



IBP1269_06

SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS NA PETROBRAS ARGENTINA

Luiz Carlos F. de Sousa¹, Flávia S. Campos²,
Carlos Maria Bacigalupo³, Martín A. Grimolizzi⁴

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O presente trabalho apresenta um sistema utilizado no planejamento da distribuição de derivados da PETROBRAS na Argentina (PESA) no curto, médio e longo prazos. Desenvolvido em parceria entre PETROBRAS *holding* e PESA, o sistema foi uma evolução de uma versão anterior em uso na PESA. O objetivo principal é determinar o planejamento ótimo da distribuição de derivados, definindo as movimentações entre bases e os despachos de produtos para os mercados que minimizam o custo logístico total. O sistema permite ainda a realização de análises como incorporação de novas bases, operações de *swap* e identificação de gargalos na rede de distribuição. Diversas informações sobre a cadeia de suprimentos da PESA são consideradas, além de regras de negócio específicas. O sistema consiste de uma interface em Excel, que confere agilidade na entrada de dados e geração de relatórios, e de um modelo de matemático para resolução do problema. Os benefícios oriundos da utilização do sistema são mostrados neste trabalho.

Abstract

This paper presents a system that supports the fuel distribution planning for PETROBRAS in Argentina (PESA) on short, medium and long terms. Developed by a partnership between PETROBRAS holding and PESA, the system is an evolution of a previous version in use at PESA. Its main objective is to determine the fuels distribution optimal planning, defining the inter-plants flows and the flows from the plants to the markets that minimize the total logistic cost. The system still allows to carrying out analysis such as location of new plants, swap operations and identification of bottlenecks in the distribution net. Besides the specific business rules, lots of information about PESA's supply chain is taken into account. The system consists of an interface in Excel, which provides an useful input and output, and a mathematical model for resolving the problem. The benefits of using the system are discussed in this paper.

¹ Msc., Analista de Pesquisa Operacional - PETROBRAS

² Msc., Analista de Pesquisa Operacional - PETROBRAS

³ MBA, Analista Sr. de Análise de Negócios - PETROBRAS ENERGIA S.A.

⁴ MBA, Chefe de Otimização de Operações - PETROBRAS ENERGIA S.A.

1. Introdução

A PETROBRAS atua na Argentina desde 1993 e hoje é a uma das empresas integradas de energia e uma das maiores produtoras de petróleo e gás natural do país. Suas atividades abrangem um amplo conjunto de ativos e negócios nas áreas de Exploração & Produção de petróleo e gás natural, Refino e Distribuição de derivados, Petroquímica, e na Geração, Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica.

Essa gama de atividades resultou de uma série de aquisições de empresas nos últimos anos, que ampliou o patrimônio e a ação da Empresa na própria Argentina, e na Exploração & Produção de petróleo e gás natural em outros países da região - na Venezuela, Equador e Peru, onde a PETROBRAS anteriormente não atuava, e também na Bolívia - , além da incorporação de uma unidade petroquímica no Brasil.

A atuação na Argentina se faz através da PETROBRAS Energia S.A. (PESA), com a fusão a partir de 1º de janeiro de 2005 das empresas Eg3, PETROBRAS Argentina S.A. e Petrolera Santa Fé, integrantes do Sistema PETROBRAS no país. Com a gestão agora centralizada dessas empresas e atividades, a PETROBRAS assegura sua maior competitividade, eficiência e ação integrada no mercado argentino, porém cresce a complexidade das suas atividades. Portanto, torna-se imprescindível a utilização de sistemas de apoio à decisão para alcançar um planejamento eficiente dessas atividades. Este trabalho apresentará um desses sistemas de apoio à decisão: o sistema computacional, denominado MOLDE-PESA (Modelo de Otimização da Logística de Derivados - PESA), utilizado no planejamento da distribuição de derivados.

