

## 7 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das abordagens descritas nos capítulos 5 e 6.

No item 7.1 são apresentados os resultados referentes à abordagem com 12 cenários considerados. Nos itens 7.2 e 7.3 são expostos os resultados do modelo a partir das abordagens com 9 cenários, onde não são consideradas as variações de preço e oferta de petróleo, respectivamente.

O modelo foi rodado a partir da utilização da ferramenta de modelagem AIMMS e otimizador CPLEX 10.1 em uma plataforma de hardware com memória RAM de 2 GB e processador de 1.80 GHz. Para rodar este modelo com 12 cenários, o tempo de processamento médio foi cerca de 6 minutos.

Para avaliar o impacto das medidas de risco no modelo estudado, em todas as abordagens foram consideradas quatro unidades de reforma catalítica em refinarias distintas e uma unidade de hidrodessulfurização (HDS) em uma refinaria como projetos candidatos a compor o portfólio de investimentos da cadeia de petróleo e derivados. Estas unidades estão relacionadas na tabela 7.1. Por questões de confidencialidade, as refinarias consideradas serão apresentadas como I, II, III e IV.

Tabela 7.1 - Unidades de Processo Candidatas

<b>Refinaria</b>	<b>Unidade de Processo</b>	<b>Capacidade (m3/dia)</b>
I	Reforma Catalítica	1.000
II	Reforma Catalítica	2.500
III	HDS D50	6.000
III	Reforma Catalítica	1.500
IV	Reforma Catalítica	2.300

Conforme já visto no capítulo 4, o modelo Minimax é mais conservador que o modelo com uso do CVaR, pois o primeiro exige que todos os cenários tenham um retorno mínimo, enquanto que o CVaR permite certa flexibilidade ao definir um limite para a média das perdas de um portfólio a um nível de confiança. Porém, quando o nível de confiança ( $\beta$ ) do modelo CVaR tende a 100%, este se equivale ao Minimax. Por este motivo, optou-se por apresentar as duas abordagens de risco em conjunto.

Nos casos estudados neste capítulo, que possuem no máximo 12 cenários, o resultado com uso de CVaR com  $\beta=99\%$  coincide com aquele com uso do Minimax.

O modelo deve indicar o percentual (no máximo 100%) a ser investido em cada uma das unidades e o período de início de operação de cada uma delas.

### 7.1.

#### **Doze Cenários com Incerteza na Oferta de Petróleo, Demanda de Derivados e Preços**

Foram feitas simulações variando-se o valor de K que representa o limite mínimo aceito pelo investidor. Quanto menor o valor associado ao K, maior será o risco assumido pelo investidor. Na Figura 7.1 são apresentadas curvas do valor esperado do VPL do resultado operacional (função objetivo) pelo nível de risco (K). Foram plotadas três curvas com diferentes níveis de confiança ( $\beta = 99\%$ ,  $\beta = 97\%$ ,  $\beta = 95\%$  e  $\beta = 93\%$ ). Estas curvas representam as fronteiras eficientes do portfólio de investimentos com utilização de CVaR para o modelo estudado.

