

7 Cálculo do Valor da Opção de *Switch Use* dos *Inputs* e/ou *Outputs*

Para que o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs* seja calculado primeiramente deve-se calcular o valor de uma planta GTL sem flexibilidade, ou seja, calcular o valor de uma planta que utilize **só** um tipo de *input* (no caso a planta opera usando só o GN), e que **só** possua uma combinação possível de produção.

O próximo passo para o cálculo do valor da flexibilidade **só** de *input* é calcular o valor de uma planta que possa utilizar como matéria-prima tanto o GN quanto o OP e que só possua uma combinação de produção. O valor da opção de *switch use* dos *inputs* será a diferença entre o valor da planta com flexibilidade e o valor da planta sem flexibilidade. Este valor representa o quanto o investidor estaria disposto a pagar para possuir uma planta com essa flexibilidade.

Para calcular o valor da opção de *switch use* **só** dos *outputs* o processo é semelhante, a única diferença encontra-se no fato do que a flexibilidade será na saída. Ou seja, deve-se calcular o valor de uma planta que opera somente com um tipo de *input* (GN) e possua mais de uma combinação possível de produção (as combinações possíveis serão vistas no gráfico 7.1). O valor da opção de *switch use* dos *outputs* será a diferença entre valor da planta com flexibilidade e o valor da planta sem flexibilidade. Neste caso o valor da opção irá representar o quando o investidor estaria disposto a investir para que a planta GTL tivesse a flexibilidade de *output*.

Nos casos citados acima foi feita a precificação da opção de *switch use* ou dos *inputs* ou dos *outputs*. Porém também pode existir uma planta que possua ambas as flexibilidades, ou seja, o investidor poderá escolher a cada trimestre o insumo que tiver o menor custo e a combinação de produção que tiver a maior receita. O valor desta planta menos o valor da planta sem flexibilidade representará o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e *outputs* ao mesmo tempo.

Que neste caso representaria o quanto valeria a pena investir para que a planta GTL possuía ambas as flexibilidades.

Em ambos os casos, opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*, as opções são do tipo européias, pois só podem ser exercidas a cada trimestre.

Um dado importante na análise de uma opção diz respeito à taxa de desconto que deve ser usada na sua precificação. O risco de uma opção (opção de *switch use* dos *inputs* e/ou dos *otputs*) escrita sobre um ativo básico (a planta GTL) está vinculado ao risco deste, porém não é igual. Essa é uma questão de grande importância, pois a taxa de desconto utilizada pela análise clássica no cálculo do VPL do projeto (que é representativa do seu risco e da sua estrutura de capital) não pode ser utilizada no cálculo do valor da opção. Em resumo, a taxa de desconto da opção não é igual à taxa de desconto do ativo básico. Uma maneira de “by-passar” por este problema é o método da neutralidade ao risco, onde se penaliza o valor esperado dos preços subtraindo-se um prêmio de risco de sua tendência. Com isso pode-se usar a taxa livre de risco para calcular o VPL da planta GTL e o valor das opções.

7.1. Estimação dos parâmetros (*drift* e *volatilidade*) das séries de preços dos *inputs* e *outputs*

A partir da série histórica dos preços dos *inputs* e *outputs* foram obtidos os parâmetros de tendência e volatilidade do processo estocástico que representa o comportamento dessas variáveis. O processo estocástico é utilizado para a obtenção de preços futuros para esses *inputs* e *outputs*, considerando as informações existentes em suas séries históricas.

Esses parâmetros foram calculados para o tipo de processo estocástico utilizado nesse estudo (MGB). Tais parâmetros são aqueles que fazem com que as séries de preços calculadas a partir dos processos estocásticos mais se aproximem aos valores reais para os preços dos *inputs* e *outputs*, conhecidos através de suas séries históricas.

No cálculo dos parâmetros dos processos estocástico as seguintes séries de preços foram usadas:

| <i>Input/Output</i> | Tamanho da Amostra | Unidade |
|---------------------|-----------------------|------------|
| Gás Natural | 193 (dados mensais) | US\$/MMBTU |
| Óleo Pesado | 4.868 (dados diários) | US\$/bbl |
| Nafta | 297 (dados mensais) | UC\$/gal |
| Diesel | 249 (dados mensais) | US\$/ton |
| Parafina | 53 (dados mensais) | R\$/l |
| Lubrificante | 54 (dados mensais) | R\$/l |

Tabela 7.1: Tamanho da amostra e unidade de medida dos preços

Os gráficos a seguir mostram a evolução dos preços ao longo do tempo.

A série do Gás Natural apresenta dados mensais (a unidade dos preços é US\$/MMBTU) e compreende o seguinte período: **maio de 1990** até **setembro de 2006**. Nesse caso o número de dados usados foi de 195. O gráfico a seguir representa a evolução dos preços nesse período.

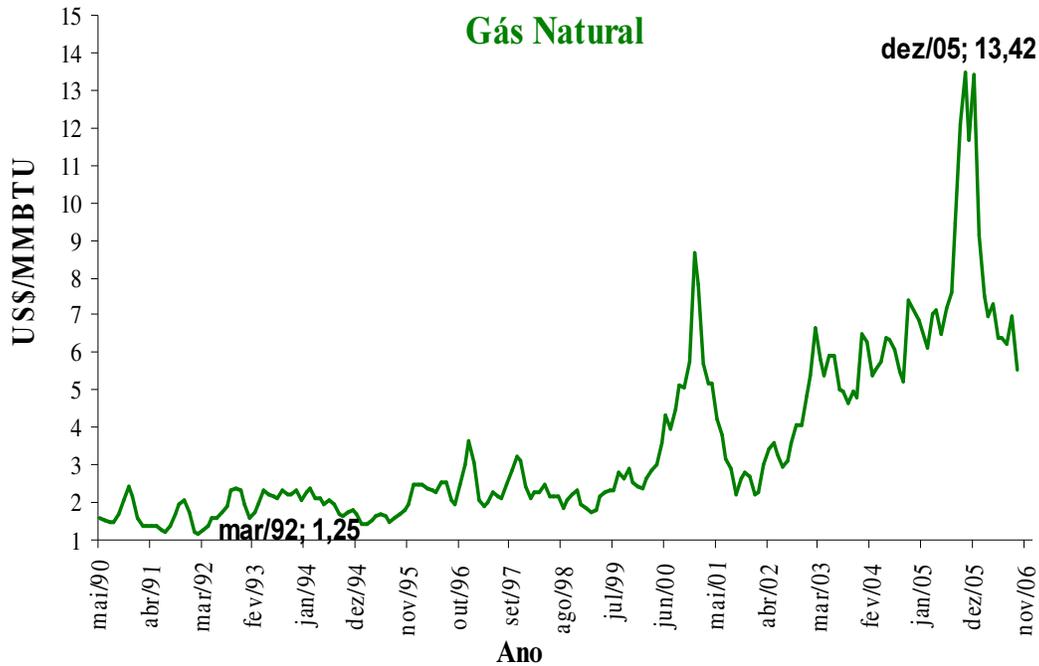


Figura 7.1: Gráfico da evolução da série de preços do GN

O maior preço que o GN alcançou no período estudado foi de 13,42 US\$/MMBTU e ocorreu em dezembro de 2005, o menor preço que ele obteve foi de 1,25 US\$/MMBTU e ocorreu em março de 1992.

A série usada para modelar o preço do Óleo Pesado é a única que apresenta dados diários, e por consequência é a que possui o maior tamanho de amostra. A série abrange o seguinte período: **janeiro de 1982 até junho de 2006**.



Figura 7.2: Gráfico da evolução da série de preços do OP

O maior preço que o OP alcançou no período estudado foi de 55,83 US\$/bbl e ocorreu em 02/05/2006, o menor preço que ele obteve foi de 6,82 US\$/bbl e ocorreu em 10/12/1998.

Com o objetivo de se ter uma visão conjunta da evolução dos preços do GN e do OP foi feito um gráfico com as duas séries de preços.

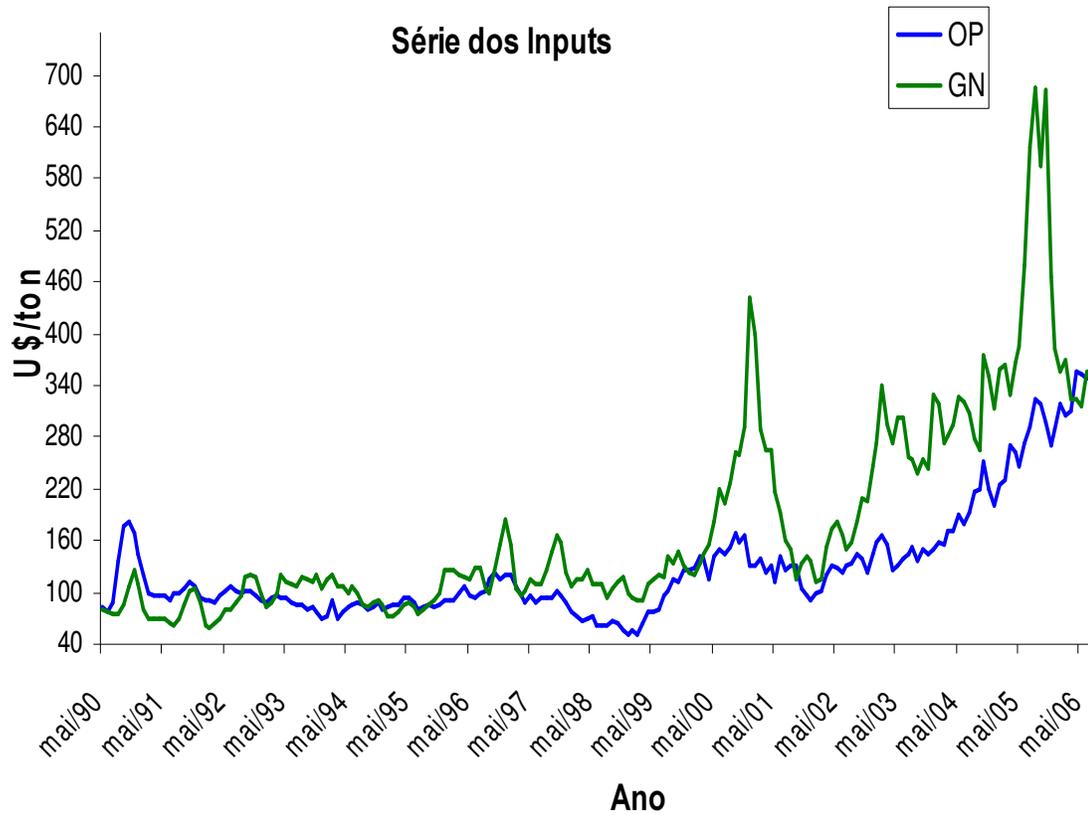


Figura 7.3: Gráfico da evolução das séries de preços dos *Inputs*

Para que o gráfico acima fosse feito foram necessárias as seguintes conversões:

- ✚ O preço do GN que estava na unidade de US\$/MMBTU para US\$/ton e
- ✚ O preço do OP que estava na unidade de US\$/bbl para US\$/ton.