2. Logística da Distribuição de Derivados da PESA

Na área de Refino e Distribuição, a PESA possui duas refinarias (Bahia Blanca e San Lorenzo), quatro bases próprias (Bahia Blanca, San Lorenzo, Dock Sud e, em breve, Caleta Paula), e acordos de *hospitality* e *swap*, que lhe permitem operar em bases de outras empresas (Campana, Dock Sud II, Tucuman, Comodoro Rivadavia, Cabo Negro, entre outras), conforme pode ser visto na Figura 1. Sua rede de clientes é composta por mais de 700 estações de serviço, e mais de 1500 indústrias e revendedores, distribuídos ao longo de 1400 localidades.

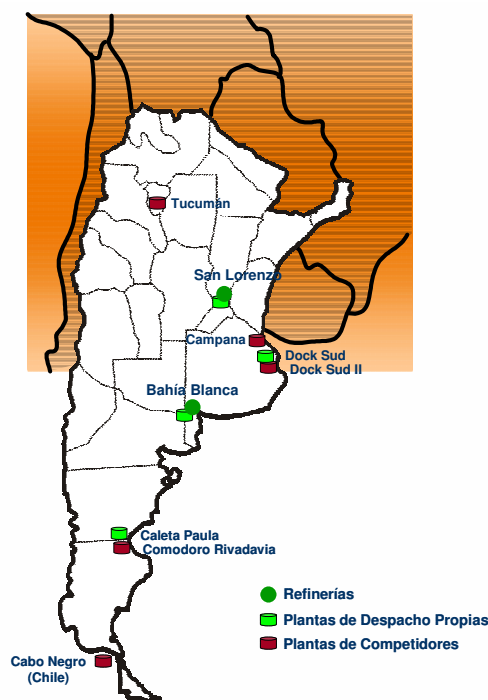


Figura 1. Refinarias e bases onde a PESA opera

A PESA comercializa quatro tipos de gasolinas (NP, NS, NN e N97), três tipos de diesel (GO1, GO2 e GO3) e um querosene (K), com os quais satisfaz a demanda da sua rede de estações de serviços e grandes clientes. O detalhamento de que produtos são produzidos em cada refinaria e despachados de cada base é mostrado respectivamente nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Produtos produzidos em cada refinaria

Refinaria	Produtos							
	NP	NS	NN	N97	GO1	GO2	GO3	K
Bahia Blanca		x	x	x		x	x	x
San Lorenzo	x	x				x		x

Tabela 2. Produtos despachados a partir de cada base

Bases	Produtos							
	NP	NS	NN	N97	GO1	GO2	GO3	K
Bahia Blanca	x	x	x	x		x	x	x
San Lorenzo	x	x	x			x		x
Dock Sud	x	x	x		x			x
Caleta Paula	x	x	x				x	
Campana		x	x	x	x			
Dock Sud II		x	x		x			
Comodoro								
Rivadavia		x	x				x	
Cabo Negro		x	x				x	
Tucuman		x	x		x			

A PESA realiza mensalmente o planejamento da sua estrutura de distribuição primária (das refinarias para as bases) e secundária (das bases para a sua rede de consumidores e estações de serviço), que atenda à demanda dos clientes com o mínimo custo logístico. O esquema da estrutura da distribuição de derivados pode ser visto na Figura 2.

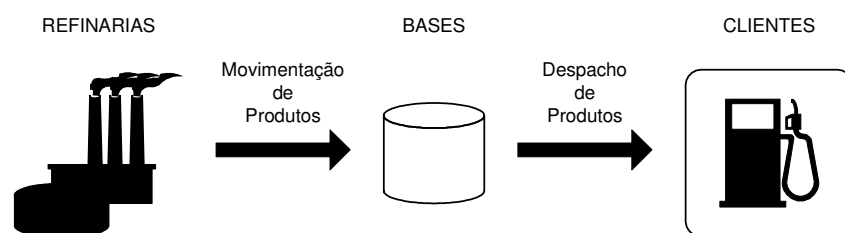


Figura 2. Esquema da estrutura da distribuição de derivados

Para atender à demanda, os produtos são enviados das refinarias para as bases por dutos, caminhões e diferentes tipos de embarcações. Adicionalmente, por meio de acordos de *swap*, que não envolvem movimentações de produtos, a PESA disponibiliza o produto para um concorrente em uma de suas bases e, em contrapartida, o mesmo volume (não necessariamente do mesmo produto) é disponibilizado para a PESA na base desse concorrente.

