5
Descrição do Modelo

5.1.
Introdução

Neste capítulo será apresentado o modelo de otimização da cadeia de suprimentos de petróleo e derivados estudado neste trabalho.

Na seção 5.2 será descrito o problema e o modelo matemático para representá-lo. Inicialmente é apresentado o modelo determinístico e em seguida a sua extensão para o modelo estocástico. Finalmente, são expostas as abordagens propostas para inclusão de restrições de risco ao modelo.

O modelo de programação linear para avaliação de investimentos na cadeia de petróleo e derivados que será estudado no neste capítulo e que é o foco principal desta dissertação, é muito mais complexo que o apresentado no capítulo 4. Neste modelo são consideradas unidades de tratamento além das unidades de conversão. O modelo é multiperíodo e representa um conjunto de refinarias existentes no Brasil e o sistema logístico utilizado para transporte de petróleo e derivados. Além disso, considera a possibilidade de importação e exportação de petróleos e derivados a partir de bases externas. Dessa forma este é um modelo de grande porte, principalmente por considerar vários cenários representando diferentes ambientes de mercado.

5.2.
Descrição do Problema

O problema de avaliação de investimentos na cadeia de petróleo e derivados estudado nesta dissertação pode ser representado por um modelo complexo de programação linear que inclui um grande número de variáveis e restrições. O modelo é multiperíodo (anos) e representa o conjunto de refinarias, terminais e dutos que compõem o parque de refino integrado no país.

No Brasil, as refinarias são concentradas principalmente no sudeste, onde são encontradas 6 refinarias que representam aproximadamente 65 % da produção nacional. Portanto, para representação simplificada da cadeia de suprimentos de petróleo e derivados no Brasil são consideradas no modelo estudado essas 6 refinarias representativas (RECAP, REDUC, REGAP, REPLAN, REVAP e RPBC) em conjunto com os pontos de produção de petróleo e de demanda de derivados e o sistema logístico associado (Figura 5.1).

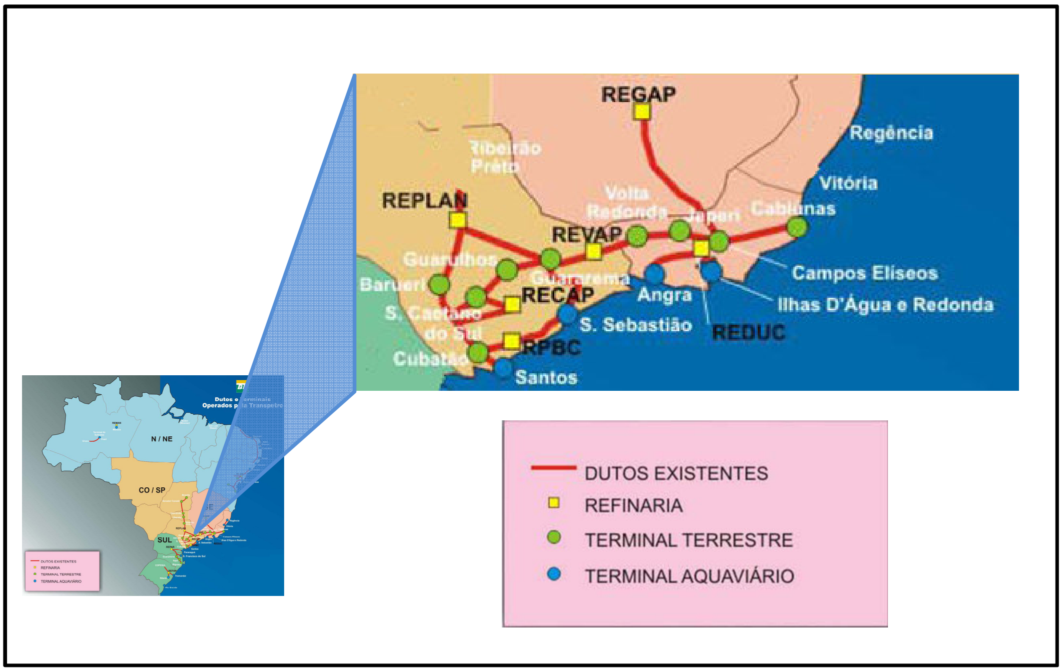

Figura 5.1 – Refinarias e Oleodutos no Sudeste (Fonte: Transpetro)

A malha logística é composta de terminais e modais de transporte dutoviário, ferroviário e marítimo que interligam as refinarias, terminais, campos de produção e bases de consumo nacionais e internacionais.