Os dados usados para modelar a série de preços da Nafta são mensais (a unidade dos preços é US\$/gal) e abrangem o seguinte período: **janeiro de 1982** até **setembro de 2006**. Sendo assim foram usados ao todo 297 dados para calcular o *drift* (α) e a volatilidade (σ) desta série. O gráfico a seguir representa a evolução dos preços nesse período.

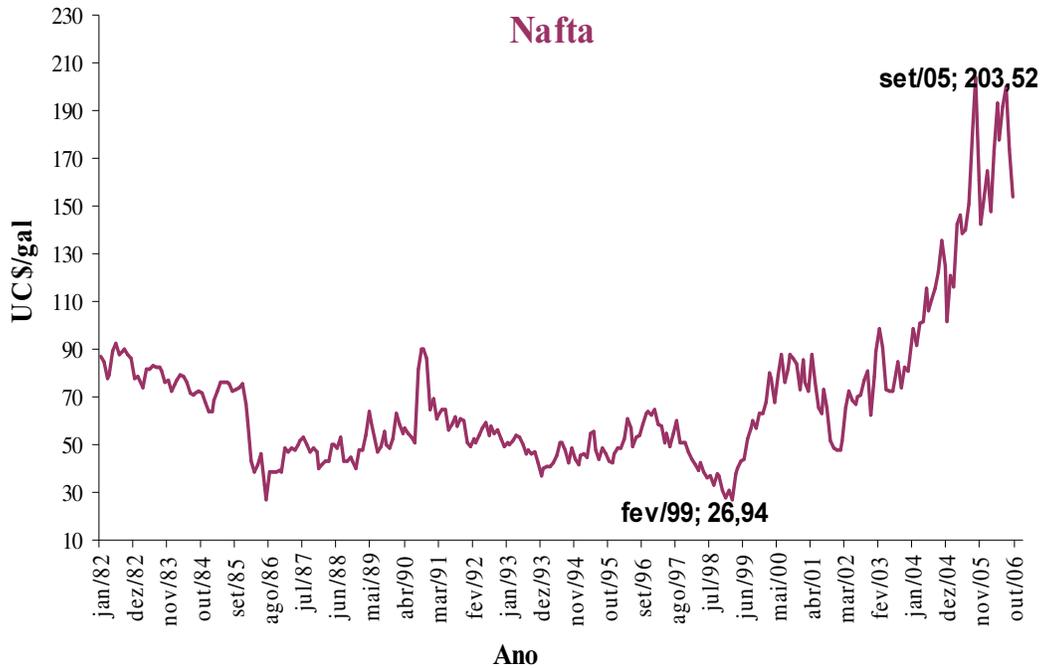


Figura 7.4: Gráfico da evolução dos preços da Nafta

Em relação à Nafta o maior preço ocorreu em setembro de 2005 (203,25 US\$/ gal), tendo o menor ocorrido em fevereiro de 1999 (26,94 US\$/gal).

Em relação à série de Diesel, os dados também são mensais (a unidade dos preços é por US\$/ton) e abrangem o seguinte período: **janeiro de 1986** até **setembro de 2006**. Foram usados 249 dados para calcular seus parâmetros. O gráfico a seguir representa a evolução dos preços nesse período.

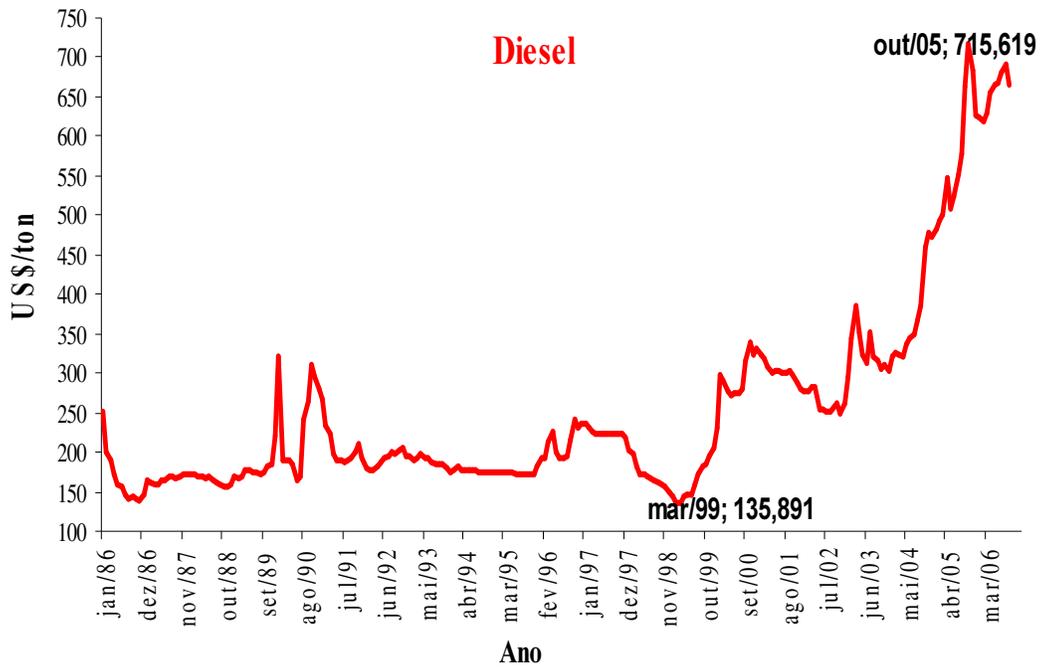


Figura 7.5: Gráfico da evolução dos preços do Diesel.

Em relação aos dados usados para modelar a série de preços da Parafina (a unidade dos preços é R\$/l), e mais uma vês eles são mensais e abrangem o seguinte período: **julho de 2002** até **novembro de 2006**. Foram usados ao todo 53 dados.

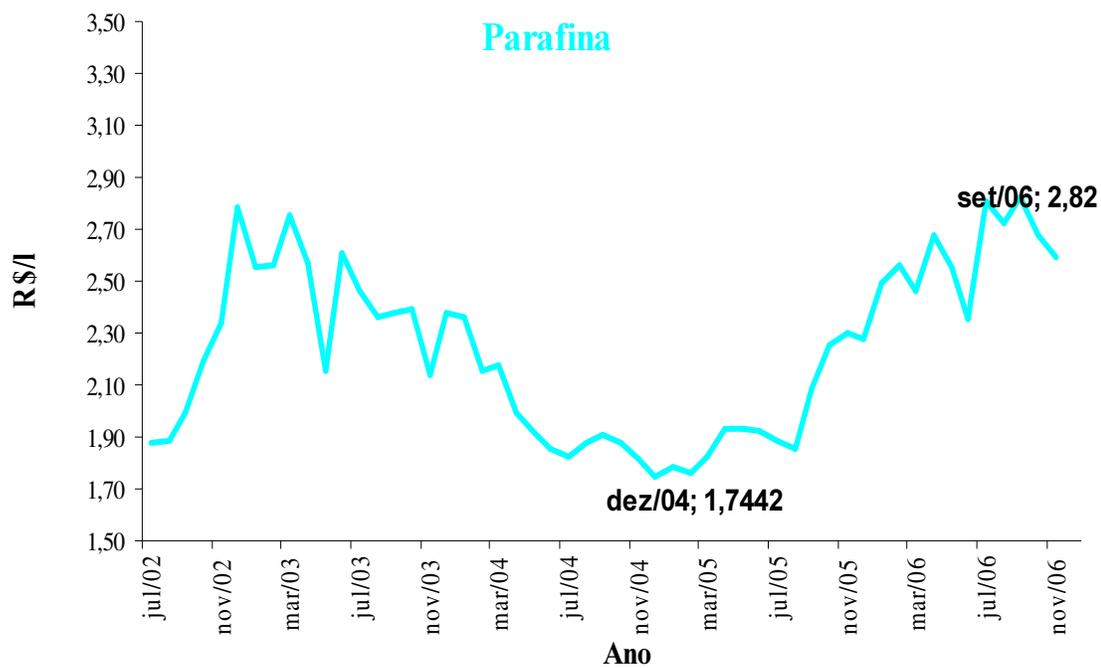


Figura 7.6: Gráfico da evolução dos preços da Parafina.

A série de preços do Lubrificante possui dados mensais (a unidade dos preços é US\$/bbl) e abrange o seguinte período: **julho de 2002** até **dezembro de 2006**. Foram usados ao todo 54 dados.

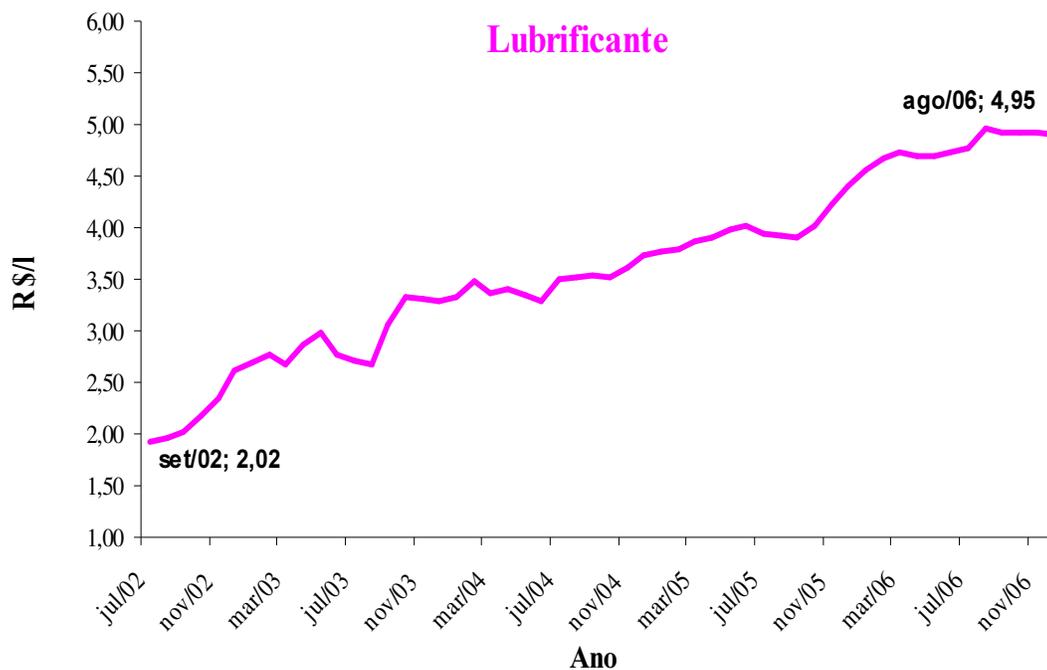


Figura 7.7: Gráfico da evolução dos preços do Lubrificante

De modo a se ter uma visão conjunta da evolução dos preços de todos *outputs* o seguinte gráfico foi feito:

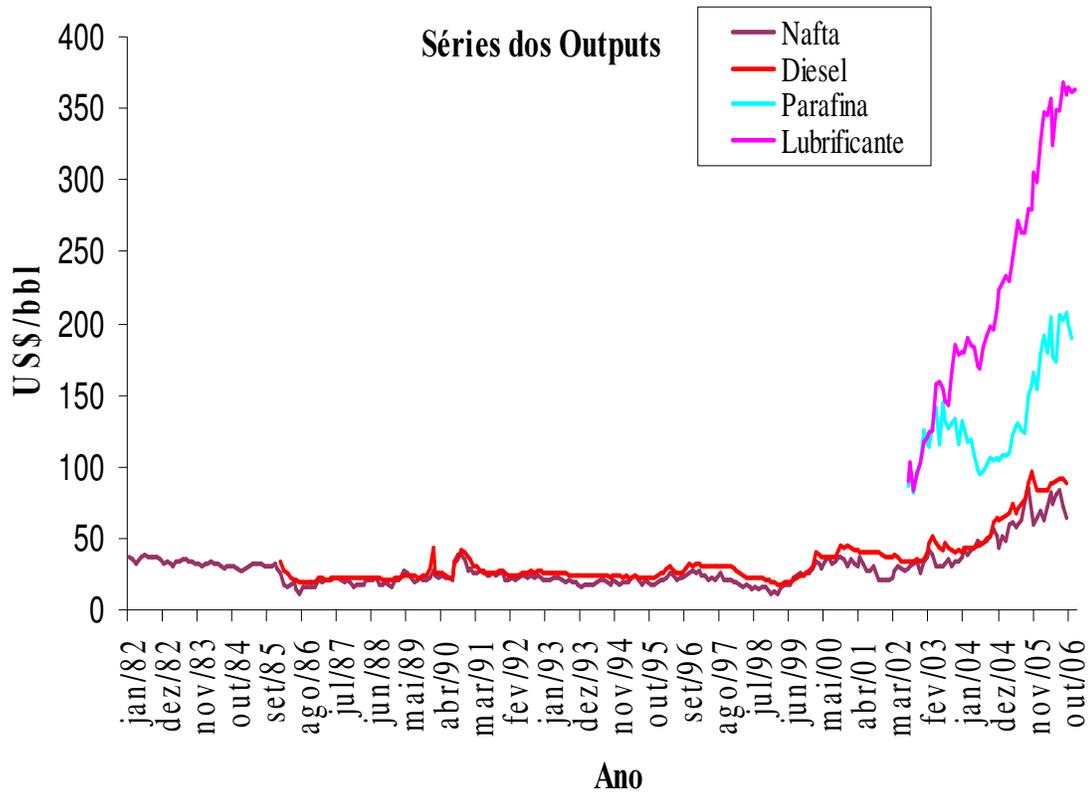


Figura 7.8: Gráfico da evolução das séries de preços dos *Outputs*

Como no caso da série de preço dos *inputs* (Figura 7.3), na montagem do gráfico acima também foi preciso fazer determinadas conversões, são elas:

- ✚ O preço da nafta que estava na unidade de UC\$/gal para US\$/bbl,
- ✚ O preço do diesel que estava na unidade de US\$/ton para US\$/bbl,
- ✚ O preço da parafina que estava na unidade de R\$/l para US\$/bbl e
- ✚ O preço do lubrificante que estava na unidade de R\$/l para US\$/bbl

A tabela a seguir contém os parâmetros calculados para as sete séries modeladas:

| <i>Input / Parâmetros</i> | <i>Drift (α)</i> | <i>Volatilidade (σ)</i> |
|---------------------------|------------------------------------|---|
| Gás Natural | 18,46 % p.a. | 46,23 % p.a. |
| Óleo Pesado | 14,25 % p.a. | 37,82 % p.a. |
| Nafta | 9,95 % p.a. | 36,88 % p.a. |
| Diesel | 7,84 % p.a. | 25,22 % p.a. |
| Parafina | 23,77 % p.a. | 33,47 % p.a. |
| Lubrificante | 34,75 % p.a. | 24,18 % p.a. |

Tabela 7.2: Parâmetro do modelo MGB

7.2.

Simulação de Monte Carlo dos preços dos *Inputs* e *Outputs*

Considera-se que os preços dos *inputs* e *outputs* seguem o MGB, e como foi visto no item 4.1.4.1. a equação que descreve esse processo é a seguinte:

$$dP = \alpha P dt + \sigma P dz \quad (1)$$

O retorno de um investimento é composto por duas parcelas: uma representa o ganho de capital e a outra os dividendos distribuídos:

$$\mu = \alpha + \delta \quad (2)$$

Onde:

- ✚ μ = taxa de retorno total,
- ✚ α = taxa de ganho de capital e
- ✚ δ = taxa de dividendo.

Outra forma de representar o retorno total de um investimento é dada pelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Segundo este modelo o retorno total possui dois componentes: um deles é a taxa livre de risco e o outro é o prêmio de risco (parcela a mais de rendimento que o investidor ganha por estar investindo em um ativo com risco).

$$\mu = r + \beta(r_m - r) \quad (3)$$

Onde:

✚ r = taxa livre de risco,

✚ $\pi = \beta(r_m - r)$ = prêmio de risco.

Igualando-se as equações (2) e (3), a seguinte relação é obtida:

$$\alpha - \pi = r - \delta \quad (4)$$

Onde $(\alpha - \pi)$ e $(r - \delta)$ são chamados de tendência neutra ao risco.

Usando a equação do retorno total de investimento representada pela equação (2), pode-se escrever a equação estocástica (1) como:

$$dP = (\mu - \delta)Pdt + \sigma P dz \quad (5)$$

Para a versão neutra ao risco da equação (5), deve-se substituir a taxa de desconto ajustada ao risco μ por uma livre de risco r para que a equação estocástica neutra ao risco seja obtida:

$$dP = (r - \delta) P dt + \sigma P dz$$

Usando transformação logarítmica e aplicando o Lema de Itô, consegue-se chegar às equações para a simulação dos preços dos *inputs* e *outputs* em ambos os formatos: real e neutro ao risco.

A real simulação de um MGB usa o *drift* real, e o preço P_t no instante futuro será dado por:

$$P_t = P_0 \text{ EXP } \left\{ (\alpha - 0,5\sigma^2)\Delta t + \sigma N(0,1)\sqrt{\Delta t} \right\} \quad (6)$$

A simulação do preço real usando a equação acima será feita por amostragem de um modelo de distribuição normal $N(0,1)$. A partir daí obtêm-se os valores correspondentes de P_t .

Para que a simulação neutra ao risco seja feita (que é a simulação que será usada para calcular o valor das opções reais) basta substituir o *drift* real por uma tendência neutra ao risco.

$$P_t = P_0 \text{EXP} \left\{ \left(r - \delta - 0,5\sigma^2 \right) \Delta t + \sigma N(0,1) \sqrt{\Delta t} \right\} \quad (7)$$

Como base nos parâmetros calculados no item 7.1 e utilizando as equações (6) e (7) se pode calcular amostras de caminho para as séries. Serão calculadas duas amostras de caminhos para o processo real e duas amostras de caminho para o processo neutro ao risco das séries de preços dos *inputs* e dos preços da nafta e do diesel.