No momento de definir as movimentações de produtos das refinarias para as bases e os despachos de produtos das bases para os clientes, diversos fatores são considerados:

- Distribuição geográfica dos clientes;
- Produção das refinarias;
- Possibilidade de compra e importação de produtos;
- Capacidades de armazenamento e despacho nas bases;
- Tarifas e disponibilidades de cada meio de transporte.

Todas estas informações acerca da logística de distribuição de derivados constituem basicamente os dados de entrada para o sistema MOLDE-PESA.

3. Sistema MOLDE-PESA

A PESA utiliza o sistema MOLDE-PESA para realizar o planejamento da distribuição de derivados no curto, médio e longo prazos. O objetivo principal é determinar o planejamento ótimo da distribuição de derivados, definindo as movimentações entre bases e os despachos de produtos para os mercados que minimizam o custo logístico total.

3.1. Histórico

A PESA realizava o planejamento da distribuição de derivados com o auxílio de um sistema computacional herdado da empresa Eg3. Esse sistema foi desenvolvido através do software AIMMS versão 2.2, um sistema para construir modelos matemáticos comercializado pela Paragon Decision Technology B.V., e representava a estrutura da distribuição de derivados considerando até 2 produtos, 9 bases, 400 mercados e um único modal de transporte das refinarias para as bases e entre as bases. O horizonte de tempo do modelo matemático do sistema considerava apenas um período.

Contudo, a logística da distribuição da PESA tornou-se maior e mais complexa e esse sistema não permitia sua completa representação. Portanto, esta limitação dificultava a realização de um planejamento ótimo da distribuição mais eficiente e robusto.

Em consequência disto, a PESA decidiu desenvolver uma nova versão desse sistema que, além de representar a atual logística da distribuição, também considerasse suas futuras expansões. O desenvolvimento do novo sistema computacional, uma parceria entre PESA e PETROBRAS *holding*, foi coordenado pela Gerência de Pesquisa Operacional, situada na Gerência Executiva de Tecnologia da Informação, da última empresa.

3.2. Modelo Matemático

O modelo matemático do sistema MOLDE-PESA resolve o problema de atender integralmente as demandas de produtos a partir das refinarias/bases com o mínimo custo logístico. Para resolver este problema de otimização é utilizada a técnica de programação linear inteira mista que é abordada em Nemhauser e Wolsey (1998) e Williams (1990). Este modelo matemático permite que a atual estrutura da distribuição da PESA e suas futuras expansões sejam representadas, ou seja, são considerados:

- 7 produtos ou mais;
- 29 refinarias/bases ou mais;
- 1300 mercados ou mais;
- Mais de um modal de transporte das refinarias para as bases e entre as bases.

O problema é resolvido para um horizonte de tempo que pode considerar até 4 períodos, onde cada período pode representar, por exemplo, um mês. A unidade de tempo depende se o horizonte de planejamento da distribuição de derivados é de curto, médio ou longo prazos.

A construção do modelo matemático considerou as seguintes regras de negócio:

- Possibilidade de agrupar os produtos, conforme definição do usuário, para fins de atendimento às demandas dos mercados;
- Cada mercado deve ter a demanda, de um determinado grupo de produtos, totalmente atendida por uma única base;
- Produtos podem substituir outros produtos, conforme definição do usuário, permitindo a adaptação da oferta com a demanda;
- As operações de *swap* de produtos podem ser feitas para produtos iguais ou distintos, com volumes e custos associados.

A função objetivo deste problema de otimização é a minimização do custo logístico total, que inclui o custo de movimentação de produtos entre as bases, o custo de despacho de produtos das bases para os mercados, o custo das operações de *swap* e o custo do estoque de produtos nas bases.

