

2

A Indústria do Petróleo no Brasil

A Indústria do Petróleo no Brasil passou por grandes mudanças na última década, dentre as quais destacamos a abertura do mercado brasileiro após a criação da Lei do Petróleo de 1997 (Lei nº 9.478). Até então as operações de exploração e produção de petróleo, bem como as demais atividades ligadas ao setor de petróleo, gás natural e derivados, à exceção da distribuição atacadista e da revenda no varejo pelos postos de abastecimento, foram monopólio conduzido pela Petróleo Brasileiro S/A – Petrobras (Rubin, 2007). O novo contexto permitiu o aumento de investimentos em exploração, produção e refino de petróleo e da participação do gás natural e dos biocombustíveis na matriz energética.

Dados do Balanço Energético Nacional de 2007 (BEN, 2007), produzidos pela Empresa de Pesquisa Energética, mostram que no período de 1997 a 2006 ocorreu um significativo aumento da produção e da exportação de petróleo (Gráfico 2.1). Ainda segundo dados do BEN, a produção nacional está muito próxima de atender à totalidade da demanda. Contudo, as características do petróleo doméstico, das usinas de refino e da demanda por derivados tornam mais vantajoso, do ponto de vista econômico, o refino interno de apenas parte do petróleo nacional extraído. Assim o país permanece importando volume expressivo do produto, mas, por outro lado, as exportações vêm se elevando rápida e significativamente (BCB, 2006).

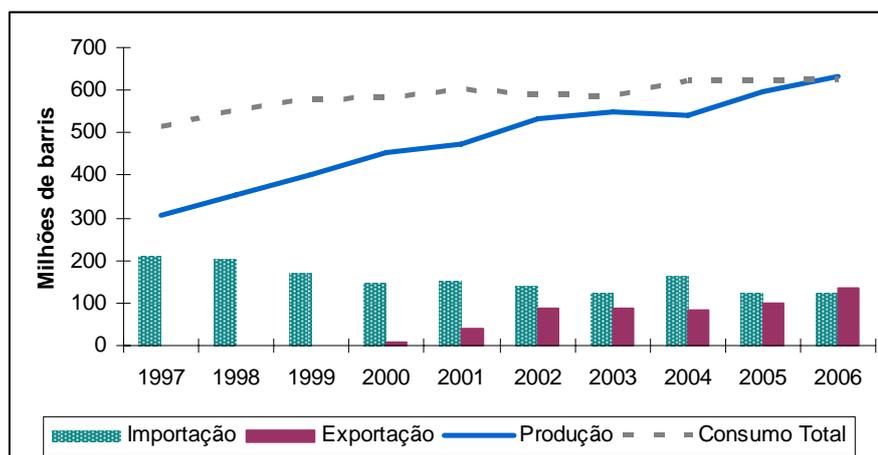


Gráfico 0-1: Mercado brasileiro de petróleo.
Fonte dos dados: EPE – 2007.

As reservas de petróleo nacional apresentam para o mesmo período de 1997 a 2006 um crescimento de mais de 70%, totalizando uma reserva de 13 bilhões de barris em 2006 (Gráfico 2.2). No entanto, as novas descobertas de petróleo no Brasil vêm apontando para petróleos cada vez mais pesados (Gráfico 2.3) e com índices de acidez cada vez mais elevados. Em decorrência dessas descobertas, as refinarias devem investir na adaptação de suas unidades de destilação atmosférica, para receber cargas mais pesadas e com acidez naftênica, além de planejar a construção e ampliação de unidades de conversão e tratamento, a fim de atender às novas exigências de especificações dos combustíveis (Tavares, 2005).

