algún tema de su interés.

## 3 NORMAS PARA ARTÍCULOS TÉCNICOS

Los artículos deben ser encaminados con el nombre del autor, nombre y dirección de la institución a que pertenece y referencia de su actual actividad profesional.

El artículo deberá contener: título y subtítulo (si hubiera), resumen informativo del artículo, palabras claves, texto y las referencias bibliográficas. Al culminar, el texto deberá contener título del artículo, *abstract* y *key words* en inglés.

## 4 PLAZOS DE ENTREGA

- 15 de febrero (número 1)
- 15 de junio (número 2)
- 15 de octubre (número 3)

## 5 FOTOS E ILUSTRACIONES

Deberán ser enviados junto con los artículos, fotos en blanco y negro del autor y otras que ilustren el tema como, por ejemplo, gráficos, tablas o diseños en papel vegetal o digitalizados.

## 6 PARA DONDE ENVIAR

CEPED/EDITEC  
Rodovia BA-512, km 0  
42810-440 - Camaçari - Bahia - Brasil  
Phone: +55 71 3634-7307 o +55 71 3634-7300  
Fax: +55 71 3632-2095 o 3634-7359  
[rbaroud.cepel@uneb.br](mailto:rbaroud.cepel@uneb.br)

# ORIENTATION AUX AUTEURS

## 1 OBJECTIF

La TECBAHIA Revue Baianaise de Technologie représente un nouvel espace pour la diffusion d'informations concernant les avances technologiques à Bahia et au Brésil. Elle a pour objet de divulguer, à niveau national, le positionnement analytique, en partant du débat technique, des classes entrepreneuriale, intelectuelle, universitaire et politique.

## 2 REGLES GENERALES

Les articles et matières à publier doivent être nécessairement processés en *Word for Windows* et envoyés en disquette accompagnée d'une copie imprimée.

La limite pour les articles techniques est de 15 pages de 30 lignes. Les matières de contenu journalistique et d'opinion devront avoir un maximum de 7 pages. Nous vous conseillons de garder une copie de votre travail en disquette.

Les illustrations, tableaux et photographies (noir et blanc) devront être numérotés et les légendes correspondantes présentées séparément. Signalez dans le texte l'espace destiné aux mêmes.

La section Espace Universitaire est destinée basiquement aux étudiants qui désirent exposer leurs travaux techniques ou leur opinion analytique sur le thème de leur intérêt.

## 3 ARTICLES TECHNIQUES - REGLES A SUIVRE

Les articles envoyés doivent porter le nom de l'auteur, le nom et l'adresse de l'institution à laquelle il appartient ainsi que son activité professionnelle actuelle.

L'article devra contenir: titre et sous-titre (s'il y en a), un résumé informatif de l'article, des mots-clé, le texte et la bibliographie. A la fin, le texte devra contenir: le titre de l'article, résumé (*abstract*) et mots-clé (*key words*) en anglais.

## 4 DATAS LIMITES POUR ENVOI

- Le 15 février (numéro 1)
- Le 15 juin (numéro 2)
- Le 15 octobre (numéro 3)

## 5 PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Des photos noir et blanc de l'auteur et d'autres qui puissent illustrer l'article, ainsi que des graphiques, tableaux ou dessins, en papier-calque ou *scanned* doivent être jointes aux articles.

## 6 OU ENVOYER

CEPED/EDITEC  
Rodovia BA-512, km 0  
42810-440 - Camaçari - Bahia - Brasil  
Phone: +55 71 3634-7307 o +55 71 3634-7300  
Fax: +55 71 3632-2095 o 3634-7359  
[rbaroud.cepel@uneb.br](mailto:rbaroud.cepel@uneb.br)