O modelo matemático considera em linhas gerais as seguintes variáveis:

- As movimentações de produtos entre bases;
- Os despachos de produtos das bases para os mercados;
- Os estoques finais de produtos nas bases;
- Os volumes associados às operações de *swap* de produtos;
- Indicação de qual base atendeu a demanda do grupo de produtos em um mercado.

As restrições consideradas são as seguintes:

- Atendimento integral das demandas dos mercados;
- Limites de estoque nas bases;
- Capacidade de despacho das bases;
- Limites de movimentação dos modais de transporte entre as bases;

- Balanço dos produtos nas bases;
- Atendimento da demanda do grupo de produtos em um mercado por uma única base.

3.3. Arquitetura do Sistema

Na especificação do sistema computacional, a PESA destacou os seguintes requisitos:

- Utilização do software AIMMS para construir o modelo matemático;
- Sistema com interface de fácil uso e comunicação com outros sistemas.

Considerando-se o primeiro requisito, o software AIMMS versão 3.6 foi utilizado para desenvolver o modelo matemático. Além de permitir a construção de modelos matemáticos robustos, essa versão do software não limita os números de variáveis e restrições do modelo. Outra vantagem do AIMMS é a facilidade de uso e comunicação com outros softwares (por exemplo: Excel, Access, SQL Server e *Solvers*).

Exatamente esta facilidade de comunicação com outros softwares, permite que o software CPLEX versão 10.0, um *solver* que resolve problemas de otimização e é comercializado pela Ilog S.A., seja utilizado para determinar a solução do problema de planejamento ótimo da distribuição. O CPLEX é reconhecidamente um *solver* que resolve problemas de programação linear inteira mista com eficiência e robustez conforme Mittelman (2006).

Em relação ao segundo requisito, o software Excel foi escolhido para o desenvolvimento da interface porque:

- Usuários do sistema habitualmente utilizam o ambiente de trabalho do Excel;
- Cada cenário ou estudo é armazenado em uma única planilha que contém todos os dados de entrada e saída do sistema organizados em diversas pastas.
- Possibilidade de manipular os dados de entrada e saída utilizando as funcionalidades do Excel (por exemplo: filtros, fórmulas, gráficos e tabelas dinâmicas);
- Possibilidade de integração com outras bases de dados e, portanto, da transferência de grandes volumes de dados;
- Desenvolvimento do sistema em um curto prazo de tempo, pois:
 - O Excel possibilita a construção de interfaces funcionais através do uso de macros e programação em VBA;
 - O AIMMS comunica-se com o Excel, permitindo a transferência de dados entre os mesmos de forma simples.

Portanto, o sistema MOLDE-PESA possui três módulos que interagem entre si. O primeiro módulo é a interface em Excel que envia os dados de entrada para o segundo módulo, o modelo matemático construído em AIMMS. Então, o segundo módulo envia o problema de otimização para o terceiro módulo, o *solver* CPLEX. Após resolver o problema, o *solver* CPLEX envia a solução para o segundo módulo. Finalmente, a interface em Excel recebe a solução a partir do segundo módulo. Um esquema da arquitetura do sistema MOLDE-PESA é mostrado na Figura 3.

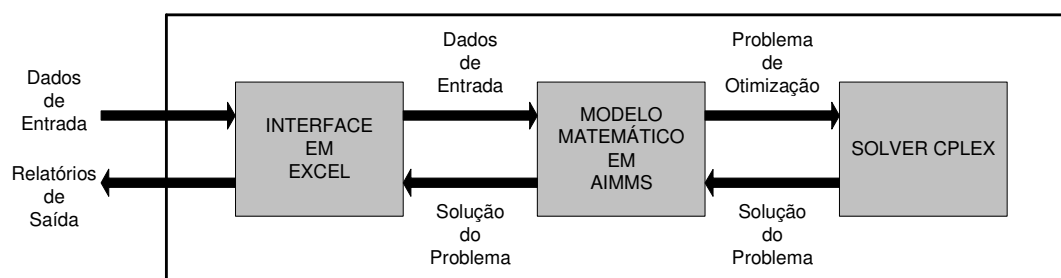


Figura 3. Esquema da arquitetura do sistema

4. Análises Conduzidas com o Sistema MOLDE-PESA

O novo sistema conferiu grande flexibilidade para representar a logística da distribuição de derivados e as regras de negócio associadas. Isto permite que a PESA simule facilmente os diferentes cenários do dia-a-dia da realidade operacional, podendo tomar decisões rapidamente e planejar novas operações. Algumas análises que podem ser conduzidas com este sistema são descritas a seguir.