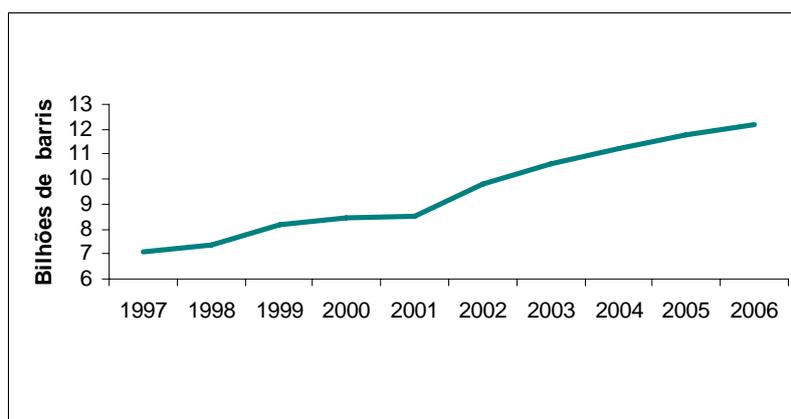


Gráfico 0-2: Reservas de petróleo no Brasil.
Fonte dos dados: EPE – 2007.

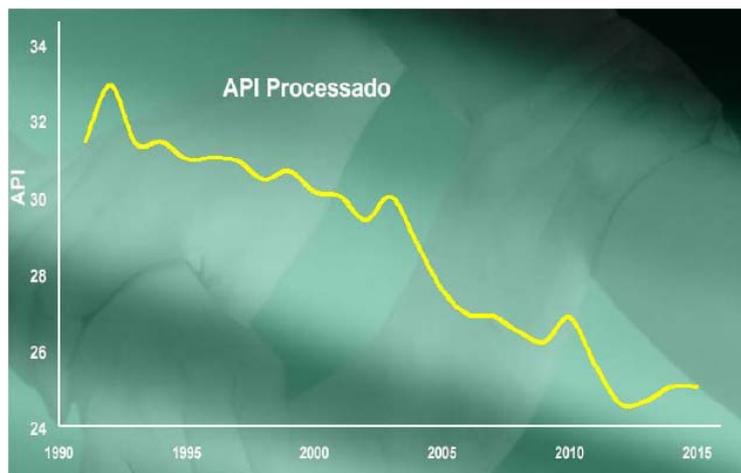


Gráfico 0-3: Evolução do grau API¹ dos petróleos nacionais processados nas refinarias. Fonte: Petrobras, 2004.

As características dos derivados produzidos devem atender às especificações legais definidas pelos órgãos competentes, no caso do Brasil pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). Estas especificações estão sendo modificadas para garantir melhor performance dos equipamentos (menor desgaste e melhor rendimento) e menos emissões de gases nocivos (Tavares, 2005). Nos Estados Unidos e na Europa novas especificações de combustíveis já entraram em vigor, segundo a ANP no Brasil a mudança deve ocorrer até 2009. No entanto, a possibilidade de exportação dos derivados obriga que o Brasil se ajuste as especificações internacionais para não perder mercados importadores em potencial.

Dentro deste novo quadro, as empresas do setor petrolífero no Brasil devem planejar de forma eficiente suas atividades e investimentos. Isto ocorre não só devido ao fim do monopólio, que as obriga a manter competitividade dentro de um mercado global, mas também pela necessidade de adequação da infra-estrutura da indústria de petróleo às novas descobertas e especificações. A opção encontrada por algumas empresas do setor, para garantir a eficiência em seus planejamentos, foi o desenvolvimento de modelos matemáticos para comercialização e alocação de petróleos em suas refinarias, assim como para a

¹A *American Petroleum Institute* classifica o petróleo de acordo com sua densidade segundo uma gradação que vai de leve (menos denso) a pesado (mais denso), conhecida como grau API. Quanto menor a densidade do petróleo, maior o grau API e maior o valor comercial do petróleo.

otimização operacional do refino e do transporte de petróleo e derivados (Omega, 1989; RPMS, 1979 e PIMS, 1993).

As seções a seguir apresentam uma breve discussão sobre a cadeia integrada de petróleo e aplicações de programação matemática no planejamento do setor petrolífero.