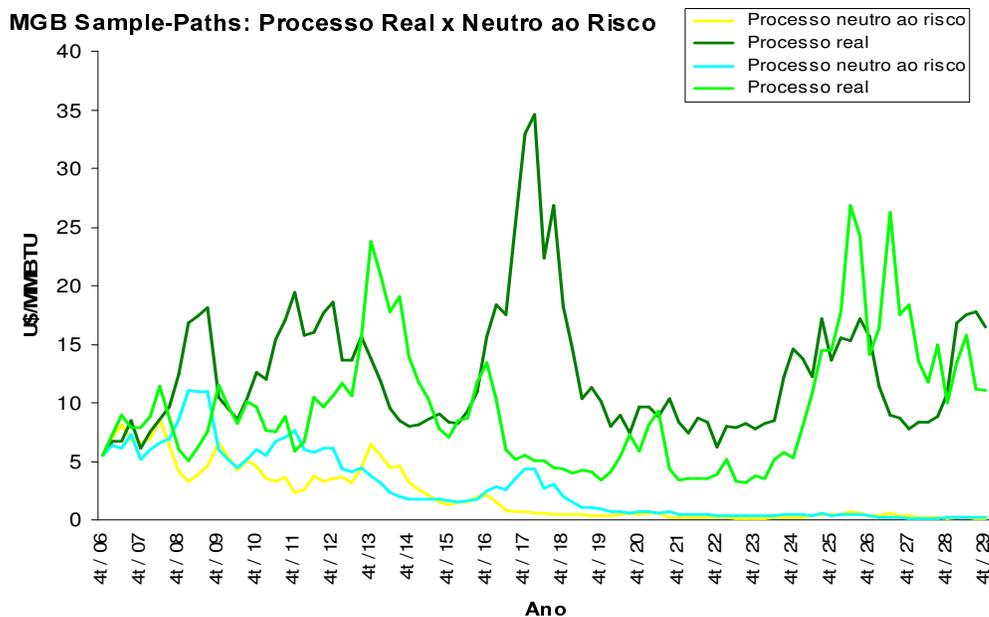


Figura 7.9: *Sample Paths* do processo real e neutro ao risco do GN

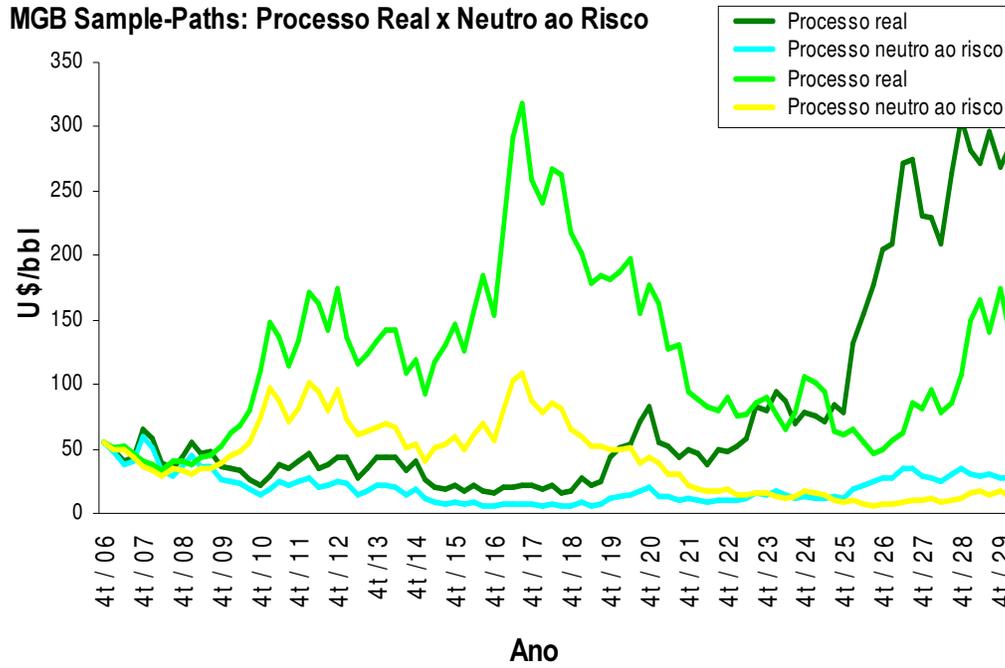


Figura 1.10: *Sample Paths* do processo real e neutro ao risco do OP

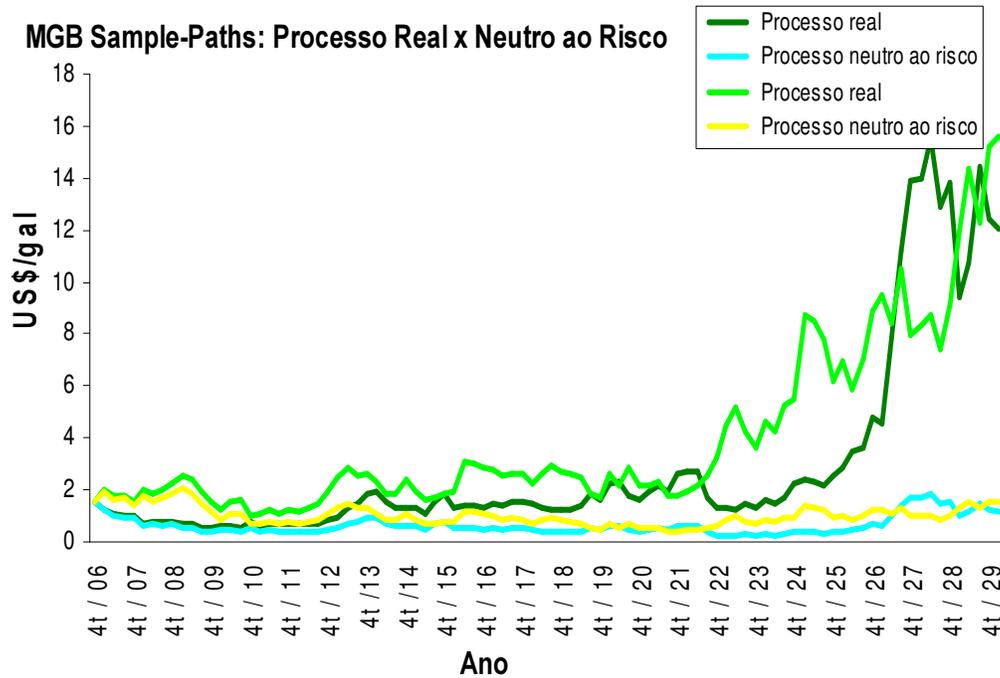


Figura 7.11: *Sample Paths* do processo real e neutro ao risco da Nafta

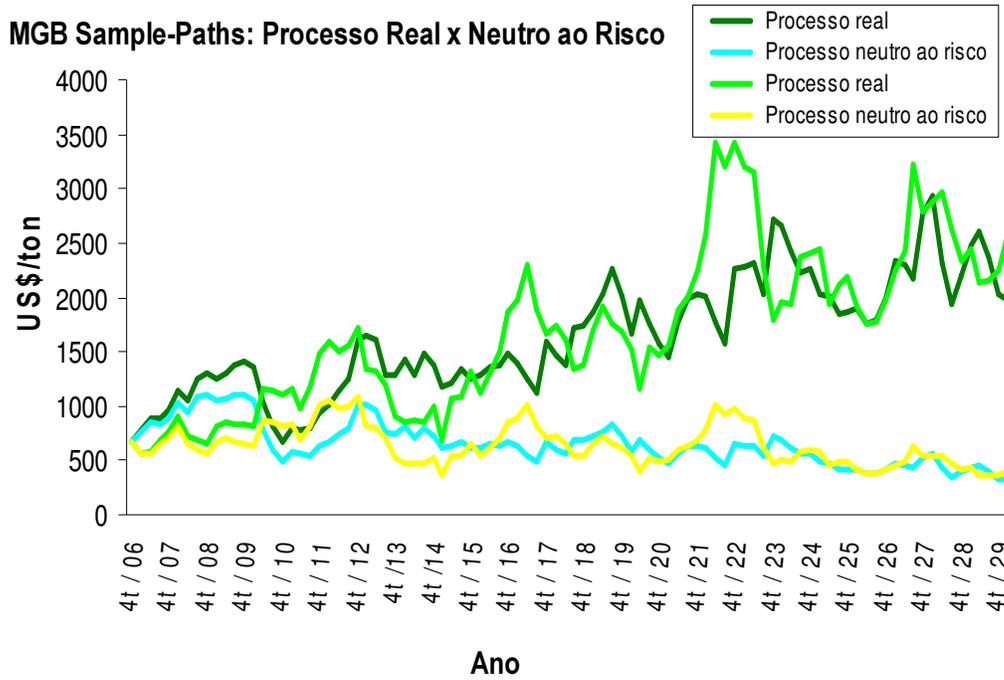


Figura 7.12: *Sample Paths* do processo real e neutro ao risco do Diesel

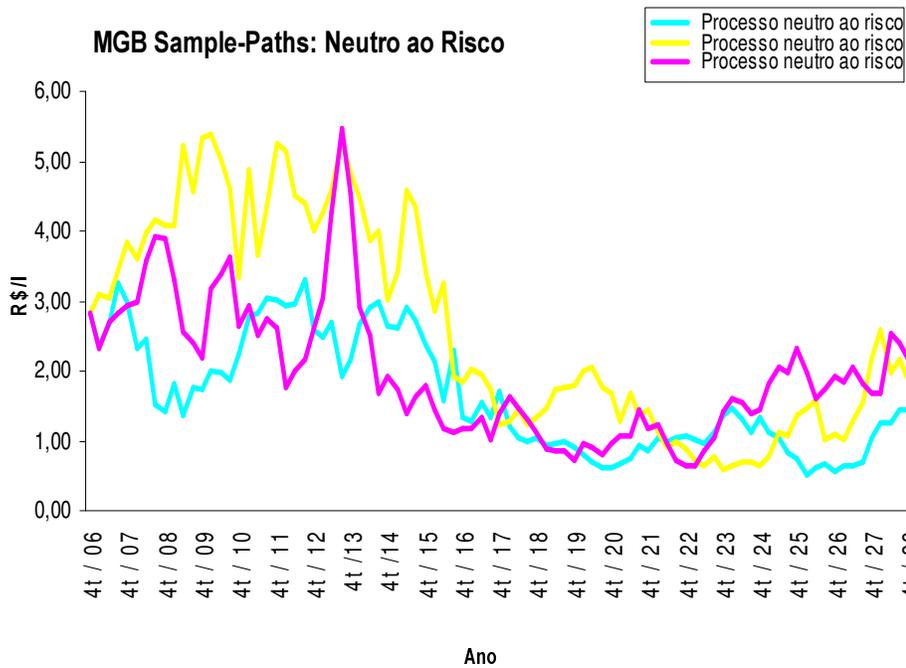


Figura 7.13: *Sample Paths* do processo neutro ao risco da Parafina

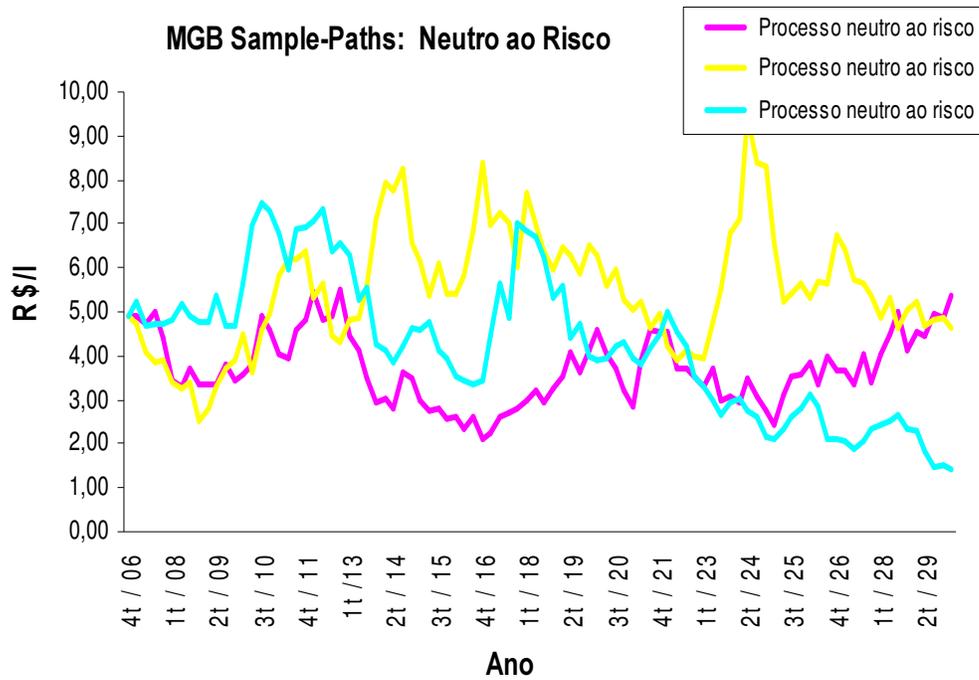


Figura 7.14: *Sample Paths* do processo neutro ao risco do Lubrificante

7.3. Cálculo do VPL sem flexibilidade

Os seguintes passos devem ser seguidos no cálculo do valor de uma planta GTL sem flexibilidade:

- ✚ Escolha do processo estocástico que representa o comportamento das séries de preços (MGB),
- ✚ Estimação dos parâmetros, *drift* e volatilidade, de cada série de preços,
- ✚ SMC dos preços dos insumos e produtos finais (utilizando os parâmetros achados no passo anterior),
- ✚ Cálculo dos custos (operacionais e com matéria prima) e receitas a cada trimestre e
- ✚ Trazer o fluxo de caixa obtido a cada período a valor presente e descontar o valor do investimento, achando assim o VPL.

No cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) de uma planta sem/com flexibilidade foram usados os seguintes parâmetros arbitrados:

| | |
|--|-------------------------------------|
| Taxa de desconto ajustada ao risco | 10% p.a. |
| Taxa de desconto livre de risco | 5% p.a. |
| Taxa de dividendo | 5% p.a. |
| Δt | 0,25 anos |
| Vida útil do projeto | 20 anos |
| Investimento | Feito ao longo dos 3 primeiros anos |
| Depreciação | Linear ao longo de 20a |
| OPEX (para uma planta sem flexibilidade) | 2% do CAPEX ao ano |
| OPEX (para uma planta com flexibilidade) | 3% do CAPEX ao ano |
| Capacidade da planta (1) | 35.000 bbl/dia |
| Capacidade da planta (2) | 72.000 bbl/dia |
| Eficiência | 93 % |

Tabela 7.3: Dados para o cálculo do VPL

O *Capital Expenditures* (CAPEX) para uma planta que usa como matéria prima só o GN é:

| <i>Input - Gás Natural</i> | |
|------------------------------|------------------|
| Capacidade Nominal da Planta | CAPEX |
| 35.000 bbl/dia | 25.000 US\$/ bbl |
| 72.000 bbl/dia | 20.000 US\$/bbl |

Tabela 7.4: CAPEX por barril dia para uma planta que usa como *input* só o GN

Pela tabela acima se pode verificar a existência de uma economia de escala, o CAPEX para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia é bem inferior ao CAPEX de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.

Os custos dividem-se da seguinte forma:

- ✚ Reforma - representa 60% do CAPEX,
- ✚ Fischer - Tropsch (FT) - representa 25% do CAPEX e
- ✚ Upgrade dos Produtos - representa 15% do CAPEX.