4.1. Análise da Logística da Distribuição dos Produtos

Ao utilizar o antigo sistema, os 8 produtos comercializados pela PESA eram agrupados em outros dois devido à limitação em relação ao número de produtos. Considerava-se que os produtos agrupados possuíam comportamentos logísticos idênticos como, por exemplo, as localizações geográficas dos seus mercados. Em consequência disto, as demandas dos mercados e outros dados eram agregados a fim de realizar a otimização do planejamento da distribuição dos 8 produtos originais.

Contudo, o novo sistema não restringe o número de produtos e, portanto, permite que as logísticas da distribuição de diversos produtos sejam analisadas separadamente e simultaneamente. Logo, realiza-se um planejamento da distribuição mais robusto porque as diferenças entre os comportamentos logísticos dos produtos são respeitadas.

Por exemplo, nas Figuras 4 e 5, pode-se visualizar que a distribuição ótima de um produto como a Nafta Podium difere da distribuição ótima sugerida para um grupo de produtos com comportamentos similares entre si (Nafta Super, Nafta Normal e Diesel). Se não fosse possível considerar separadamente a logística da distribuição da Nafta Podium, não seria obtida uma otimização completa da distribuição de derivados da empresa.

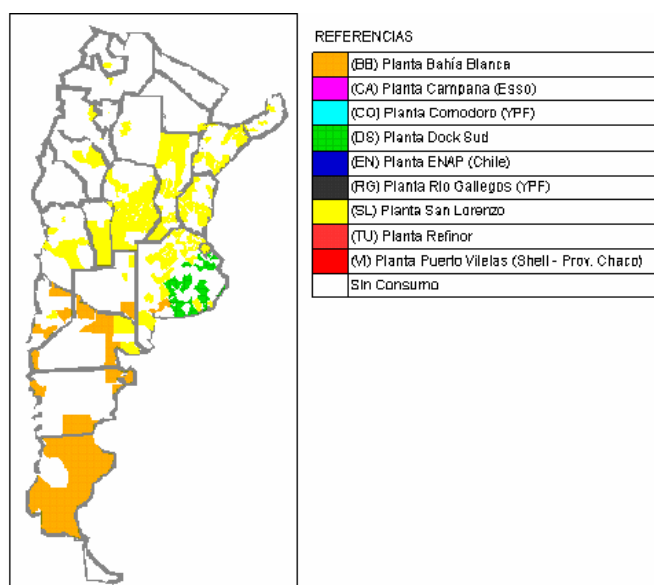


Figura 4. Distribuição da Nafta Podium

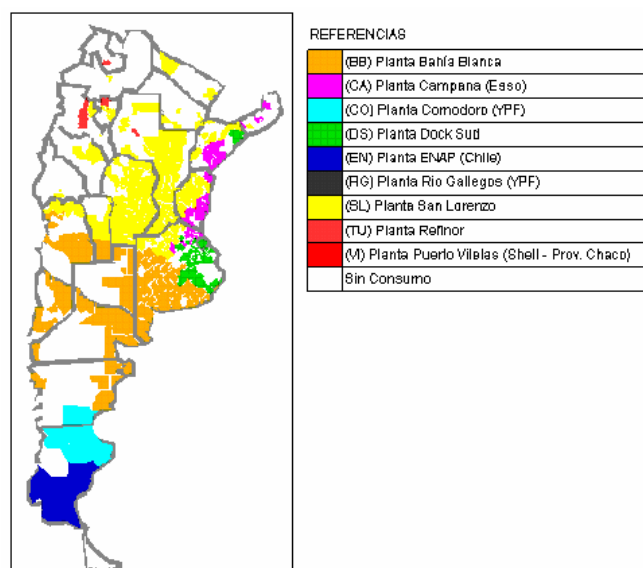


Figura 5. Distribuição de produtos agrupados

Ao realizar a segregação de produtos mencionada, é possível obter ganhos econômicos, pois a logística da distribuição é avaliada com mais exatidão, o que orienta melhor as decisões que são tomadas.

4.2. Análise Estratégica

Recentemente, realizou-se um estudo de planejamento de longo prazo, no qual se analisou a conveniência econômica e logística de manter a atual estrutura da distribuição, adquirir novas bases ou fechar algumas das atuais. Foi possível quantificar rapidamente o impacto econômico associado a cada uma destas alternativas, o que apoiou as decisões estratégicas em seguida.

4.3. Análise Multiperíodo

A possibilidade de realizar estudos com até 4 períodos permite a análise do comportamento dos estoques nas bases e da distribuição, ou seja das movimentações e despachos dos produtos, ao longo de um horizonte de tempo. Assim, é possível corrigir premissas, antecipar decisões e realizar o planejamento de contingências como: paradas nas refinarias, manutenção de tanques de armazenamento, indisponibilidade de modais e outras.

4.4. Outras Análises

Outras análises que podem ser realizadas são:

- Seleção de modais de transporte - o novo sistema pode considerar mais de um tipo de modal para a movimentação de produtos entre as bases, determinando os volumes que devem ser transportados em cada modal;
- Avaliação de gargalos - é possível quantificar economicamente, através da análise de custos marginais, a limitação da capacidade de despacho nas diversas bases, orientando as decisões relativas à minimização destes gargalos;
- Avaliação da Operação Realizada versus Programada - o detalhamento dos custos no novo sistema (custos de frete e outros custos variáveis) permite avaliar a eficiência da aplicação da programação, tanto do ponto de vista econômico quanto do volumétrico. Isto permite a correção de premissas e a aproximação entre programação e execução;
- Avaliação de operações de *swap* e *hospitality* - é possível quantificar o ganho marginal associado à operação de dispor de produtos nas bases de competidores e simultaneamente disponibilizar produtos para os mesmos em bases da PESA. Ao mesmo tempo é possível identificar os volumes ótimos de intercâmbio respeitando-se os seus volumes mínimo e máximo preestabelecidos.

5. Conclusões

Após mais de três meses utilizando o sistema MOLDE-PESA, conclui-se que o mesmo permite, por não limitar o porte do problema de otimização, simular rapidamente cenários que se aproximam significativamente da realidade e, conseqüentemente, também permite que as decisões sejam rapidamente tomadas e facilmente aplicadas à operação diária. Por sua vez, esta correlação entre os resultados do novo sistema e da operação “real” mostra que esses resultados são mais confiáveis e aderentes à realidade operacional do que aqueles do antigo sistema.

Conforme mencionado anteriormente, o novo sistema possibilita que estudos de longo prazo vinculados com a aquisição, permanência e fechamento de bases sejam realizados em pouco tempo, circunstância que era praticamente impossível com o antigo modelo.

Do mesmo modo, a interface em Excel torna a entrada de dados e a geração de relatórios rápida e fácil, e também possibilitou que a implementação, instalação e validação do sistema fossem realizadas em um curto prazo de tempo.

Por último, o sistema pode ser utilizado por qualquer usuário com experiência operacional devido à abrangência da logística de distribuição considerada e simplicidade da interface.

6. Referências

- MITTELMAN, H. *Benchmarks for Optimization Software*, <http://plato.asu.edu/bench.html>, 2006.
 NEMHAUSER, G. L., WOLSEY, L. A. *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, 1988.
 WILLIAMS, H. P. *Model Building in Mathematical Programming (Fourth Edition)*, John Wiley & Sons, 1990.