2.1

Cadeia Integrada de Petróleo

O aumento da competitividade no mercado global juntamente com o rápido avanço da tecnologia de informação trouxe o planejamento da cadeia de suprimentos para o primeiro plano das práticas empresariais (Gupta e Maranas, 2003). Em uma indústria naturalmente integrada como a petrolífera, a estrutura e o comportamento de cada uma das unidades de negócio envolvidas, como exploração, produção, comercialização e distribuição, pode influenciar o comportamento e os resultados dos demais. Dada a complexidade dos grandes parques de refino e os conflitos de interesse entre as várias unidades de negócio é indispensável a integração dessas áreas de forma a capturar sinergias e identificar *trade-offs*.

Na cadeia integrada de petróleo, a exploração de petróleo representa o topo da cadeia, onde as decisões incluem desenvolvimento e planejamento da infraestrutura nos campos de petróleo. O petróleo também pode ser fornecido de fontes internacionais. Petroleiros transportam o petróleo até os terminais, os quais estão conectados por uma rede de dutos às refinarias. Decisões nesse nível incorporam modais de transporte, planejamento da cadeia de suprimentos e *scheduling*. O petróleo bruto é convertido em derivados nas refinarias, que podem estar ligadas umas às outras, a fim de obter o melhor aproveitamento da configuração existente em cada refinaria. O petróleo e seus derivados são normalmente transportados via dutos para os centros de distribuição, e daí para frente podem ser transportados por diferentes modais (dutoviário, ferroviário, rodoviário e aquaviário) até o consumidor (Neiro e Pinto, 2004).

A complexidade da cadeia integrada de petróleo no Brasil pode ser vista na Figura 2.1 que ilustra a infra-estrutura para movimentação de petróleo, gás natural e bio-diesel. Além das refinarias, unidades produtoras de gás natural, terminais e dutos, a cadeia integrada de petróleo brasileira também é composta de unidades produtoras de óleo vegetal, campos de exploração, bases de distribuição primárias e secundárias, rodovias, ferrovias e vias aquaviárias.