Sendo assim o valor total de investimento necessário e sua distribuição para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia é:

| Input - Gás Natural | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Capacidade Nominal da Planta | 35.000 bbl/dia | 72.000 bbl/dia |
| Investimento Total (US\$) | 875.000.000 | 1.440.000.000 |
| Reforma | 525.000.000 | 864.000.000 |
| FT | 218.750.000 | 360.000.000 |
| <i>Upgrade</i> dos Produtos | 131.250.000 | 216.000.000 |

Tabela 7.5: CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como *input* só o GN

Para o caso da matéria prima ser o OP, o CAPEX fica **25%** mais caro na primeira fase. A tabela a seguir ilustra o valor de investimento total necessário e a sua distribuição para as duas capacidades de planta.

| Input – Óleo Pesado | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Capacidade Nominal da Planta | 35.000 bbl/dia | 72.000 bbl/dia |
| Investimento Total (US\$) | 1.006.250.000 | 1.656.000.000 |
| Reforma | 656.250.000 | 1.080.000.000 |
| <i>Fischer - Tropsch</i> (FT) | 218.750.000 | 360.000.000 |
| <i>Upgrade</i> dos Produtos | 131.250.000 | 216.000.000 |

Tabela 7.6: CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como *input* só o OP

Pode-se verificar que a distribuição dos custos sofre uma pequena alteração em vista da mudança dos valores referentes as 3 fazes, ficando distribuído da seguinte forma:

- ✚ Reforma - representa 65% do CAPEX,
- ✚ Fischer - Tropsch (FT) - representa 22% do CAPEX e
- ✚ Upgrade dos Produtos - representa 13% do CAPEX.

O valor do CAPEX por barril para uma planta que usa como matéria prima só o OP:

| <i>Input - Óleo Pesado</i> | |
|------------------------------|-----------------|
| Capacidade Nominal da Planta | CAPEX (US\$) |
| 35.000 bbl/dia | 28.750 US\$/bbl |
| 72.000 bbl/dia | 23.000 US\$/bbl |

Tabela 7.7: CAPEX por barril dia para uma planta que usa como *input* só o OP

Como o CAPEX para uma planta que usa como *input* o GN é diferente do CAPEX de uma planta que opera com Óleo Pesado, o custo operacional anual (OPEX) de cada planta também será diferente.

| OPEX (anual - US\$) | | |
|------------------------------|--------------|------------|
| | <i>Input</i> | |
| Capacidade Nominal da Planta | GN | OP |
| 35.000 bbl/dia | 17.500.000 | 20.125.000 |
| 72.000 bbl/dia | 28.800.000 | 33.120.000 |

Tabela 7.8: OPEX de plantas sem flexibilidade

No cálculo do VPL algumas restrições técnicas têm que ser levadas em consideração. Uma dessas restrições técnicas é a que diz que no processo os seguintes produtos sempre serão fabricados: nafta e diesel (nunca se consegue produzir só parafina, ou só lubrificante, ou só diesel, ou só nafta). Sendo assim as combinações possíveis de *outputs* são as seguintes:

- ✚ Nafta e diesel;
- ✚ Nafta, diesel e parafina;
- ✚ Nafta, diesel e lubrificante; e
- ✚ Nafta, diesel, lubrificante e parafina.

Outra restrição técnica importante é o fato de que esses produtos só podem ser fabricados em determinadas combinações. As possíveis combinações são expressas pela equação abaixo:

$$W_n = \left[\frac{(1-\alpha)^2}{2} \right] n \alpha^n$$

Onde:

- ✚ W_n : porcentagem de produção de cada output
- ✚ n : número de carbonos e
- ✚ $\frac{(1-\alpha)^2}{2}$ = grau de polimerização.

Com base na equação acima se monta o próximo gráfico que expressa as possíveis combinações de produção de *output*.

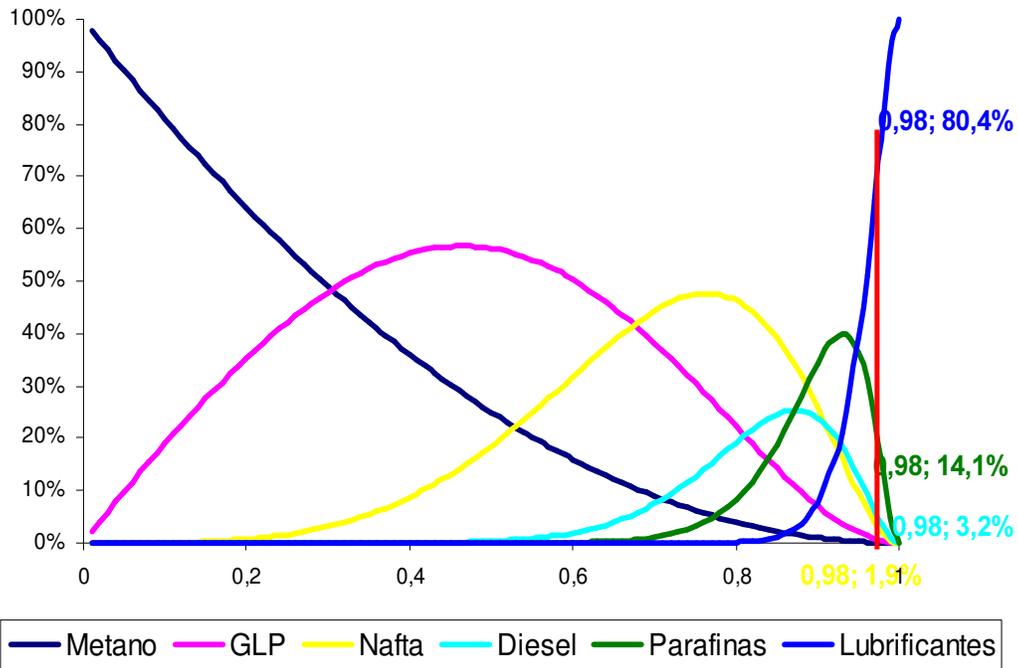


Figura 7.15: Possíveis combinações de produção dos *outputs*

(Fonte: Petrobras - CENPES)

Pela figura acima, para o caso em que $\alpha = 0,98$ a produção de *outputs* distribui-se da seguinte forma:

- ✚ Nafta: 1,9% ,
- ✚ Diesel: 3,2% ,
- ✚ Parafina: 14,1% e
- ✚ Lubrificante: 80,4%.

A combinação acima é uma das n possíveis que existem. Para o cálculo do VPL da planta GTL sem flexibilidade de *output* a combinação escolhida foi a seguinte:

| <i>Output</i> / % de produção ($\alpha=0,99$) | Nafta | Diesel | Parafina | Lubrificante |
|---|--------------|---------------|-----------------|---------------------|
| Produção sem flexibilidade | 0,5% | 0,9% | 4,7% | 93,7% |

Tabela 7.9: Porcentagem de produção de cada *output* para uma planta sem flexibilidade

Esta combinação foi à escolhida, pois é que possui uma maior proporção de produção de lubrificante, o *output* com o maior preço (o que pode ser verificado olhando o gráfico 7.9).

| VPL de uma planta sem flexibilidade de <i>input</i> e <i>output</i>- (US\$) | |
|--|----------------|
| Capacidade Nominal da Planta | GN |
| 35.000 bbl/dia | 14.273.370.000 |
| 72.000 bbl/dia | 29.679.200.000 |

Tabela 7.10: VPL de plantas sem flexibilidade

O V.P.L. da planta GTL foi calculado da seguinte forma:

$$V.P.L. = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t},$$

Onde:

I= **875.000.000** para uma planta com capacidade de 35.000 bbl; ou

1.440.000.000 para uma planta com capacidade de 72.000 bbl;

Distribuídos uniformemente ao longo dos 3 primeiros anos;

$FC_t =$ *Receita obtida no período*: a porcentagem de cada produto produzido ao trimestre, para o caso de uma planta sem flexibilidade ver tab.7.9, pág.90.

(-) Despesa total = *Gasto com matéria prima* :GN ou OP

(+) *Gasto com OPEX*:

17.500.000, para uma planta com capacidade de 35.000 bbl (anual); ou

28.800.000, para uma planta com capacidade de 72.000 bbl (anual).

(+) Gasto com IR :34%

O gráfico a seguir ilustra a distribuição do VPL calculado para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia, foram simulados 10.000 caminhos para os preços dos *inputs* e *outputs* e apenas 8,81 % desses caminhos (881) fizeram com que o VPL apresentasse valor negativo.

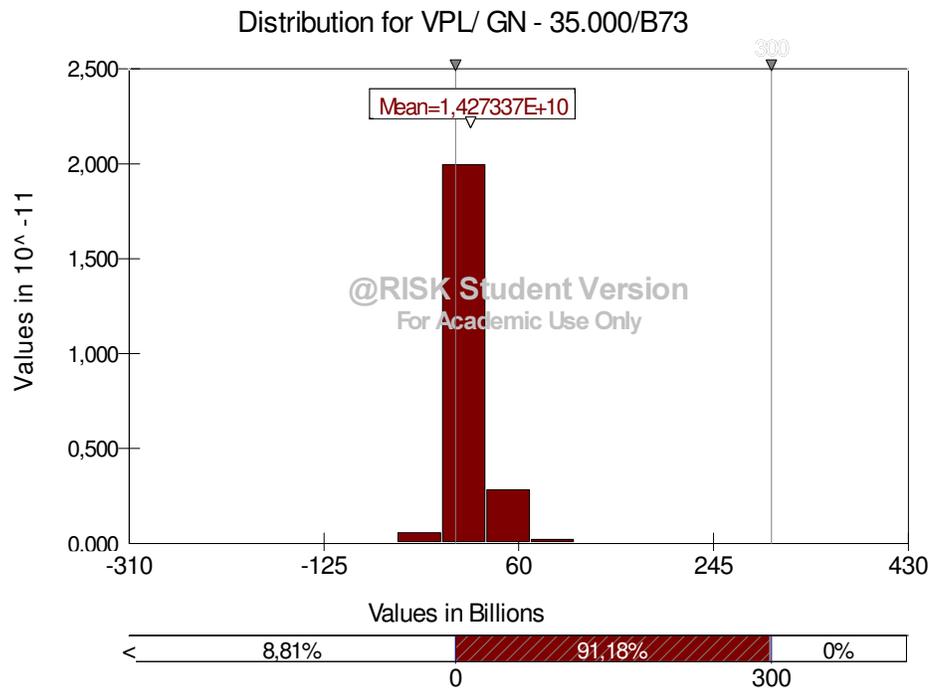


Figura 7.16: Distribuição do VPL sem flexibilidade e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

7.4. Cálculo do VPL com flexibilidade

Para o cálculo do valor da planta com flexibilidade ocorrerá uma pequena mudança (de acordo com a flexibilidade que a planta possui) em relação aos passos seguidos:

- ✚ Escolha do processo estocástico que representa o comportamento das séries de preços (MGB),
- ✚ Estimação dos parâmetros, *drift* e volatilidade, de cada série de preços,

- ✚ SMC dos preços dos insumos e produtos finais (utilizando os parâmetros achados no passo anterior),
- ✚ Para o caso de só existir flexibilidade de *input*: escolha a cada trimestre de que insumo usar.