As refinarias podem adquirir óleo cru a partir de vários campos nacionais e internacionais, cujas propriedades dependem da origem e tipo de petróleo. No modelo são representados 11 tipos de petróleos com diferentes características e preços. A partir dos processos internos os petróleos sofrem transformação e são produzidos 10 tipos de derivados comercializáveis, ou seja, dentro das especificações de qualidade necessárias em cada ano de planejamento.

Cada refinaria possui, ainda, um conjunto de unidades de processo, tanques de armazenamento de produtos finais e intermediários e dutos interligando esses pontos.

Os tipos de unidades considerados no modelo são relacionados abaixo de acordo com a classificação de processo proposta por Abadie (2002):

Processos de separação:

- Destilação atmosférica
- Destilação a vácuo
- Desasfaltação a propano

Processos de conversão:

- Alquilação
- Craqueamento catalítico (FCC)
- Hidrocraqueamento catalítico (HCC)
- Reforma catalítica
- Coqueamento retardado

Processos de tratamento:

- Hidrodessulfurização (HDS)
- Hidrotratamento (HDT)
- MTBE

Processos auxiliares:

- Unidade de geração de hidrogênio (UGH)

5.2.1. Modelo Determinístico

A seguir será mostrado o modelo matemático genérico que representa o problema determinístico descrito nesta seção.

$$\underset{x,y}{Maximizar}\; r^T x + c^T y \tag{5.1}$$

s.a.

$$Ay = b \tag{5.2}$$

$$Dy + Fx = g \tag{5.3}$$

$$H_c x_c = l_c \tag{5.4}$$

$$x \geq 0, y \geq 0 \tag{5.5}$$

onde:

y - conjunto de variáveis de investimento. Existem u tipos de unidades, r refinarias e n períodos. Portanto, cada variável $y_{r,u,n}$ representa o percentual de investimento na unidade u, na refinaria r e no período n.

x - conjunto de diversas variáveis de refino e logística, como produção de cada produto de saída, carga de cada petróleo por unidade de destilação atmosférica, estoque do produto, total distribuído de cada produto de saída por unidade de transporte e período, total distribuído de cada petróleo por unidade de transporte e período, etc.

A função objetivo do modelo é descrita na equação (5.1) e tem como meta a maximização do resultado operacional, isto é, a soma das receitas menos os custos logísticos, de refino e de investimentos, dos diversos anos do horizonte da simulação atualizados a valor presente, com uma taxa de desconto adotada. O termo $r^T x$ representa as receitas e custos de operação em função do conjunto de variáveis x e $c^T y$ representa os custos com as unidades de investimentos, onde c é o vetor custo de investimento.

A equação (5.2) contém as restrições de investimento, onde o investimento na unidade u na refinaria r deve ser menor que 1, ou seja, $\sum_{n=1}^{N} y_{r,u,n} \leq 1$, para r = 1,...,R e u = 1,...,U. Para garantir um único investimento na unidade u na refinaria r em todo o horizonte de planejamento, foi utilizada a restrição do tipo *Special Ordered Sets* (SOS).

As relações (5.3) e (5.4) contemplam as restrições operacionais do sistema. O primeiro conjunto contempla restrições que dependem diretamente do investimento, como por exemplo, restrições de capacidade. O segundo conjunto contém as demais restrições, como de balanço de refino; de balanço de logística; de demanda de derivados; de oferta de petróleos; de qualidade dos produtos; etc. O parâmetro g contém, entre outros, os dados de oferta de petróleo e demanda de derivados.

As equações de (5.5) garantem que as variáveis sejam não negativas.

5.2.2.
Modelo Estocástico

Alguns parâmetros presentes no modelo determinístico descrito na seção anterior apresentam um comportamento de longo prazo de difícil previsão, como o preço de petróleo e derivados, a oferta de óleo cru e a demanda de derivados. Isto se deve ao fato desses parâmetros dependerem de diversos fatores do ambiente político e econômico mundial.