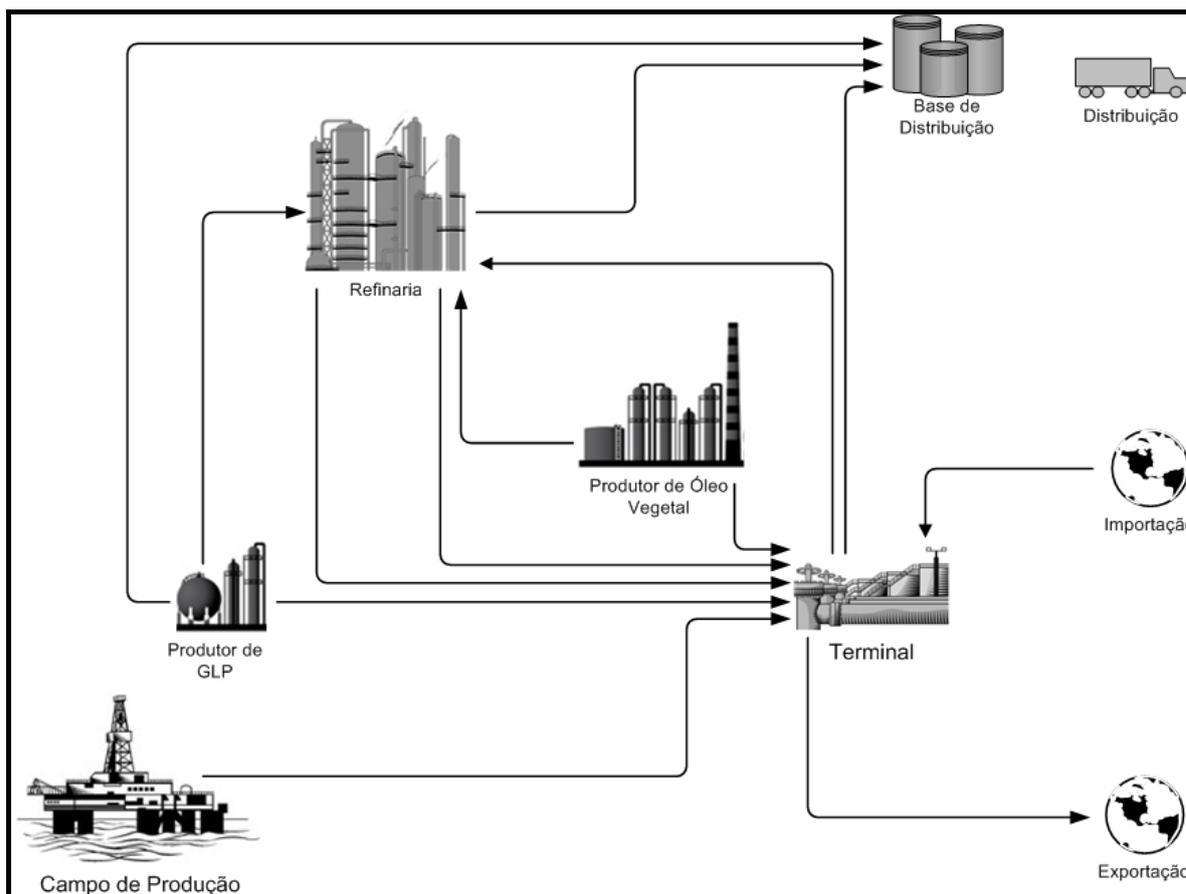


Figura 0.1: Cadeia integrada de petróleo.

2.2

Aplicações de Programação Matemática

A indústria de petróleo tem investido considerável esforço no desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão baseados em programação matemática. Existe uma grande ênfase no desenvolvimento de modelos que ajudam no planejamento e programação das operações de uma refinaria, detalhando os processos de refino e trabalhando com a não linearidade presente

nas restrições de especificação de derivados. Há também muitos trabalhos publicados sobre os modelos de transporte, que tratam do suprimento de petróleo e da distribuição de derivados. Um *gap* considerável é observado com relação a modelos que integram as quatro atividades, principalmente com relação a sistemas de planejamento estratégico.

Modelos de exploração e produção de petróleo tratam de decisões como escolha da reserva a ser desenvolvida e do campo a ser explorado, assim como decisões operacionais relacionadas à instalação de plataformas e capacidade de produção. Iyer, et al. (1998) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista (MILP) multi-período para o planejamento e programação de investimentos em infra-estrutura e operação de campos de petróleo *offshore*. Neste modelo a não linearidade foi tratada com uma aproximação por funções lineares por partes. Van den Heever et al. (2000) propuseram um modelo capaz de lidar com complexas regras econômicas como imposto, tarifa e *royalty*, no planejamento da infra-estrutura de campos *offshore*, apresentado melhoras substanciais no valor presente líquido dos projetos avaliados.

Modelos matemáticos associados ao suprimento de petróleo em geral consideram o transporte de petróleo por petroleiros e dutos do campo até um terminal ou refinaria, além do armazenamento em tanques que em muitos casos inclui o problema de mistura (*blending*) de petróleos. Wenkai et al. (2002) formularam um modelo de programação não-linear inteira mista (MINLP) para planejamento de curto prazo da descarga, armazenamento e processamento pela unidade de destilação de diversos petróleos. Para solução do MINLP Wenkai et al. (2002) propuseram um algoritmo que resolve iterativamente dois modelos de programação linear inteira mista (MILP) e um não-linear (NL). Más e Pinto (2003) desenvolveram um MILP para o problema de *scheduling* de petróleo em um complexo de distribuição composto por portos, tanques e dutos. O modelo apresentado por Cheng e Duran (2003) usa simulação e programação dinâmica para o controle de um sistema de transporte e armazenagem de petróleo.