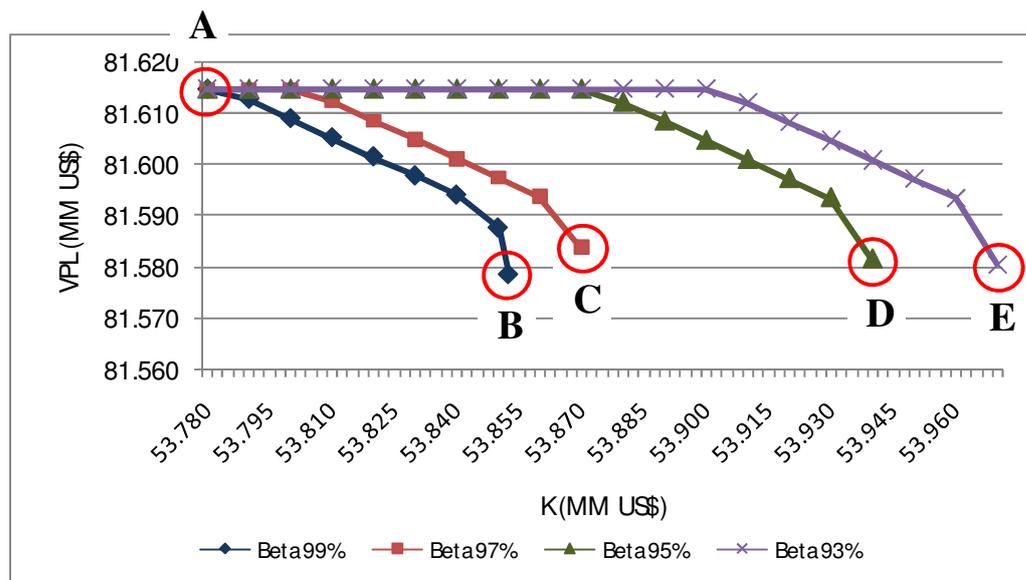


Figura 7.1– Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax

Pode-se observar que o valor da função objetivo, ou seja, o valor esperado aumenta com o risco. O ponto A representa o ponto de maior risco e maior valor esperado, enquanto que os pontos B, C, D e E representam os pontos de menor risco e valor esperado para cada uma das curvas. A curva que liga os pontos A e B representa o resultado do modelo com uso do CVaR a um nível de confiança 99% que coincide com o resultado com abordagem Minimax, pois o cenário de menos provável possui probabilidade igual a 3%.

No ponto A, o resultado dos cenários variou de US\$ 53.780 milhões a US\$ 108.585 milhões, o que gerou uma média ponderada pela probabilidade de cada cenário de US\$ 81.615 milhões (valor esperado do VPL ou função objetivo). O cenário com menor resultado foi o cenário 10 (ver Figura 6.3), com oferta de petróleos pesados, demanda de derivados acima da média e preço abaixo da média.

Cada um dos pontos apresenta um resultado do modelo com uma indicação de percentual e período de investimento para as unidades candidatas. Cabe ao decisor optar pelo nível de risco que está disposto a se expor. Pode-se observar que quanto menor o valor de  $\beta$ , maior é o valor esperado do VPL para o mesmo K. Ou seja, considerando um menor nível de confiança, o modelo indica uma configuração de investimento que resulta em um maior valor esperado global,

porém com um ou mais cenários podendo possuir resultados menores que o valor requerido pelo investidor (K).

Analisando o eixo vertical do gráfico da Figura 7.1, verifica-se que a variação do valor esperado do VPL em função do perfil de investimento é da ordem de US\$ 35 milhões, o que representa um percentual de menos de 0,1% do valor global. Porém face ao montante de investimentos das unidades candidatas, que é da ordem de US\$ 600 milhões, esta variação no valor esperado do VPL é significativa (aproximadamente 6%). No que diz respeito à variação do valor de K (no eixo horizontal do gráfico), que representa o limite inferior de retorno especificado pelo investidor, nota-se que esta é ainda mais significativa frente ao valor de investimento das unidades candidatas, ou seja, representa em torno de 30% deste investimento.

A Tabela 7.2 apresenta os percentuais ótimos de instalação de cada unidade e o período de entrada em operação associados aos pontos A e B assinalados na Figura 7.1.