Para o caso de só existir flexibilidade de *output*: escolha a cada trimestre de qual combinação de *output* produzir.

E para o caso da planta possuir ambas as flexibilidades: escolha a cada trimestre de qual insumo usar e de que combinação de *output* produzir, e

- ✚ Trazer o fluxo de caixa obtido a cada período a valor presente e descontar o valor do investimento, achando assim o VPLflex..

Para o cálculo do valor da flexibilidade de *output* a cada trimestre o investidor pode escolher dentre as combinações de produção abaixo aquela maximiza o valor da receita:

| Output / % de produção | Nafta | Diesel | Parafina | Lubrificante |
|---------------------------------------|--------|--------|----------|--------------|
| Cenário 1 ($\alpha=0,99$) | 0,5 % | 0,9 % | 4,7 % | 93,7 % |
| Cenário 2 ($\alpha=0,98$) | 1,9 % | 3,2 % | 14,1 % | 80,4 % |
| Cenário 3 ($\alpha=0,96$) | 6,60 % | 9,4 % | 31,% | 51,2 % |
| Cenário4 ($\alpha=0,95$) | 9,6 % | 12,7 % | 36,4 % | 39 % |
| Cenário 5 ($\alpha=0,94$) | 12,8 % | 15,8 5 | 39,8 % | 29,1 % |

Tabela 7.11: Porcentagem de produção de cada output para uma planta com flexibilidade

Para uma planta com flexibilidade de *input* o investidor pode a cada trimestre escolher entre usar GN ou OP. Em relação aos custos operacionais a única mudança a ser feita é que agora vão ser incluídos os custos de troca de *input*. Ou seja, a cada trimestre será visto se ocorre à troca no uso dos *inputs* e caso ocorra vai ser incluído no OPEX um custo adicional (este custo adicional só será incluído no OPEX para o caso da flexibilidade de entrada, no caso da flexibilidade de saída o OPEX permanece o mesmo).

Com base nos dados acima se calcula o valor da plantas com flexibilidade só de *input*, só de *output* e com ambas ao mesmo tempo.

| Possíveis <i>inputs</i> - GN ou OP | |
|------------------------------------|----------------|
| Capacidade Nominal da Planta | VPL (US\$) |
| 35.000 bbl/dia | 17.170.040.000 |
| 72.000 bbl/dia | 35.643.020.000 |

Tabela 7.12: VPL das plantas com flexibilidade só de *input*

O gráfico abaixo mostra a distribuição do VPL com flexibilidade **só** de *input*, novamente foram simulados 10.000 caminhos para os preços dos *inputs* e *outputs*,

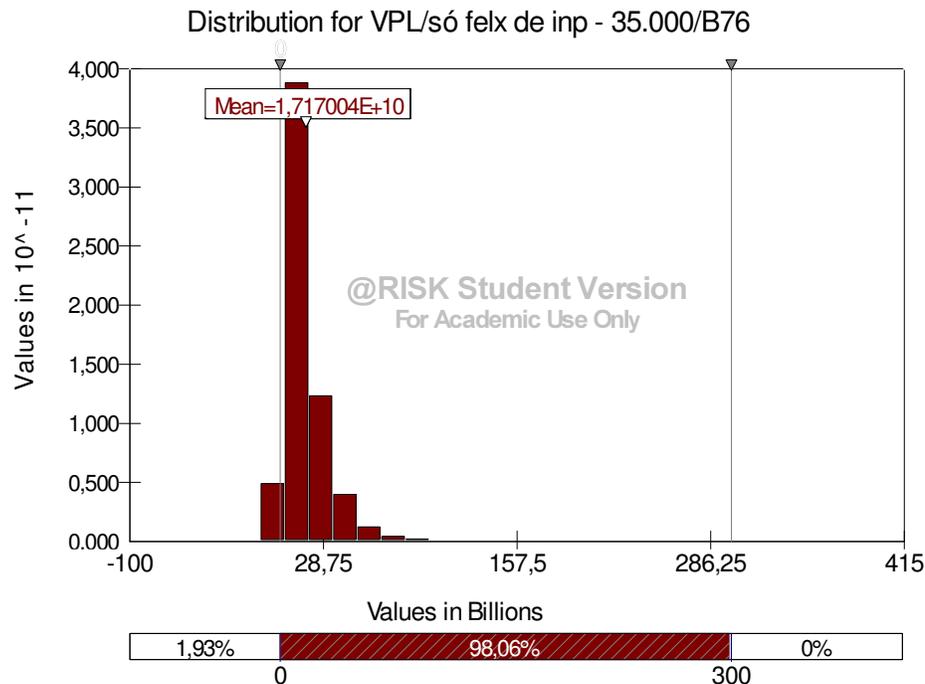


Figura 7.17: Distribuição do VPL com flexibilidade **só** de *input* e sem correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Observando os gráficos 7.16 (pág. 90) e 7.17 é possível verificar que houve uma redução em relação à porcentagem correspondente ao número de VPLs que tiveram valor negativo. Enquanto que no VPL sem flexibilidade essa porcentagem correspondia a 8,81 %, no caso com flexibilidade ela passa para 1,93% (somente 193 caminhos dos 10.000 simulados para os preços dos *inputs* e *outputs* fizeram com que o VPL apresentasse valor negativo).

A seguir será calculado o valor das plantas só com flexibilidade de *output*:

| Capacidade Nominal da Planta | VPL (US\$) |
|------------------------------|----------------|
| 35.000 bbl/dia | 15.357.400.000 |
| 72.000 bbl/dia | 31.909.210.000 |

Tabela 7.13: VPL das plantas com flexibilidade só de *output*

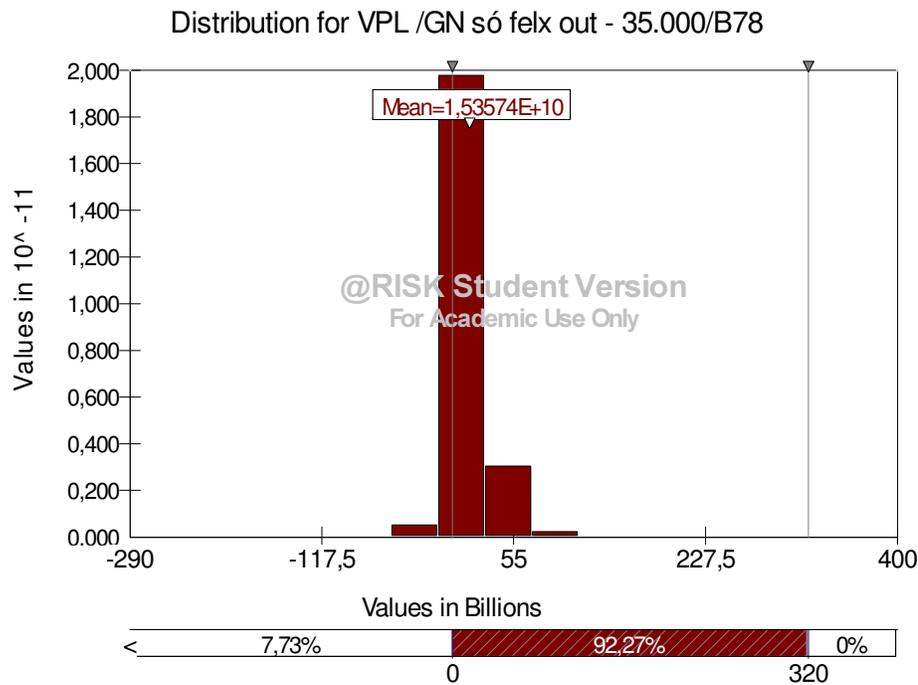


Figura 7.18: Distribuição do VPL com flexibilidade só de *output* e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Comparando o gráfico 7.16 (pág.90) com o 7.18, percebe-se que mais uma vez ocorreu uma redução dos VPLs que apresentaram valores negativos, o que justifica-se pelo fato de que com a presença da flexibilidade as perdas são minimizadas e os ganhos maximizados.

O último cenário é o que possui ambas as flexibilidades, é uma planta que a cada período vai escolher entre que *input* usar e que combinação de *output* produzir.

| Capacidade Nominal da Planta | VPL (US\$) |
|------------------------------|----------------|
| 35.000 bbl/dia | 18.254.070.000 |
| 72.000 bbl/dia | 37.873.030.000 |

Tabela 7.14: VPL das plantas com flexibilidade de *input* e *output*

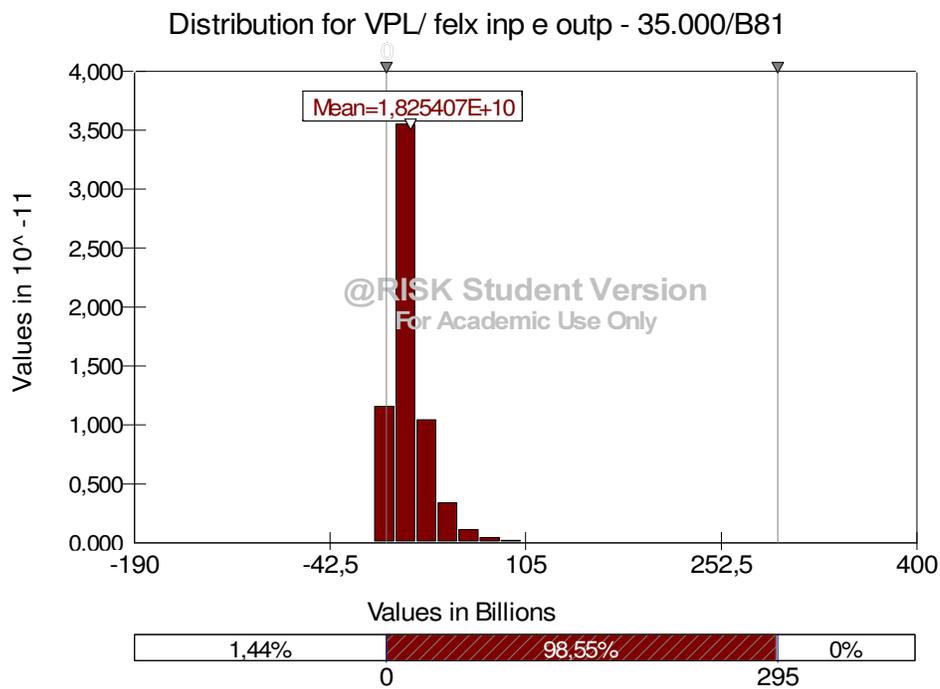


Figura 7.19: Distribuição do VPL com flexibilidade de *input* e *output* e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

O último cenário estudado é o que possui a menor porcentagem de VPL com valores negativos. Dos 10.000 caminhos simulados para os preços dos *inputs* e *outputs* somente 1,44 % (144) fizeram com que o VPL ficasse com valor negativo.

Comparando os gráficos 7.16 (pág.90), 7.17 (pág.94), 7.18 (pág.95) e 7.19 (pág.96) verifica-se que o maior percentual de VPLs com valores negativos ocorreu no cenário aonde não existia flexibilidade alguma (7.16), e conforme foram sendo introduzidas estas flexibilidades essa porcentagem foi diminuindo. O cenário aonde se verificou a menor porcentagem de VPLs negativos ocorreu no VPL com flexibilidade de *input* e *output* (7.19).