Para considerar esta incerteza, o modelo determinístico foi estendido para uma abordagem mais completa e realista. Assim, foi desenvolvido um modelo estocástico com objetivo de obter uma solução menos sensível à presença de incertezas. Foi criada a possibilidade de considerar vários cenários discretos para modelar a variação existente na previsão dos dados incertos. No modelo matemático, foi inserido um novo índice c para representar esse conjunto de cenários.

Dessa forma a função objetivo e as restrições foram modificadas conforme as equações (5.5) a (5.9).

$$\underset{x_c, y}{Maximizar} \sum_{c=1}^{C} p_c r_c^T x_c + c^T y \tag{5.6}$$

s.a.

$$Ay = b \tag{5.7}$$

$$Dy + Fx_c = g_c \tag{5.8}$$

$$H_c x_c = l_c \quad (5.9)$$

$$x_c \geq 0, y \geq 0 \quad (5.10)$$

onde:

y - conjunto de variáveis de investimento, que representam as variáveis de primeiro estágio do problema.

x_c - conjunto de diversas variáveis de refino e logística por cenário c (variáveis de segundo estágio).

p_c - parâmetro que representa a probabilidade de ocorrência do cenário c.

As variáveis do conjunto x vão assumir valores diferentes para cada cenário, o que significa que o número de variáveis total será o número de variáveis do modelo determinístico multiplicado pelo número de cenários considerados. Estas variáveis são as variáveis de segundo estágio do modelo estocástico, ou seja, a decisão destas poderá ser tomada após a ocorrência da incerteza.

Por outro lado, a variável y (investimento na unidade u por refinaria e período) é independente do cenário, pois seu valor deve ser decidido antes da realização dos parâmetros aleatórios. Esta é a variável de primeiro estágio do modelo estocástico e sinaliza decisão de investimento na cadeia de petróleo e derivados.

A função objetivo do modelo é descrita na equação (5.6) e tem como meta a maximização do valor esperado do resultado operacional, isto é, o somatório do resultado de cada cenário multiplicado pela sua probabilidade de ocorrência menos os custo de investimento. O termo $r^T x_c$ representa as receitas e custos de operação no cenário c e $c^T y$ representa os custos com as unidades de investimentos, onde c é o vetor custo de investimento.

A equação (5.7) contém as restrições de investimento e é idêntica à equação (5.2), apresentada no modelo determinístico.

As restrições operacionais do sistema foram divididas em dois grupos, representados pelas relações (5.8) e (5.9). O primeiro conjunto contempla restrições que dependem diretamente do investimento, como por exemplo, restrições de capacidade. O segundo conjunto contém as demais restrições, como de balanço de refino; de balanço de logística; de demanda de derivados; de oferta de petróleos; de qualidade dos produtos; etc. Pode ser notado que os parâmetros *g* e *l* contêm o índice *c* e, portanto, podem variar entre cenários.

As equações de (5.10) garantem que as variáveis sejam não negativas.

5.2.3. Abordagens Propostas para Consideração de Risco

Para lidar com a incerteza em alguns parâmetros, são empregados dois métodos no modelo estocástico proposto neste trabalho:

<u>Abordagem Risco 1 – CVaR</u>

Nesta abordagem é utilizado o CVaR como medida de risco. Para considerar esta métrica, é inserido o seguinte conjunto de restrições:

$$\alpha + \frac{1}{(1-\beta)} \sum_{c=1}^{C} p_c \times u_c \geq K \qquad (5.11)$$

$$u_c \leq 0 \qquad c = 1,...,C \qquad (5.12)$$

$$u_c \leq r_c^T x_c + c^T y - \alpha \qquad c = 1,...,C \qquad (5.13)$$

onde:

α - variável que fornece o VaR do portfólio a nível de confiança β%

β - nível de confiança para o cálculo do VaR e do CVaR

u_c - variável auxiliar para o cálculo do CVaR

K - limite no CVaR do portfólio (valor requerido pelo investidor)

As equações (5.11) a (5.13) modelam a restrição do CVaR do portfólio a nível de confiança β%.

<u>Abordagem Risco 2 – Minimax</u>

A segunda abordagem utilizada para restringir o risco foi o modelo Minimax. Dessa forma, para considerar o mínimo da distribuição como medida de risco foi incluída a restrição (5.14) ao modelo estocástico:

$$r_c^T x_c + c^T y \geq H \tag{5.14}$$

onde:

H – nível mínimo para o valor esperado do retorno em cada cenário *c*.