Tabela 7.2 - Perfil de Investimentos Ótimo

Refinaria	Unidade De Processo	A		B	
		Período	% Inv	Período	% Inv
I	Reforma Catalítica	9	39%	5	6%
II	Reforma Catalítica	5	100%	5	100%
III	HDS D50	1	39%	1	90%
III	Reforma Catalítica	6	98%	6	100%
IV	Reforma Catalítica	2	33%	0	0%

A partir da Tabela 7.2, pode-se observar que o modelo sinaliza investimentos em períodos diferentes com capacidades distintas para a unidade de Reforma Catalítica da refinaria I. Já a unidade de Reforma Catalítica da refinaria II possui indicação de investimento na capacidade máxima no período 5 para os dois casos. O modelo aponta investimento na unidade de hidrodessulfurização (HDS) na refinaria III no primeiro período para os dois casos, porém com capacidade maior no caso B. Quanto a Reforma Catalítica na refinaria III, a

indicação foi parecida com pequena diferença na capacidade. Só houve sinalização de investimento em Reforma Catalítica na refinaria IV no caso A.

O perfil de investimentos encontrado no ponto B é semelhante ao perfil ótimo do pior cenário, o cenário 10 (ver Figura 6.3), já que neste ponto o modelo procura maximizar o resultado deste cenário para garantir que a restrição de risco não seja violada.

De acordo com a Tabela 7.2, pode ser visto que no caso A, de maior risco e maior valor esperado, o modelo indica investimentos que garantem capacidade menor em HDS em todos os períodos. Isto pode ser explicado pela maior necessidade de unidade de tratamento para processar petróleos mais pesados que contém mais enxofre e compõem o cenário 10.

## 7.2. Nove Cenários com Incerteza na Oferta de Petróleo e Demanda de Derivados

Para avaliar o impacto dos 9 cenários construídos com incerteza na oferta de petróleo e demanda de derivados, também foram feitas simulações variando-se o valor de K que representa o limite mínimo aceito pelo investidor. A Figura 7.2 apresenta as curvas com os resultados obtidos para esta abordagem.

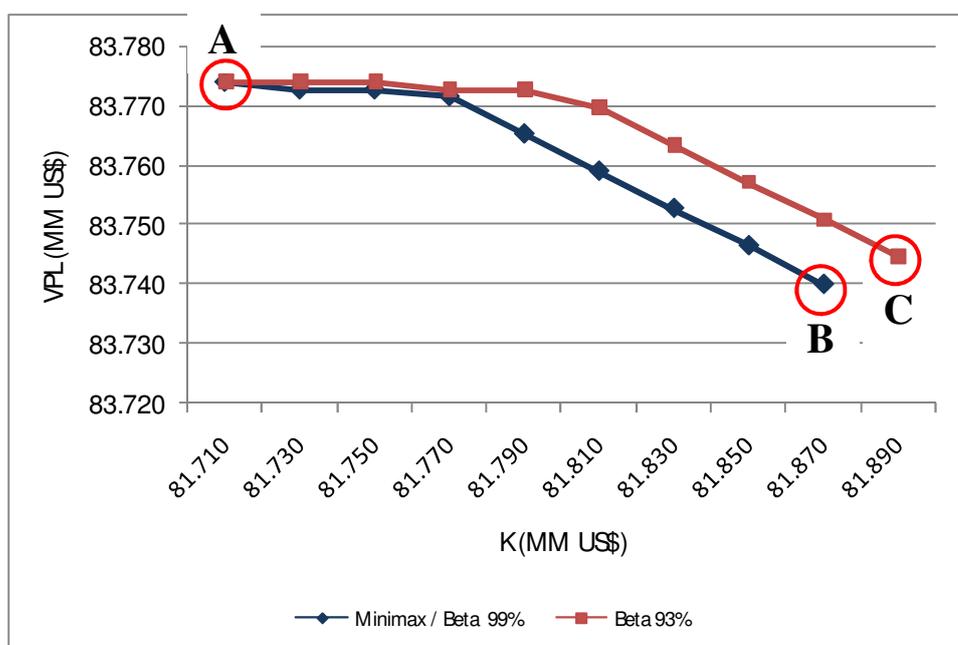


Figura 7.2 - Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax

Nesta abordagem, como a quantidade de cenários é inferior ao caso anterior, a probabilidade de ocorrência dos cenários menos prováveis aumentou. Isto é, o cenário menos provável possui probabilidade de 6%, enquanto na abordagem 1 com 12 cenários era 3%. Isto fez com que a fronteira eficiente do portfólio assumisse mesma forma para os níveis de confiança entre 94% e 99%. Por este motivo, foram plotadas curvas com nível de confiança 99% e 93%.