7.4.1.

Valor da opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*

Para calcular o valor da flexibilidade só de *input* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade só de *input* o VPL sem flexibilidade.

Em relação ao cálculo do valor de opção de *switch use* só dos *outputs* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade só de *output* o VPL sem flexibilidade.

E por fim, para calcular o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e dos *outputs* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade de *input* e *output* o VPL sem flexibilidade.

| Valor da opção (US\$) | 35.000 bbl/dia | 72.000 bbl/dia |
|--|----------------|----------------|
| <i>Switch use</i> dos <i>inputs</i> | 2.896.670.000 | 5.963.820.000 |
| <i>Switch use</i> dos <i>outputs</i> | 1.084.030.000 | 2.230.010.000 |
| <i>Switch use</i> dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> | 3.980.700.000 | 8.193.830.000 |

Tabela 7.15: Valor da opção de *switch* só dos *inputs*, só dos *outputs* e dos *inputs* e *outputs*

Os valores das opções de *switch* representam até quanto o investidor estaria disposto a investir para obter uma planta com essa flexibilidade, outra questão de grande importância é o gasto extra (em relação à planta sem flexibilidade alguma) que ele teria para construir essa planta. Caso o valor que a opção (de *switch use* só dos *inputs*, ou só dos *outputs* ou de ambas) agrega a planta seja maior do que o custo necessário para implementá-la é válido a construção da planta flexível, caso contrário não.

De acordo com a tabela 7.15 (pág.97), o investidor estaria disposto a gastar **US\$ 2.896.670.000** para ter uma planta que opere com GN e OP, e estaria disposto a gastar até **US\$1.084.030.000** para ter a possibilidade de a cada trimestre escolher qual a combinação de nafta, diesel, parafina e lubrificante produzir (para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia).

O cálculo do gasto extra que a Petrobrás teria na construção da planta flexível é feito da seguinte forma:

- ✚ Primeiro calcula-se o investimento necessário para a construção de uma planta sem flexibilidade (US\$ 875.000.000 distribuídos entre 3 anos, para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia) e os custos trimestrais com OPEX (US\$ 4.375.000);
- ✚ Em seguida calcula-se o investimento extra necessário para a construção da parte referente à reforma do OP;
- ✚ Por fim, subtraem-se os custos com OPEX da planta flexível, dos custos com OPEX da planta sem flexibilidade. Trazendo essa diferença a valor presente e somando o gasto adicional referente à reforma do OP obtêm-se o custo extra necessário à construção de uma planta com opção de *switch use* dos *inputs*.

No cálculo CAPEX da planta com flexibilidade a parte referente à Reforma/Beneficiamento deve ser duplicada, e a partir deste achar no novo OPEX (que para uma planta com flexibilidade será igual a 3 % do CAPEX).

| Planta flexível | | |
|------------------------------|---------------|--------------------|
| Capacidade Nominal da Planta | CAPEX (US\$) | OPEX (anual -US\$) |
| 35.000 bbl/dia | 1.531.250.000 | 61.250.000 |
| 72.000 bbl/dia | 2.520.000.000 | 100.800.000 |

Tabela 7.16: CAPEX e OPEX para uma planta com flexibilidade

A tabela a seguir ilustra os custos extras necessários para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia.

| Custo extra (US\$) | 35.000 bbl/dia | 72.000 bbl/dia |
|------------------------------|----------------|----------------|
| <i>Switch use dos inputs</i> | 967.628.531 | 1.592.440.097 |

Tabela 7.17: Custos extras na construção da planta flexível

Os custos extras da tabela dividem-se da seguinte forma, para a planta com capacidade de 35.000 bbl/dia:

- ✚ Uma parte referente ao gasto extra na construção da unidade de reforma – US\$ 656.250.000 (tabela 7.6, pg.86) e
- ✚ Uma parte referente ao gasto extra com custo operacional trazido a valor presente - US\$ 311.378.531.

Para a planta com capacidade de 72.000 bbl/dia:

- ✚ Uma parte referente ao gasto extra na construção da unidade de reforma – **US\$ 1.080.000.000** (tabela 7.6, pg.86) e
- ✚ Uma parte referente ao gasto extra com custo operacional trazido a valor presente – **US\$. 512.440.097.**

Um ponto importante no cálculo do valor das opções de *switch use* são as correlações existentes entre os preços das matérias-primas e as existentes entre os preços dos produtos finais.

As correlações são importantes, pois quanto maior for à correlação existente menor será o valor da flexibilidade. Esta relação ocorre pelo fato de que o valor da flexibilidade reside justamente na possibilidade do produtor poder trocar de um *input* para outro (no caso trocar de GN para OP ou vice versa) ou de uma combinação de produção para outra, conforme os preços destes variem. Caso em um período o GN aumente muito de preço o produtor pode operar a planta com OP, caso o preço do OP aumente ele pode operar como GN.

Uma vez que quando o preço do GN aumenta o preço do OP também aumenta (o que ocorre quando as séries são altamente correlacionadas), a flexibilidade de poder trocar de uma matéria prima para outra perde valor dado que ambos os preços ou estão elevados ou estão baixos.

Nos cálculos dos valores das flexibilidades feitos acima o valor da correlação entre os *inputs* não foi levado em conta. Porém, devido a sua grande importância para o cálculo do valor da flexibilidade, novas contas levando em esse valor serão feitas.

O valor da correlação entre o GN e o OP é da ordem de **0,836**, o que indica que os preços desses produtos variam na maioria das vezes na mesma direção.

| VPL (US\$) | Correlação entre GN e OP | | | |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | -0,5 | 0 | 0,836 (real) | 1 |
| VPL s/ flex. | 14.297.220.000 | 14.273.370.000 | 14.266.790.000 | 14.391.170.000 |
| VPL c/ flex. <i>Input</i> | 17.759.100.000 | 17.170.040.000 | 15.065.490.000 | 14.408.700.000 |
| VPL c/ flex. <i>Input e Output</i> | 18.843.130.000 | 18.254.070.000 | 16.149.520.000 | 15.492.730.000 |

Tabela 7.18: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Como pode ser visto pela tabela 7.18 o valor do VPL sem flexibilidade quase não varia conforme mudamos a correlação entre os *inputs*, o mesmo não ocorre com o valor do VPL com flexibilidade de *input*, que conforme a correlação aumenta diminui como era de se esperar.

Assim como foi feito para o caso em que não foi levada em consideração a correlação, também serão vistos os gráficos com as distribuições do VPL com e sem flexibilidade de *input* e *output*.

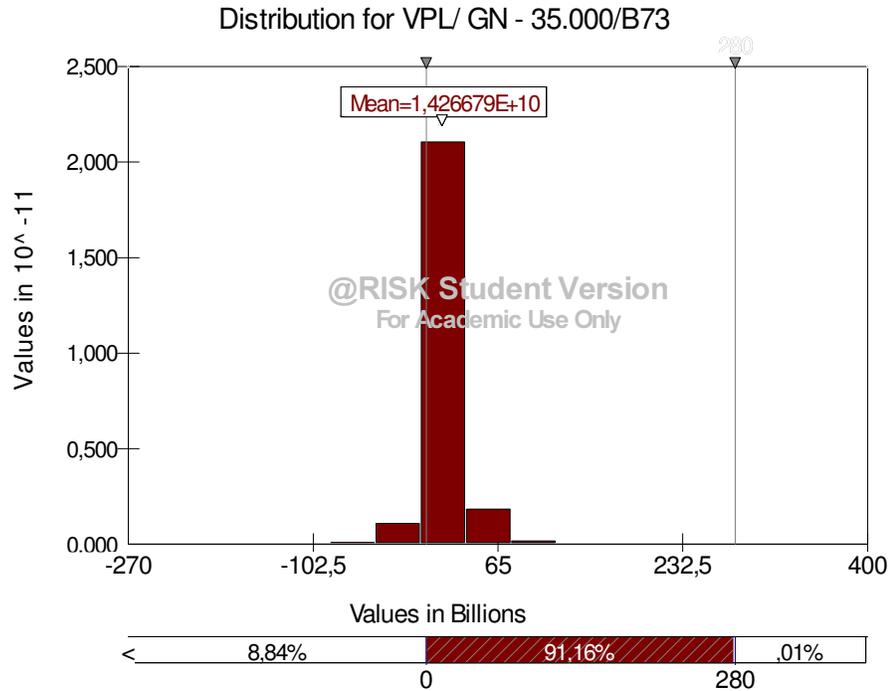


Figura 7.20: Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Comparando os gráficos 7.16 (pg.91) e 7.20 pode-se verificar que a proporção de VPLs com valores negativos para a planta sem flexibilidade quase não mudou, o que era de se esperar. Para o caso em que a correlação não foi levada em consideração essa proporção é de 8,81% e para o caso em que está foi considerada é de 8,84%.

O gráfico abaixo ilustra a distribuição do VPL com flexibilidade só de *input*.

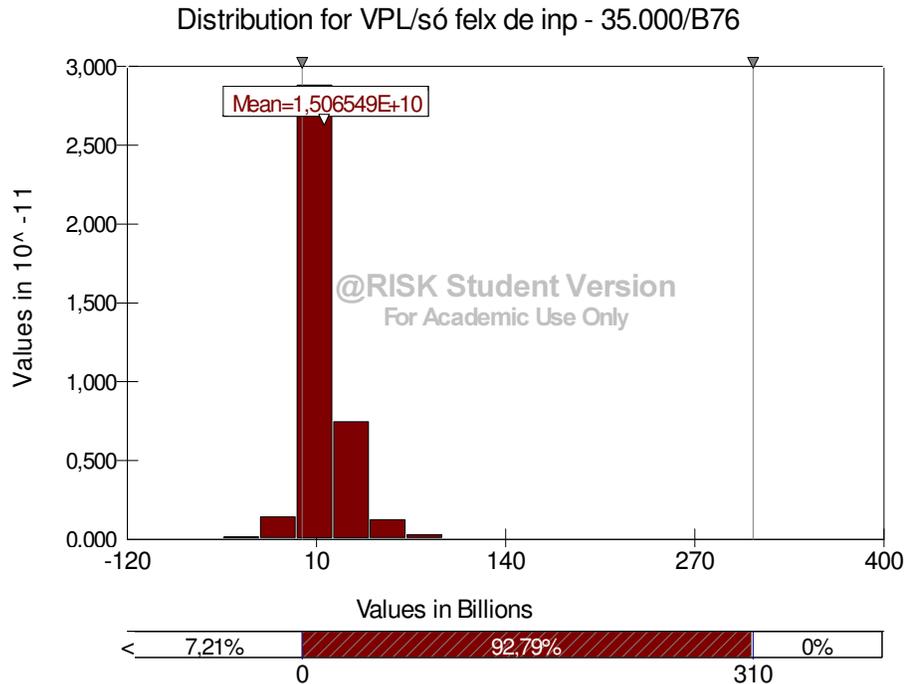


Figura 7.21: Distribuição do VPL com flexibilidade só de *input* e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Comparando-se os gráficos 7.17 (pg. 94) e 7.21 verifica-se que a porcentagem de VPL com flexibilidade só de *input* que tiveram valores negativos sofreu um aumento significativo. Isso se deve ao fato de que no gráfico 7.21 as correlações entre os *inputs* estão sendo levadas em consideração e com isso o valor desta flexibilidade se reduz.