Os modelos de programação matemática focados em refino apóiam decisões de planejamento, programação e *scheduling* da produção, decidem sobre a carga

para a alimentação de cada unidade de processo, composições de *blending* e modo operacional da refinaria. Moro, Zanin e Pinto (1998) formularam um modelo não linear para o planejamento da produção em uma refinaria. O modelo é aplicado ao caso particular da produção de diesel com o objetivo de maximizar o lucro da refinaria, garantindo as especificações do derivado. Pinto, Joly e Moro (2000) apresentam em seu trabalho um conjunto de modelos para o planejamento e *scheduling* das operações de uma refinaria. O modelo apresentado por Gothe-Lundgren et al. (2002) baseado em um modelo de programação linear inteira mista (MILP) decide sobre o modo operacional de cada unidade ao longo do tempo, de forma a atender a demanda ao menor custo levando em conta a capacidade de armazenamento disponível na refinaria. O modelo de programação linear inteira mista (MILP) proposto por Micheletto, Carvalho e Pinto (2007) otimiza a operação de uma planta de refino considerando balanço de energia e massa, operação de cada unidade e demanda ao longo de múltiplos períodos. Outros exemplos podem ser encontrados em Pinto e Moro (2000), Li et al. (2004) e Neiro e Pinto (2005).

Programação matemática aplicada a problemas de distribuição de derivados modela o transporte de produtos finais até os centros de demanda, podendo considerar armazenagem e *blending* de derivados nos tanques. Sear (1993) apresentou um modelo de programação linear (PL) para resolver o problema de transporte de derivados das refinarias até as zonas de consumo, passando por terminais intermediários, e modelando também a alternativa de importação de derivados para suprir a demanda. Rejowski e Pinto (2004) formularam um modelo de programação linear inteira mista (MILP) para resolver um problema mais particular da distribuição de derivados, o *scheduling* do transporte de derivados da refinaria para vários tanques via duto. Jia e Ierapetritou (2003) propuseram um modelo de programação linear mista (MILP) para o *blending* de gasolina e *scheduling* dos pedidos que devem deixar a refinaria. Segundo eles, sua abordagem se difere das demais pela formulação em tempo contínuo que reduz significativamente o número de variáveis e restrições, se comparado com a formulação em tempo discreto.

Existem ainda trabalhos que propõem a integração das diversas atividades relacionadas à indústria de petróleo. A Comunidade Européia ESPRIT através do projeto HChLOUSO (Hydrocarbon and Chemical Logistics under Uncertainty via Stochastic Optimization) desenvolveu modelos de programação linear (LP) como o CORO (Escudero et al., 1999) e o DROPS (Dempster et al., 2000) para o planejamento estratégico e tático das atividades de suprimento, refino e transporte. Neiro e Pinto (2004) apresentam um modelo de programação não-linear inteira mista (MINLP) para o planejamento operacional do estoque, refino e transporte. Um estudo de caso considerando duas redes de dutos, quatro refinarias e cinco terminais demonstra a aplicabilidade do modelo.

Os parágrafos acima mostram, assim como foi constatado por Neiro e Pinto (2004), que apenas partes da cadeia de suprimentos de petróleo foram estudadas com um elevado nível de detalhe. Apesar dos trabalhos publicados modelando suprimento, estoque, refino e distribuição, nenhum deles trata da cadeia integrada, considerando desde os produtores até as bases primárias e secundárias. Além disso, os modelos de nível estratégico não contemplam análise de investimentos em refino e infra-estrutura de transporte. Sendo assim, os modelos encontrados na literatura não permitem um estudo a longo prazo sobre as mudanças necessárias para adaptação do parque de refino ao petróleo nacional, cada vez mais pesado, às novas restrições de especificação e à crescente movimentação de petróleo e derivados pelo território brasileiro, todos estes fatores determinantes para o setor petrolífero.