Da mesma forma que o resultado da primeira abordagem, neste caso o ponto A representa o ponto de maior risco e maior valor esperado, enquanto que os pontos B e C representam os pontos de menor risco e menor valor esperado para cada uma das curvas.

No que diz respeito ao valor de K (no eixo horizontal do gráfico), que representa o limite inferior de retorno especificado pelo investidor, nota-se que foram considerados valores semelhantes aos da função objetivo. Isto se deve ao fato da variação entre o pior cenário e a função objetivo ser de apenas 3%, demonstrando que se não for considerada incerteza no preço de petróleo e derivados os resultados dos cenários variam pouco.

### **7.3. Nove Cenários com Incerteza na Demanda de Derivados e Preços**

Para avaliar o impacto dos 9 cenários construídos com incerteza na demanda de derivados e preços, também foram feitas simulações variando-se o valor de K que representa o limite mínimo aceito pelo investidor. A Figura 7.3 apresenta as curvas com os resultados obtidos para esta terceira abordagem.

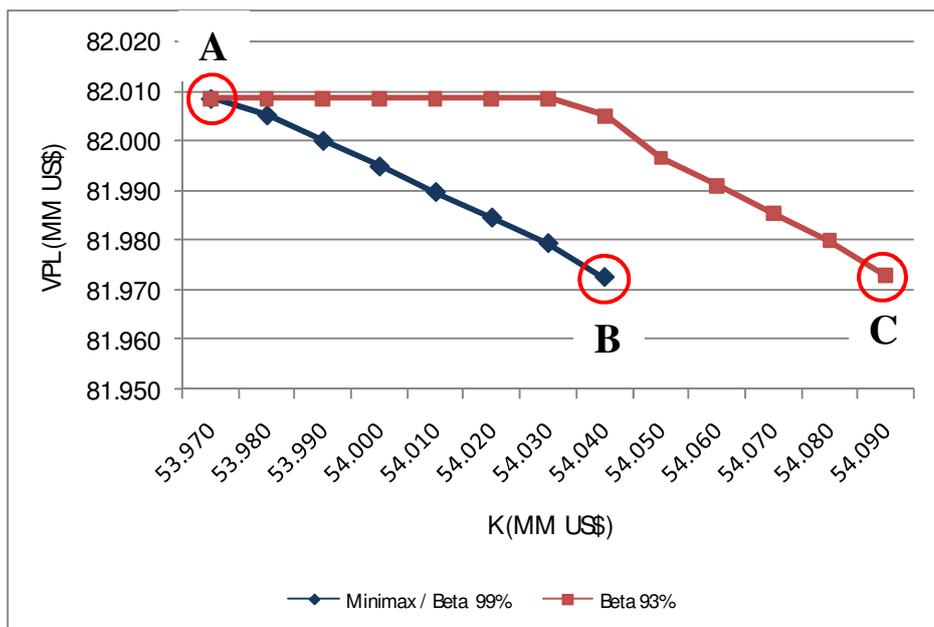


Figura 7.3 - Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax

Nesta abordagem, a fronteira eficiente do portfólio também não variou entre os níveis de confiança entre 94% e 99%. Assim, foram plotadas curvas com nível de confiança 99% e 93%.

Da mesma forma que as outras abordagens, neste caso o ponto A representa o ponto de maior risco e maior valor esperado, enquanto que os pontos B e C representam os pontos de menor risco e valor esperado para cada uma das curvas.

#### 7.4. Síntese dos Resultados

A Tabela 7.3 faz um resumo das três abordagens apontando as variações no valor da função objetivo (VPL) e no nível de risco (K) a partir das figuras 7.1, 7.2 e 7.3.

Tabela 7.3 - Síntese das Três Abordagens

Abordagem	Parâmetros incertos	Pior cenário	Prob. do pior cenário	Perfil pior cenário	ΔVPL (MM US\$)	ΔK (MM US\$)
1	Oferta, demanda e preço	10	3,3%	Oferta pesada, demanda acima e preço menor	36	190
2	Oferta e demanda	3	6,3%	Oferta pesada, demanda acima e preço médio	34	180
3	Demanda e preço	7	7,5%	Oferta base, demanda acima e preço menor	36	120

A variação do VPL foi de aproximadamente US\$ 35 milhões nas 3 abordagens, o que representa 6% do montante de investimentos. A variação do valor de K variou de US\$ 120 a US\$ 190 milhões. Esta variação representa até 32% do valor de investimento das unidades candidatas.

A Tabela 7.4 apresenta os percentuais ótimos de instalação de cada unidade e o período de entrada em operação associados aos pontos A e B assinalados nas Figuras 7.1, 7.2 e 7.3 para as abordagens 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 7.4 - Perfil de Investimentos nas Três Abordagens

Refinaria	Unidade de Processo	Abordagem 1				Abordagem 2				Abordagem 3			
		A		B		A		B		A		B	
		Período	% Inv	Período	% Inv	Período	% Inv	Período	% Inv	Período	% Inv	Período	% Inv
I	Reforma Catalítica	9	39%	5	6%	9	48%	6	43%	9	48%	9	41%
II	Reforma Catalítica	5	100%	5	100%	5	100%	1	100%	5	100%	5	100%
III	HDS D50	1	39%	1	90%	1	39%	1	89%	1	39%	1	90%
III	Reforma Catalítica	6	98%	6	100%	5	100%	5	100%	6	89%	6	100%
IV	Reforma Catalítica	2	33%	0	0%	1	10%	10	18%	1	42%	2	23%

A partir da Tabela 7.4, verifica-se que a melhor estratégia de investimentos depende da abordagem utilizada, ou seja, de quais parâmetros considerados incertos e do nível de risco que se pretende assumir. Porém, podem-se observar pontos em comum entre as abordagens.

No caso das unidades de reforma, o modelo aponta investimento total na refinaria II nas três abordagens e início de operação no quinto período, exceto no caso B (de menor risco) da abordagem 2 que é indicado o primeiro período. Na refinaria III, também é sinalizado investimento praticamente máximo nas três

abordagens e o período alterna entre 5 e 6. Já no caso das reformas das refinarias I e IV, é sinalizado investimento de até 50% da capacidade máxima em diferentes períodos. A partir daí, pode se concluir que o decisor deve dar preferência em investir em unidades de reforma catalítica nas refinarias II e III e a decisão de investimento nas demais refinarias deve considerar o nível de risco que se pretende assumir.

No que tange a unidade de HDS da refinaria III, o modelo indica investimento em menos da metade da capacidade nos casos A das abordagens 1, 2 e 3 e de, aproximadamente, 90% nos casos B das 3 abordagens. Assim, para decidir o percentual a ser investido nesta unidade deve-se considerar o nível de risco. Observa-se que o modelo indica investimentos que garantem capacidade maior na unidade de HDS da refinaria III nos casos de menor risco (B).

## **7.5. Considerações Finais**

Neste capítulo foram apresentados os resultados das abordagens propostas para o modelo estudado neste trabalho.

Os resultados deste estudo mostram que a decisão otimizada de investimento na área de petróleo e derivados apresenta variação com o nível de risco que se pretende assumir. Por outro lado, pode-se perceber que os preços de petróleo e derivados, principal responsável pela margem de refino são os parâmetros que mais influenciam no resultado de um cenário.

O modelo estudado é um modelo multiperíodo estocástico que considera 6 refinarias no Brasil com sistema logístico integrado. Isto torna o modelo de grande porte, com aproximadamente 79.500 variáveis e 83.700 restrições na primeira abordagem.