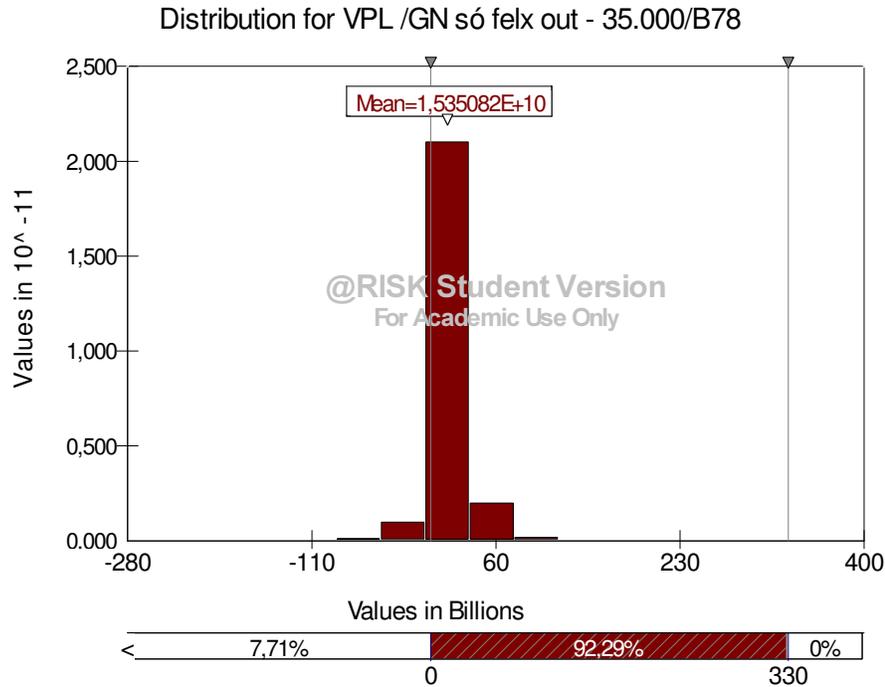


Figura 7.22: Distribuição do VPL com flexibilidade **só** de *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Uma vez que não estão sendo levadas em consideração às flexibilidades entre os *outputs* espera-se que a porcentagem de VPL com flexibilidade só de *output* que apresentaram valores negativos quase não varie. É o que pode ser verificado comparando o gráfico 7.18 (pg. 95) como o 7.22. A porcentagem de VPL com valores negativos para o caso sem correlação entre os *inputs* foi de 7,73% e no caso com correlação foi de 7,71%.

O último caso é o que possui ambas as flexibilidades ao mesmo tempo.

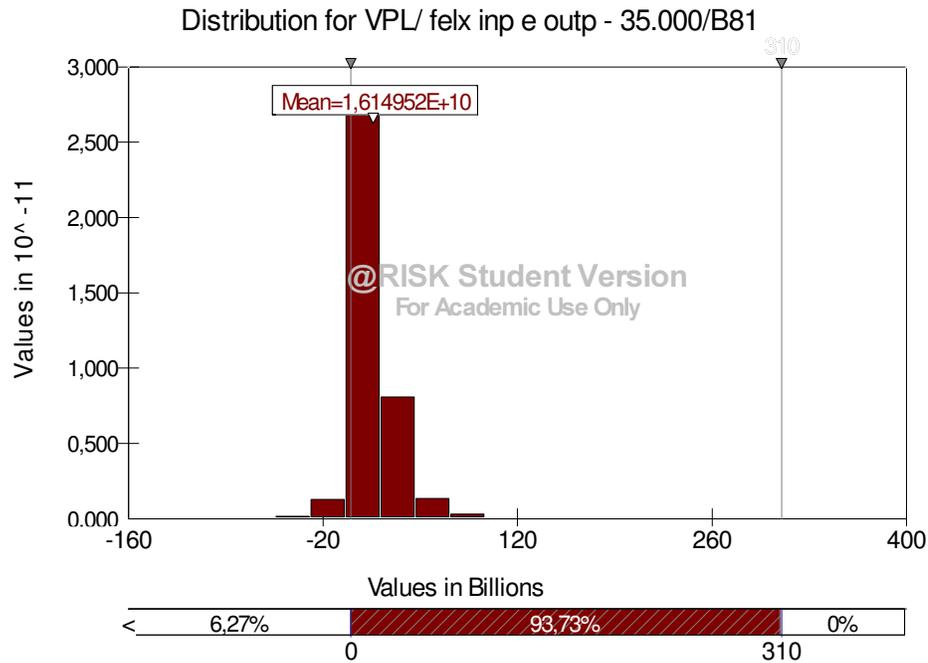


Figura 7.23: Distribuição do VPL com flexibilidade de *input* e *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

| Valor das opções de <i>switch use</i> (US\$) | Correlação entre GN e OP | | | |
|--|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | -0,5 | 0 | 0,836 (real) | 1 |
| Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i> | 3.461.880.000 | 2.896.670.000 | 798.700.000 | 17.530.000 |
| Opção de <i>switch use</i> dos <i>outputs</i> | 1.084.030.000 | 1.084.030.000 | 1.084.030.000 | 1.084.030.000 |
| Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i> + <i>output</i> | 4.545.910.000 | 3.980.700.000 | 1.882.730.000 | 1.101.560.000 |

Tabela 7.19: Valor da flexibilidade dos *inputs* para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Pode-se verificar pela análise da tabela 7.19 que o valor da flexibilidade de *output* não varia (dado que as correlações entre os *outputs* não estão sendo levadas em consideração), o mesmo não ocorre com o valor da flexibilidade de *input* que reduz conforme a correlação entre o GN e o OP aumenta.

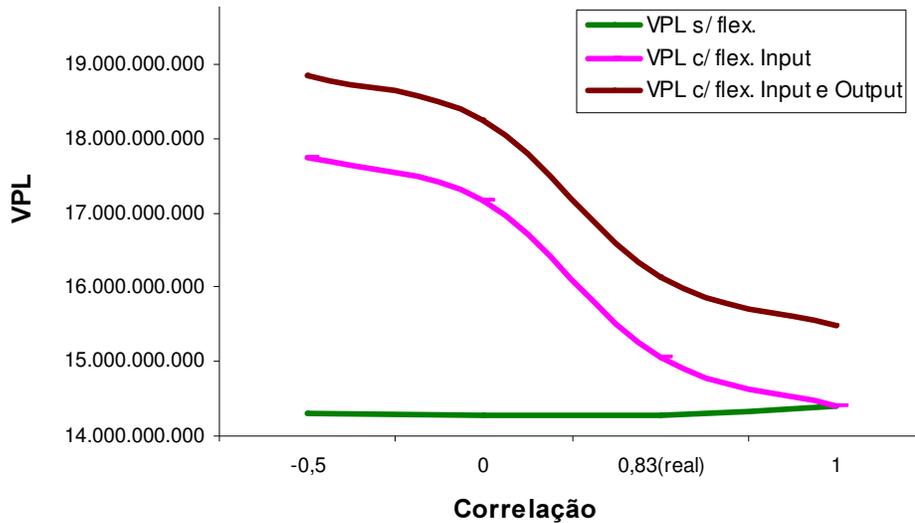


Figura 7.24: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia

Os dados da tabela 7.18 (pág.101) estão representados no gráfico 7.20, o valor do VPL com e sem flexibilidade de *input* no caso dos preços apresentarem uma correlação igual a 1 são quase iguais, ou seja, o valor da flexibilidade de *inputs* é a menor possível.

As mesmas análises podem ser feitas para uma planta com capacidade de 72.000 bbl.

| VPL (US\$) | Correlação entre GN e OP | | | |
|---|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | -0,5 | 0 | 0,836 (real) | 1 |
| VPL s/ flex. | 30.695.950.000 | 29.679.200.000 | 29.665.680.000 | 29.921.540.000 |
| VPL c/ flex. <i>Input</i> | 37.819.050.000 | 35.643.020.000 | 31.313.490.000 | 29.962.180.000 |
| VPL c/ flex. <i>Input</i> e <i>Output</i> | 40.049.050.000 | 37.873.030.000 | 33.543.490.000 | 32.192.180.000 |

Tabela 7. 20: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia

As análises feitas para a tabela 7.18 são similares às feitas para a tabela 7.20. O VPL da plana sem flexibilidade quase não varia e conforme a correlação entre os *inputs* vai aumentando o valor da opção de *swicth use* dos *inputs* vai diminuindo.

| Valor das opções de <i>swicth use</i> (US\$) | Correlação entre GN e OP | | | |
|--|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | -0,5 | 0 | 0,836 (real) | 1 |
| Opção de <i>swicth use</i> dos <i>inputs</i> | 7.123.100.000 | 5.963.820.000 | 1.647.810.000 | 40.640.000 |
| Opção de <i>swicth use</i> dos <i>outputs</i> | 2.230.000.000 | 2.230.010.000 | 2.230.000.000 | 2.230.010.000 |
| Opção de <i>swicth use</i> dos <i>inputs</i> + <i>output</i> | 9.353.100.000 | 8.193.830.000 | 3.877.810.000 | 2.270.640.000 |

Tabela 7.21: Valor da flexibilidade dos *inputs* para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia

O gráfico abaixo ilustra os dados da tabela 7.20. Para o caso da correlação entre os *inputs* ser 1 o valor dos VPL com e sem flexibilidade de *inputs* convergem.

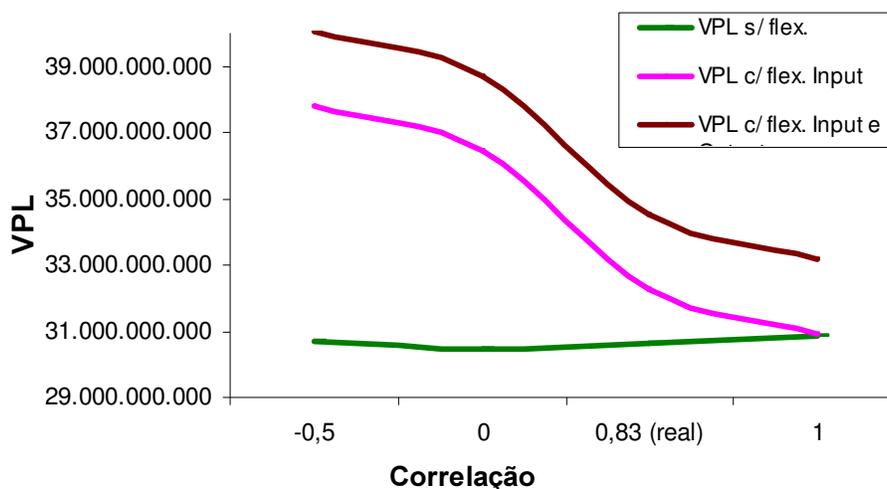


Figura 7.25: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia