

5 O modelo

Este estudo tem como objetivo analisar a implantação do projeto do complexo gás-químico, em um ambiente de incertezas, utilizando uma modelagem do fluxo de caixa do projeto sob a ótica da teoria das opções reais.

A metodologia utilizada consiste em primeiramente analisar o projeto sem considerar nenhuma opção, porém considerando que as incertezas quanto ao suprimento de GN causarão uma sub oferta deste produto, de modo que a unidade industrial tenha sempre uma escassez de suprimento de GN equivalente ao valor esperado estimado desta variável. Antes de realizar esta análise, que chamaremos de caso base, serão apresentadas as definições dos processos estocásticos das variáveis de incerteza, preço do GN ($\tilde{S}_{GN_t}$) e preço do GNL ($\tilde{S}_{GNL_t}$), como reversão a média (MRM), bem como a distribuição triangular escolhida para a variável disponibilidade de GN ($\tilde{\Omega}_t$).

Posteriormente serão apresentadas todas as premissas para a modelagem do caso base e estruturação deste fluxo de caixa (F_t) que servirá de comparação para posterior análise do projeto considerando o valor da opção de se abandonar ou não a produção, ou seja, de importar GNL para complementação do suprimento de GN para plena capacidade de produção. Devido às incertezas quanto ao preço do GNL mundial, devido a sua crescente demanda, seja em função de mudanças climáticas ou seja em função de mudanças das políticas energéticas dos países desenvolvidos, não se pode garantir que a importação de GNL sempre acrescentará valor a este projeto. Portanto, nossa proposta será verificar, em meio às variáveis modeladas, preços de GN e de GNL e da disponibilidade de GN, se a importação de GNL pode ser uma boa alternativa para viabilizar projetos industriais em um cenário de incertezas de oferta doméstica deste insumo energético.

Por fim, apresentamos um fluxo de caixa maximizado que leva em consideração todas as incertezas. Este fluxo será analisado via simulação de Monte Carlos e seus resultados apresentados no capítulo 6.

5.1.1.

Determinação do processo estocástico

Para a determinação do processo estocástico a ser utilizado na modelagem dos preços de gás natural e GNL, realizamos o teste de identificação de raízes unitárias de Dickey e Fuller (1979), chamado de ADF (*AugmentedDickeyFuller*). Segundo Brooks (2008), o ADF é utilizado para a análise de estacionariedade da série de dados, e consiste em avaliar se as propriedades estatísticas (média, variância e covariância) da série de preços estudada são constantes durante longos períodos de tempo. Numa série estacionária, os efeitos de choques econômicos se dissipam com o tempo, não permanecendo na série nos períodos seguintes, fazendo com que a série sempre retorne a um determinado nível de equilíbrio. Este comportamento está diretamente ligado com as séries autorregressivas ou de reversão a média, e pode ser comprovado pela inexistência de raízes unitárias em intervalos longos de tempo.

O teste parte da realização da regressão sobre a equação: $x_t = a + bx_{t-1} + \varepsilon_t$, e verificando se a hipótese nula (H_0) de que $b = 1$, se conclui que a equação terá ao menos uma raiz unitária e segue um caminho aleatório, ou seja, não é estacionário. Portanto, para se determinar que a série segue o MRM devemos rejeitar a hipótese nula no teste de raízes unitárias.

De outra forma, ao reescrever essa equação, subtraindo-se x_{t-1} de ambos os lados, chega-se a $x_t - x_{t-1} = a + (b - 1)x_{t-1} + \varepsilon_t$, para então verificar a hipótese nula de que $(b - 1) = 0$, o que equivale a $b = 1$. Assim, rejeitando-se H_0 : a equação contém uma raiz unitária (não sendo estacionária), temos que a aceitação da hipótese H_1 : a série é estacionária e portanto, não possui raiz unitária.

Utilizando o software Eviews, foi realizado o teste ADF sobre as séries de preços mensais de gás natural (GN) e de gás natural liquefeito (GNL) atualizadas para os preços atuais, tomando como base o período de setembro de 2013. Explicaremos com mais detalhes a utilização do índice atualização das séries de preços, bem como suas modelagens no subitem 0. Na Figura 1 apresentamos o

gráfico contendo a série histórica das séries de preços em US\$/MM Btu de gás natural e do GNL utilizadas na análise desenvolvida neste estudo, do período de janeiro de 2000 até setembro de 2013.

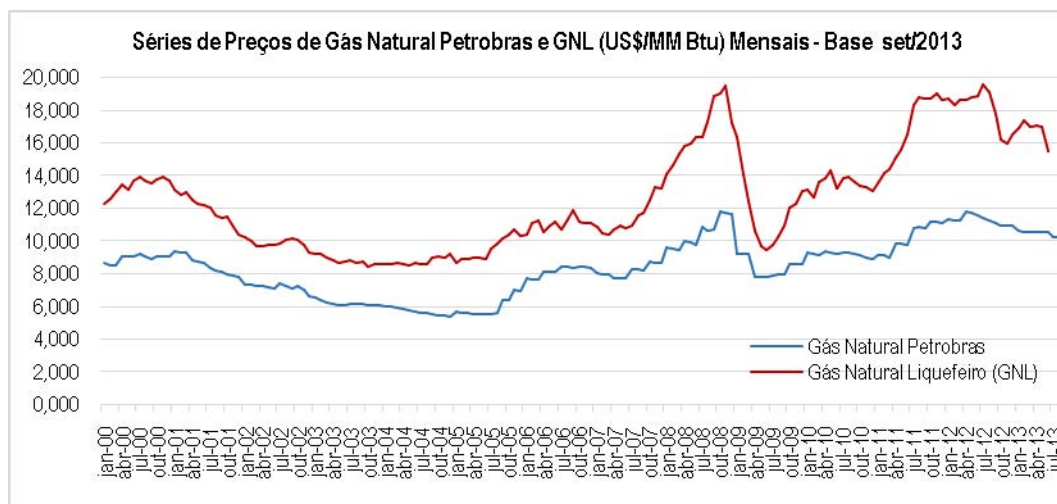


Figura 1: Série de Preços de Gás Natural e GNL a preços de 2013 (US\$/MMBtu)
Fonte: Petrobras

Para ambas as séries, o teste realizado nos preços não obteve rejeição da hipótese nula em nível de significância inferior a 10%, como pode ser observado na coluna GN 2013 (level) da Tabela 1, referente aos preços de Gás Natural, e na coluna GNL2013 (level) da Tabela 2, referente ao logaritmo dos preços de GNL. Dixit e Pindyck(1994) comenta sobre a dificuldade em se rejeitar a hipótese nula de uma série que segue um caminho aleatório de reversão a média (MRM), e provam que somente para série longas de preços de petróleo, de 120 anos, se consegue obter a rejeição do teste ADF.

Null Hypothesis: GN2013 has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=30)		
		GN 2013 (level)
		t-Statistic Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-1,799447 0,3798
Test criticalvalues:	1% level	-3.471.192
	5% level	-2,87938
	10% level	-2,576361

Tabela 1: Teste de Raiz Unitária (ADF) do logaritmo (em nível e da primeira diferença) dos preços de Gás Natural

Fonte: Própria

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: LOGGN2013 has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=30)		
		GNL 2013 (level)
		t-Statistic
		Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-2,235533 0,1947
Test criticalvalues:	1% level	-3,471719
	5% level	-2.879.610
	10% level	-2.576.484

Tabela 2: Teste de Raiz Unitária (ADF) do logaritmo (em nível e da primeira diferença) dos preços de GNL

Fonte: Própria

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Apesar dos resultados obtidos nos testes de estacionariedade não indicarem que as séries de preços de gás natural e GNL possuem propriedades estatísticas de séries estacionárias, pode-se assumir que as características microeconômicas dessas commodities energéticas admitem um processo de reversão à média. Adicionalmente, levamos em consideração alguns exemplos acadêmicos de autores que encontraram as mesmas propriedades ao modelarem preços de gás natural e GNL, como o de Abadie e Chamorro (2008), que apresentaram a análise de projetos que utilizavam como o gás natural e GNL como principais insumos e aplicaram um modelo de reversão à média, e Wang e Li (2010) que avaliou uma planta de fertilizante, modelando preços de gás natural com modelo MRM. Também consideramos uma análise visual das séries de preços, apresentada na Figura 1, que aparenta não indicar um processo explosivo para estas variáveis como seria o caso de seguir um Movimento Geométrico Browniano.

Desta forma, devido aos sinais de que os preços do gás natural e do GNL no longo prazo reverterem para um determinado nível de equilíbrio e de que suas propriedades estatísticas se mantêm constantes, optou-se pela modelagem pelo Movimento de Reversão à Média (MRM), tanto para os preços de GN quanto para os preços de GNL. Para evitar a utilização de preços negativos, foi ainda adotado o MRM geométrico conforme proposto por Schwartz (1997), que será descrito no subitem 0.

5.1.2.

O modelo de reversão à média

O modelo de reversão à média escolhido para este estudo foi o modelo de um fator de Schwartz (1997), que utiliza um MRM geométrico devido à vantagem de se trabalhar com o logaritmo natural ($\ln$) dos preços, ao invés dos preços dos ativos diretamente. O modelo de um fator de Schwartz (1997) é representado pela seguinte equação, cuja variável estocástica modelada é denotada por S (*Stock*):

$$dS = \eta [\alpha - \ln(S)] S dt + \sigma dz \quad (0.1)$$

É necessário descrever o processo aritmético correspondente assumindo que $x = \ln(S)$, segundo lema de Ito, para obter o processo estocástico de dx :

$$dx = \left[\frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial x}{\partial S} \eta (\ln(\bar{S}) - \ln(S)) S + \frac{\partial^2 x}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right] dt + \frac{\partial x}{\partial S} \sigma S dz \quad (0.2)$$

Onde:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial x}{\partial S} = \frac{1}{S}; \quad \frac{\partial^2 x}{\partial S^2} = -\frac{1}{S^2}$$

Substituindo as derivadas acima na Equação (0.2), se obtém:

$$dx = \eta \left(\ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} \right) - \ln(S) dt + \sigma dz \quad (0.3)$$

Como $x = \ln(S)$ e $\bar{x} = \ln(\bar{S}) - \sigma^2/2\eta$, pode-se ver que a Equação (0.3) é o mesmo modelo aritmético de fator único da Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, ou seja, o modelo de Ornstein Uhlenbeck (OU), sendo que se utiliza o logaritmo natural dos preços $x = \ln(S)$, pois é assumido que os preços de *commodities* tem distribuição log-normal, o que é conveniente para que S não seja negativo, uma vez que $S = \exp(x)$. Pela propriedade de log-normalidade do processo de S_t , pode-se escrever:

$$E[S_t] = \exp \left[E(x_t) + \frac{\text{var}(x_t)}{2} \right] \quad (0.4)$$

O valor esperado do modelo de fator único de Schwartz (1997) é dado por:

$$E[S_t] = \exp \left\{ \ln(S_{t_0}) e^{-\eta(t-t_0)} + \left[\ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} \right] (1 - e^{-\eta(t-t_0)}) + \frac{\sigma^2}{4\eta} (1 - e^{-2\eta(t-t_0)}) \right\} \quad (0.5)$$

Sendo:

$$x_t = \ln(S_t) \text{ ou } S_t = e^{x_t} \text{ e } \bar{x} = \ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta}$$

Substituindo x_t e $\bar{x}$ nas Equações **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, obtém-se assim a Equação(0.6)de discretização real do modelo:

$$S_t = \exp \left\{ \ln[S_{t-1}]e^{-\eta\Delta t} + \left[\ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} \right] (1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \right\} \quad (0.6)$$

A estimação de parâmetros do modelo de reversão à média geométrico é detalhada em Bastian-Pinto (2009) e, assim como no modelo de Ornstein Uhlenbeck, parte de uma série temporal x_t , escrita pela equação da variável x :

$$x_t - x_{t-1} = \bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t}) + (e^{-\eta\Delta t} - 1)x_{t-1} \quad (0.7)$$

Ao substituir $x_t = \ln(S_t)$ e $\bar{x} = \ln \bar{S} - \sigma^2/2\eta$ na equação acima, chega-se à equação que será utilizada na regressão para estimação dos parâmetros:

$$\ln(S_t/S_{t-1}) = \underbrace{(1 - e^{-\eta\Delta t})(\ln \bar{S} - \sigma^2/2\eta)}_a + \underbrace{(e^{-\eta\Delta t} - 1)}_{b-1} \ln S_{t-1} \quad (0.8)$$

$$\text{Ou: } \ln(S_t/S_{t-1}) = a + (b-1) \ln(S_{t-1})$$

Os parâmetros do processo devem ser estimados após a realização da regressão linear sobre as séries $\ln(S_t)$ e $\ln(S_{t-1})$, que definirá os parâmetros requeridos na Equação (0.8):

$$\eta = \ln(b)/\Delta t \quad (0.9)$$

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln b}{(b^2 - 1)\Delta t}}, \text{ sendo } \sigma_\varepsilon \text{ o erro padrão da regressão} \quad (0.10)$$

Essas expressões de η e σ são similares àquelas do modelo Ornstein Uhlenbeck. A diferença em relação àquele modelo estará na média de longo prazo $\bar{S}$.

Na Equação (0.8), $a = (1 - e^{-\eta\Delta t})(\ln \bar{S} - \sigma^2/2\eta)$. Com a relação já determinada $1 - b = 1 - e^{-\eta\Delta t}$, obtém-se:

$$\bar{S} = \exp \left[\frac{a}{(1-b)} + \frac{\sigma^2}{2\eta} \right] \quad (0.11)$$

Neste modelo, o nível de reversão de longo prazo depende tanto da volatilidade quanto da velocidade de reversão do processo. Dessa forma, substituem-se os valores de η e de σ , para se obter $\bar{S}$:

$$\bar{S} = \exp \left[\left(a + \frac{\sigma^2}{(1+b)} \right) / (1-b) \right] \quad (0.12)$$

Ao observar a Equação (0.5) do valor esperado, pode ser visto que quando $T = t - t_0 \rightarrow \infty$:

$$E[S_{T \rightarrow \infty}] \rightarrow \exp \left[\ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{4\eta} \right] = \bar{S} \exp \left[-\frac{\sigma^2}{4\eta} \right] \quad (0.13)$$

Assim, o valor esperado de S_t não converge para $\bar{S}$, mas para $\bar{S} \exp[-\sigma^2/4\eta]$, como observado por Bastian-Pinto (2009). Esta consideração pode levar a um valor esperado divergente do cálculo analítico e representa uma limitação do modelo aplicado.

Por último, para se chegar à equação de simulação neutra ao risco do modelo de Schwartz, subtrai-se o prêmio de risco normalizado da média de longo prazo $\bar{x} = \ln \bar{S} - \sigma^2/2\eta$.

$$S_t = \exp \left\{ \ln[S_{t-1}] e^{-\eta \Delta t} + \left[\ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} - \frac{\mu - r}{\eta} \right] (1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \right\} \quad (0.14)$$

O termo $\mu - r/\eta$ é a única alteração comparando-se com a equação ajustada ao risco. O prêmio de risco é calculado por procedimento numérico, descrito em Bastian-Pinto (2009).

Maiores detalhes referentes ao cálculo dos parâmetros e ao uso de modelos de reversão à média para apreçamento de opções, sugere-se checar Schwartz (1997) e Bastian-Pinto (2009).

5.2.

Análise de incertezas e definição de parâmetros

O projeto do complexo Gás-químico possui diversas fontes de incertezas, dentre elas o preço dos insumos, o mercado e o preço dos produtos gerados pela planta, o CAPEX (*capital expenditures*), dentre outros. Decidimos focar os estudos nas incertezas relacionadas ao preço e à disponibilidade do insumo energético da planta, em razão da sua importância para o projeto do cenário atual da oferta de gás natural no país.

Escolhemos uma série de preços de gás natural praticada no Brasil como variável estocástica que será utilizada na modelagem de Monte Carlo como principal custo para o projeto, e é dado em US\$/MMBtu. Outra série estudada foi a média de preços de GNL mundialmente comercializada, para representar o custo do insumo importado, quando houver insuficiência da oferta interna de gás natural. Para analisar a disponibilidade de gás natural, extraímos uma série de disponibilidade (em percentagem) utilizando os dados de oferta e demanda de gás natural publicado nos boletins mensais de acompanhamento da indústria de gás natural, publicado pelo Ministério de Minas e Energia, e modelamos ela com uma distribuição adequada ao seu histórico. Os preços dos produtos comercializados bem como os demais dados foram considerados no modelo como determinísticos, e serão detalhados nos subitens abaixo.

5.2.1.

Modelagem do preço de gás natural e GNL

O preço de gás natural no Brasil basicamente é composto por duas parcelas: pelo preço da *commodity* (também chamada de molécula livre ou parcela variável), e pelo preço da tarifa de transporte (chamada de parcela fixa), regulada pela ANP. O preço da *commodity* é influenciada pelo custo do gás importado, seja ele de origem boliviana, argentina ou GNL importado, o custo do GN de origem nacional, e também é influenciado pelos preços de GN repassados às termelétricas através do PPT (Programa Prioritário de Termelétricas), criado no ano 2000.

Diferentemente do mercado americano, que possui contratos futuros de gás natural, negociados na Bolsa de Mercadorias de Nova Iorque (NYMEX), no Brasil não existe um mercado maduro para a comercialização de GN em Bolsa. O preço da *commodity* de GN no Brasil é negociada diretamente entre as partes,

sendo atualizada trimestralmente com base nos reajustes da cesta de óleos combustíveis e do câmbio, o preço da tarifa de transporte definida pela ANP e atualizada pela inflação (ANP, 2010a).

Neste estudo foi analisada a série histórica mensal do preço de GN repassados a uma distribuidora estadual de GN, já composto pela parcela commodity e de transporte, de janeiro de 2000 a setembro de 2013, obtida internamente na PETROBRAS. A série de preços de GN é apresentada na

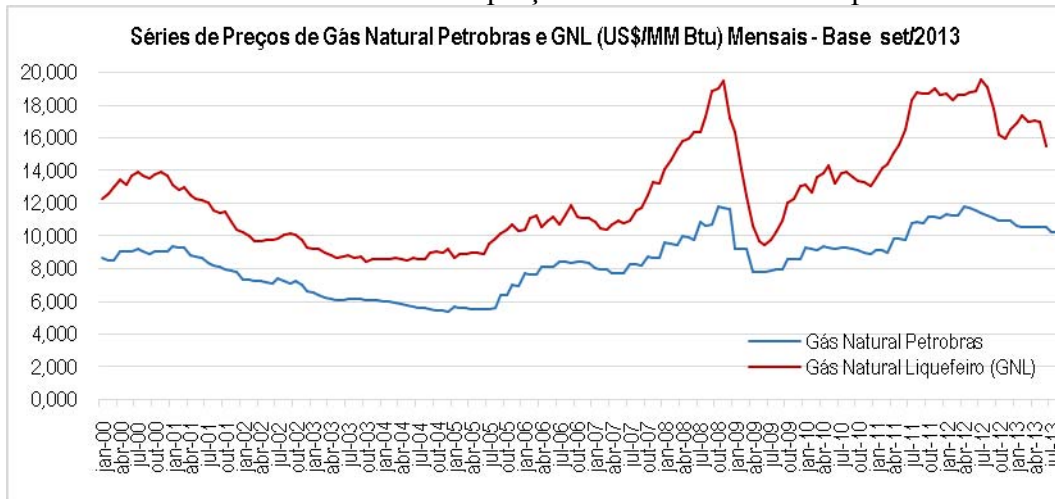


Figura 1 em dólares por milhões de unidades térmicas britânicas (US\$/MMBtu), em conjunto com a segunda variável estocástica do modelo, preços de GNL.

O mercado de GNL é, em todo o mundo, predominantemente regional, ou seja, os países exportadores se dedicam ao atendimento dos países importadores mais próximos, apesar das recentes reduções de custos nesta modalidade de transporte. O comércio de GNL tradicionalmente utiliza contratos de longo prazo como forma de mitigar os riscos oriundos de sua indústria, que possui um elevado custo de transação, com altos níveis de especificidades de ativo, incerteza e frequência. Dessa forma, a estrutura que melhor se adapta a esta indústria é a híbrida, utilizando o contrato de longo prazo como seu principal instrumento de minimização de custo de transação. Jensen (2004) constata que nenhum novo projeto relacionado à indústria de GNL foi lançado sem pelo menos estar protegido por um contrato de longo prazo, até aquele ano.

Entretanto, com a diminuição dos custos de transação de GNL, acrescido do aumento e da diversificação das fontes de oferta de GNL, em conjunto com a flexibilização introduzida recentemente na estrutura da indústria de gás natural de muitos países (quebra de monopólio), criaram um ambiente de negociação de cargas de GNL no curto prazo, que vem se expandindo ano após ano.

De toda forma, os preços vinculados ao GNL são determinados por contratos de longo prazo e por uma pequena parcela de negociação bilateral de curto prazo, não havendo informação de comercialização disponível em bolsa de valores para ser utilizada neste estudo. Portanto, foram utilizados dados históricos extraídos da Bloomberg de comercialização de GNL no Japão. Decidiu-se utilizar esta série devido à consistência dos dados e ao histórico fornecido desde anos 2000. Como o Japão possui um peso relativo nas importações de GNL mundiais, a série utilizada possui uma boa representação, visto que o Japão importa GNL de diversos países, incluindo aqueles localizados na Bacia do Atlântico (Rússia, Estados Unidos, Trindade e Tobago etc).

A partir das escolhas das séries históricas a serem utilizadas como base deste estudo e da definição do processo estocástico mais adequado às séries, definido no subitem 0, foi realizada uma atualização dos valores das séries com base nos preços de setembro de 2013, através do índice de IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado), publicado pelo FGV.

Faz necessário neste momento explicar a razão pela qual se utilizou um índice de inflação nacional para série de preços em dólares. Em primeiro lugar, a série de preços do gás natural é nacional, obtida internamente na Petrobras e, apesar de ser apresentada em dólares contém componente de custos nacionais, o que torna coerente a aplicação de um índice de inflação nacional. Entretanto, a série de preços de GNL possui componente de custos do Japão, o que justificaria a aplicação de um índice internacional, como o CPI (*Consumer Price Index*). Julgou-se necessário a utilização de um único índice de inflação para ambas as séries e, portanto ambas as taxas foram testadas para realizar a correção de preços nas séries históricas.

Apesar de o CPI aparentemente parecer ser a taxa mais adequada para o estudo, os resultados aplicados ao modelo mostraram que a correção das séries pelo IGP-M se mostrou melhor, tendo em vista que os parâmetros de médias de longo prazo e velocidades de reversão à média admitiram valores mais próximos da realidade quando esta taxa foi utilizada. Quando o CPI foi utilizado, as médias de longo prazo das séries ficaram cerca de 4 vezes maiores das apresentadas nas Tabelas 12 e 13, enquanto que as velocidades de reversão à média ficaram 3 vezes menores, se distanciando muito da realidade atual destas séries de preços. Isto

justificou a utilização do índice de preços IGP-M para o estudo em desenvolvimento.

Os parâmetros requeridos para a modelagem das duas séries de preços foram calculados a partir da obtenção dos termos a e $(b-1)$ definidos na Equação (0.8), a partir de uma regressão, onde variável dependente foi definida como $\ln(S_t / S_{t-1})$ e a variável independente $\ln(S_{t-1})$. Posteriormente, com os dados obtidos na regressão, foram calculados os demais parâmetros apresentados na Tabela 3, para a série de preços de GN e na Tabela 4 para os preços de GNL.

S_{GN_t}	S_{GN}	η		σ	
US\$/MMBtu	US\$/MMBtu	Mensal	Anual	Mensal	Anual
10,55	9,45	0,013	0,156	3,88%	13,44%

Tabela 3: Parâmetros para a série de preços de GN

Fonte: Própria

S_{GNL_t}	S_{GNL}	η		σ	
US\$/MMBtu	US\$/MMBtu	Mensal	Anual	Mensal	Anual
15,52	15,03	0,011	0,132	4,20%	14,55%

Tabela 4: Parâmetros para a série de preços de GNL

Fonte: Própria

A velocidade de reversão η , assim como a volatilidade do processo σ , foram calculadas a partir das Equações (0.9) e (0.10), respectivamente. Em seguida, foram calculados os níveis de equilíbrio de longo prazo, $\bar{S}_{GN}$ para a série de GN e $\bar{S}_{GNL}$ para a série de GNL, obtidos pela Equação (0.11). Com relação aos preços *spots*, na data zero (S_{GN_0} e S_{GNL_0}), estes foram extraídos do período de junho de 2013 das séries de GN e de GNL. Também se calculou a correlação entre as duas séries, sendo $\rho = 0,9540$. Esta alta correlação é explicada pela relação produtiva entre ambos os combustíveis, conforme detalhado no Capítulo 3.

Para a série de GNL tivemos que acrescentar custos adicionais referentes às atividades de regaseificação e transporte terrestres do GNL importado. Não acrescentamos o custo de frete, pois a série de GNL importado para o Japão já contém este custo. Os custos foram retirados do Plano Decenal de Expansão de Energia 2022, são determinísticos e constantes em todos os anos, sendo o custo de

regaseificação de US\$ 0,73/MMBtu e o custo de transporte em gasoduto médio de US\$ 0,50/MMBtu (MME, 2013b).

5.2.2. Modelagem da disponibilidade de gás natural

Para modelarmos a disponibilidade de gás natural para a unidade industrial em questão, extraímos os dados de demanda total de gás natural e cruzamos com os dados de oferta, de modo a determinar o quanto da demanda nacional era fornecida pela importação de GNL.

Todos os dados foram extraídos dos boletins mensais de acompanhamento da indústria de gás natural, publicado pelo Ministério de Minas e Energia, em bases mensais na unidade de milhões de m³/dia, do período de janeiro de 2009 a julho de 2013. Utilizou-se o seguinte cálculo para gerar uma série que representasse a disponibilidade de GN que uma unidade industrial teria a sua disposição, sem a necessidade de importação de GNL, representada pela letra Ω :

$$Disponibilidade\ de\ GN(\Omega) = 1 - \frac{Importação\ de\ GNL}{(Consumo\ Aparente - Consumo\ GEE)} \quad (0.15)$$

Onde o *Consumo Aparente* representa o consumo total doméstico nacional, o *Consumo GEE* representa todo o consumo de GN destinado às termelétricas para a geração de energia elétrica, e a *Importação de GNL*, representa o volume de GNL importado, introduzido nos gasodutos brasileiros. Decidiu-se não considerar o consumo aparente total, deduzindo a parcela dedicada à geração de energia elétrica, devido a sua prioridade no abastecimento.

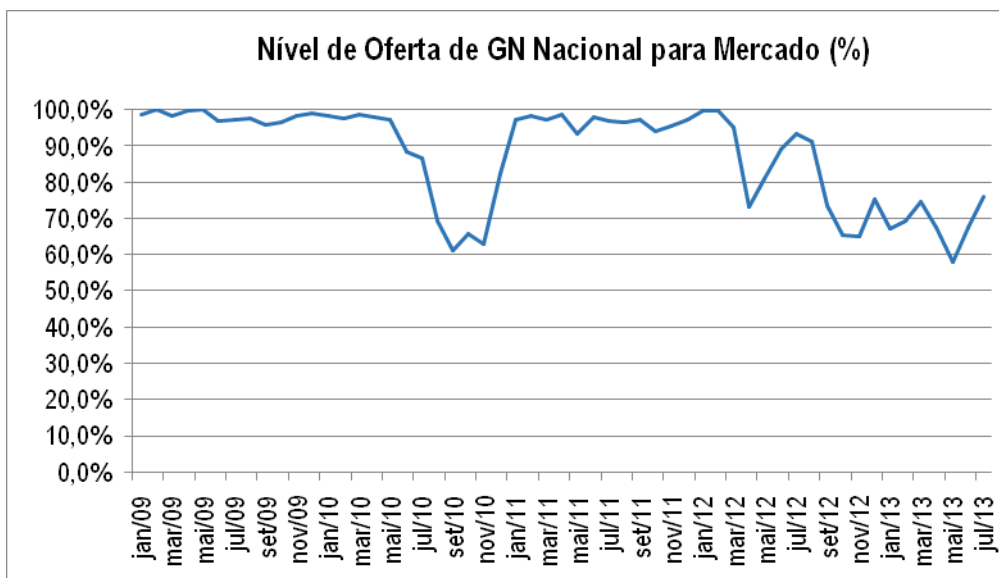


Figura 2: Série de disponibilidade de GN

Fonte: Boletins mensais de acompanhamento da indústria de gás natural (MME)

Posteriormente, realizamos uma análise para verificar qual distribuição melhor representaria esta série, utilizando recursos do software @Risk. Os resultados mostraram que a série se adequava a uma série triangular, cujo valor mínimo de 54,65%, e valores mais provável e máximo de 100%.

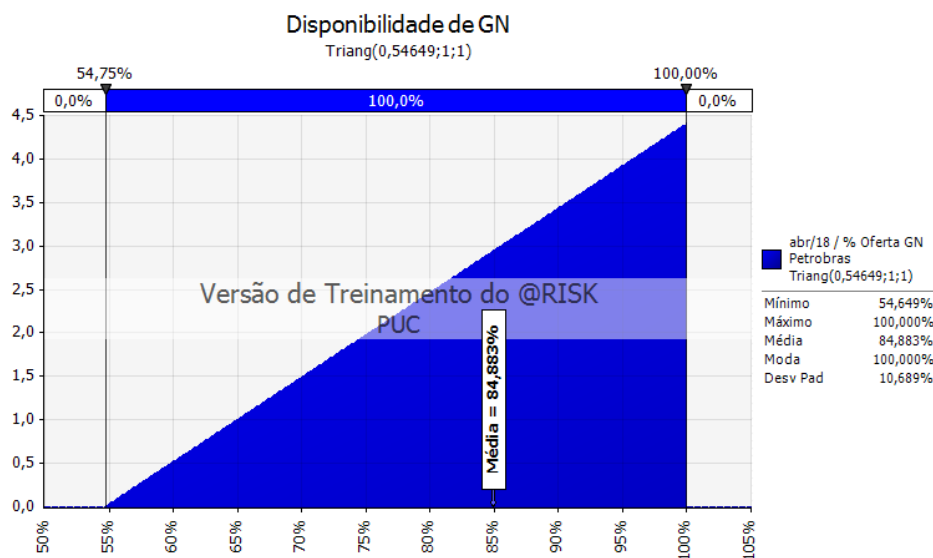


Figura 3: Modelagem da série de disponibilidade de gás natural.

Fonte: Petrobras

Entretanto, esta planta industrial contém uma restrição operacional, na qual a mesma interrompe as suas operações quando o fornecimento de GN é inferior a

60% do requerido para plena operação e, portanto, consideramos a mesma restrição na modelagem da série de disponibilidade de GN. Esta restrição pode ser garantida via cláusula de contrato que estabelece suprimento mínimo para a planta, e pode ser firmado junto com a distribuidora local de GN.

5.3.

Premissas do projeto

Conforme apresentado no Capítulo 4, o estudo apresenta uma análise de investimento de uma unidade denominada Complexo Gás-químico, que apresenta condições de incertezas quanto ao suprimento de GN para a planta. Este é o principal insumo da unidade industrial que consome 3,5 MM Nm³/dde GN para a produção de metanol, ureia, melamina, ácido acético e ácido fórmico, para o abastecimento do mercado doméstico, conforme as capacidades apresentadas na

Erro! Fonte de referência não encontrada..

Para implantação deste complexo estima-se que o investimento (CAPEX) seja de US\$ 3,1 bilhões (ANDA, 2013), distribuídos ao longo de 4,5 anos referente ao período de construção do Complexo. O ciclo de vida de uma unidade de produção de fertilizantes é de 25 anos, portanto, a análise considerou o período inicial de construção da unidade somados ao período operação, desta forma a análise contempla um período de 29,5 anos.

O valor referente ao custo de aquisição da área em que o projeto será construído, não foi considerado no CAPEX, pois trata de uma doação, fruto de uma negociação entre o estado e a Petrobras. Consideramos uma taxa de depreciação de 10% a.a., ao longo de 10 anos, pois enquadramos este ativo como uma instalação industrial, conforme o Anexo II da Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998.

A receita total considerada neste projeto é composta pela receita de venda de cada um dos produtos fabricados pela unidade. Todos os produtos possuem preços no mercado interno com paridade de importação, ou seja, os preços praticados no mercado doméstico consideram o preço do produto importado acrescido de custos logísticos mais custos com impostos e outras taxas. Portanto, consideramos para o cálculo da receita total ainda os impostos de PIS/COFINS e

ICMS que incidem sobre os produtos comercializados nacionalmente. Detalhes da composição da receita total estão no item 0.

A alíquota de imposto de renda considerada foi de 34%, sendo 25% referente ao Imposto de Renda - Pessoa Jurídica (IRPJ) e 9% referente a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL).

O valor dos custos operacionais (OPEX) da unidade, foram estimados em 10% da receita bruta, não incluindo o custo com o GN. O custo com GN é a principal fonte de incerteza do projeto e foi modelado segundo o processo estocástico de reversão a média apresentado no item 0 e será uma das variáveis analisada posteriormente na simulação de Monte Carlo. Utilizou-se outra variável de incerteza no modelo, descrita no item 0, que representa a disponibilidade de gás natural para a unidade industrial. As duas variáveis compõem as fontes de incertezas modeladas nesta análise e também utilizadas no fluxo de caixa determinístico do projeto, o qual denominamos também de caso base do projeto.

Para o caso base, consideramos os valores esperados das variáveis modeladas (preço de GN e disponibilidade de GN). Consideramos ainda como custo de capital a taxa de 8,49% a.a. e a taxa livre de risco de 3,86% a.a. em termos reais, como será detalhado no item 0.

Considerando o custo de implantação do projeto (CAPEX), o fluxo de caixa determinístico do projeto F_t é uma função da receita bruta de venda dos produtos gás-químicos (R_b), impostos sobre os produtos PIS/COFINS e ICMS do custo do GN (C_{GN}) e a taxa de disponibilidade de GN, $\bar{\Omega}$, dos demais custos de produção (C_p), alíquota de imposto de renda T , e depreciação D , como demonstrado na Equação (0.16).

$$F_t = \left\{ \bar{\Omega}_t * \left[R_b * (1 - PIS / COFINS - ICMS) - \bar{C}_{GN_t} \right] - C_{p_t} D \right\} * (1 - T) + D - CAPEX \quad (0.16)$$

Onde:

$$\bar{C}_{GN_t} = \bar{S}_{GN_t} * Consumo_{GN} / 26,81 \quad (0.17)$$

O custo de GN é determinado pelo seu preço, modelado na variável S_{GN_t} , dada em U\$/MMBtu, multiplicado pelo consumo de GN da unidade industrial, de 3,5 MM Nm³/d, dividido pela taxa de conversão de m³/MMBtu, 26,81. Além disso, ambos o custo como a receita bruta estão submetidos a disponibilidade de GN, conforme indicado na Equação (0.17).

Utilizando essas premissas listadas no item 0, foi determinado o fluxo de caixa determinístico do projeto com frequência mensal, sem incluir a análise das opções reais deste investimento. Posteriormente, foi avaliada a opção real disponível, analisando a flexibilidade de importação de GNL quando o custo desta operação gerava aumento de valor para o projeto para atingir a plena capacidade de produção do projeto.

5.3.1.

Cálculo da receita do projeto

Os preços dos produtos fabricados no Projeto do Complexo foram estimados com base nos seus preços internacionais. Devido ao enfoque deste estudo nas incertezas relacionadas ao suprimento da unidade industrial, optou-se por estimar uma receita através de preços determinísticos e constantes ao longo do período analisado para cada produto. Todos os preços dos produtos foram estimados em dólar por tonelada (US\$/ton).

Utilizou-se como base uma metodologia chamada de paridade importação, que considera que os preços domésticos devem ter preços equivalentes ao produto importado, pois caso os preços sejam superiores, o comprador irá preferir a importação em detrimento ao produto comercializado no mercado interno. Chama-se de preço internalizado o preço do produto importado FOB (*Freeonboard*), fornecido pelo MDIC através do site Aliceweb, acrescido dos custos de importação para cada mercadoria até o porto. Para a retirada do porto, o comprador ainda precisa acrescentar ao preço internalizado outros três impostos: o PIS, o COFINS, e o ICMS. Objetivou-se, com isso, utilizar na avaliação do projeto preços competitivos aos preços praticados no mercado exterior.

Custos de Internação (US\$/ton)

	Ureia	Metanol	Melamina	Ácido Fórmico	Ácido Acético
Preço FOB	462	393	1.434	1.126	867
Frete marítimo	32	39	87	79	67
Preço CIF	494	432	1521	1205	934
Seguro para Perdas	4	3	12	10	7
Capatazias	9	8	27	22	17
Armazenagem	14	20	2	20	30
AFRMM	8	0	22	22	17
Imposto Importação	0	0	31	145	112
Preço Internalizado	529	463	1615	1424	1117
Preço Internalizado/FOB	15%	18%	13%	26%	29%

Tabela 5: Composição dos preços internados dos produtos

Fonte: AliceWeb

Para a composição do preço final dos produtos, que considera o preço internalizado acrescido de um spread mais impostos, calculou-se inicialmente os preços CIF (*Cost, Insurance and Freight*), conforme apresentado na Tabela 5, que são compostos pelo preço FOB adicionado de seguro e frete marítimo.

Posteriormente, foram somados os demais custos logísticos, impostos e tributos, como o AFRMM (Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante), que incide sobre o frete marítimo, seguro para perdas, capatazias, e imposto importação, que incidem sobre o preço CIF dos produtos. Os custos de armazenagem são calculados sobre o volume importado e varia de porto para porto, contudo, foram considerados custos médios praticados no Brasil. Os preços internalizados são apresentados na penúltima linha da Tabela 5, entretanto, esses preços não estão acrescidos os impostos PIS/COFINS e ICMS.

A atualização dos preços fornecidos pelo estudo de mercado foi realizada a partir do cálculo da média de preços FOB registrada nos últimos 8 anos, entre 2006 a 2013, extraída do sistema Aliceweb, na qual, posteriormente foi aplicada a razão entre os preços internalizados e o preço FOB fornecida pelo estudo de mercado na última linha da Tabela 5. Acrescentamos aos custos de internalização um spread que é verificado entre o preço do produto doméstico e o preço do produto importado internalizado, que corresponde à margem do importador. Na prática, esta margem varia entre os produtos e também com a escala negociada por cada importador, entretanto consideramos um valor médio de 8% de margem para todos os produtos. Posteriormente, acrescentamos os custos com PIS/COFINS e ICMS, para obtenção dos preços domésticos de todos os produtos, conforme exposto na Tabela 6. Para o PIS/COFINS, adotamos a legislação vigente

para cada produto, já para o ICMS, como este depende do estado de destino do comprador, decidimos adotar um valor de 18%, correspondente ao ICMS do estado de São Paulo, por onde a maior parte dos produtos é importada e é destinada.

Preço dos Produtos (US\$/ton)					
	Ureia	Metanol	Melamina	Ácido Fórmico	Ácido Acético
Preços FOB Médios*	455	459	1.883	1.056	601
Preço Internalizado/FOB	15%	18%	13%	26%	29%
Preço Internalizado	521	540	2.121	1.335	775
Preço Doméstico s/ impostos (spread 8%)	563	584	2.290	1.442	837
PIS/COFINS	-	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
ICMS	18,00%	18,00%	18,00%	18,00%	18,00%
Preço Bruto	687	802	3.148	1.982	1.150

Tabela 6: Composição dos preços internados dos produtos

Fonte: AliceWeb

*Os preços FOB médios foram obtidos no site AliceWeb, e calculada considerando os anos de 2006 a 2013.

A obtenção da receita total bruta, portanto se obtém a partir da seguinte Equação:

$$R_b = V_{ureia} * P_{ureia} + V_{metanol} * P_{metanol} + V_{melamina} * P_{melamina} + V_{ac.fórmico} * P_{ac.fórmico} + V_{ac.acético} * P_{ac.acético} \quad (0.18)$$

Na Equação (0.18), os volumes de produtos destinados ao mercado de cada produto V_{ureia} , $V_{metanol}$, $V_{melamina}$, $V_{ac.fórmico}$, $V_{ac.acético}$ correspondem a 2.152ton/d, 2.054ton/d, 120ton/d, 75ton/d e 600ton/d, respectivamente e P_{ureia} , $P_{metanol}$, $P_{melamina}$, $P_{ac.fórmico}$, $P_{ac.acético}$ representam os preços de comercialização dos produtos produzidos pelo Complexo Gás-químico e correspondem a 569US\$/ton, 686 US\$/ton, 2.693US\$/ton, 1.695 US\$/ton e 984US\$/ton, respectivamente.

5.3.2.

Custo de capital do projeto e taxa livre de risco

A taxa de retorno requerida pelo empreendimento foi obtida através dos estudos realizados por Damodaran (2013) e publicado em seu site oficial. Dentre as diversas informações publicadas o custo médio ponderado de capital (WACC)

pode ser obtido por setor industrial e por região. Optou-se por selecionar dados dos países emergentes, grupo do qual o Brasil faz parte segundo a classificação por região proposta pelo Damodaran. O setor que melhor se enquadrava o projeto analisado foi o de química especializada, para o qual foram analisadas 396 empresas dos países emergentes, obtendo-se o valor de custo médio ponderado de capital, WACC de 8.49%. Utilizamos, portanto, este valor para o custo de capital do projeto no cálculo de fluxo de caixa determinístico.

Para obter este WACC Damodaran considerou no cálculo do custo de capital próprio (Ke), também denominado de custo do patrimônio líquido ou *costofequity*, um beta β de 0,974 para a indústria química especializada, uma taxa livre de risco R_{free} de 3,04% e um prêmio de risco para a atividade ($R_m - R_{free}$) de 7,46%. Aplicando-se a Equação do CAPM (*Capital Asset Price Model*), definida abaixo, obteve-se um custo de capital próprio Ke de 10,30%.

$$Ke = R_{free} + \beta * (R_m - R_{free}) \quad (0.19)$$

Para o custo da dívida, ou *costofdebt* (Kd), se considerou uma taxa de 6,68% e 40% de impostos (T). Adicionalmente os percentuais de capital próprio e de dívida atribuídos neste contexto foram de 71,3% e de 28,7%, respectivamente. Aplicando a Equação do WACC, descrita abaixo, chega-se ao valor de 8,49%, conforme aplicação da Equação (0.20):

$$WACC = Equity(\%) * Ke + Debt(\%) * Kd * (1 - T) \quad (0.20)$$

Para a taxa livre de risco (*riskfree*) efetiva, consideramos as condições do mercado brasileiro atualizadas. No final de 2013, a taxa de juros básica nominal (SELIC) divulgada como meta pelo BACEN ficou em 10,00% a.a. Para o cálculo da taxa de juros reais livre de risco, temos que considerar a taxa de inflação acumulada em 2013, que ficou em 5,91% a.a., aplicando o seguinte cálculo.

$$risk\ free = \frac{1 + SELIC}{1 + IPCA} - 1 \quad (0.21)$$

Desta forma, foi obtida a taxa livre de risco de 3,86% a.a., utilizada no cálculo do preço da opção.

5.4.

A opção real avaliada para o projeto

Até este momento, foram levantados todos os dados e fontes de incertezas para a construção do cenário base do modelo, que consiste na análise do projeto em um ambiente de incerteza quanto ao suprimento de gás natural. No caso base, o preço do GN e o volume fornecido são incertos, variando mensalmente de acordo com as distribuições apresentadas no item 0. Para a avaliação do projeto com opção, passamos a considerar o novo fluxo de caixa F'_t , também com frequência mensal, porém agora, substituindo o valor esperado, utilizado na Equação (0.16) pelas variáveis estocásticas disponibilidade de GN ($\tilde{\Omega}_t$) e custo do GN ($\tilde{C}_{GN_t}$), conforme apresentado na Equação (0.22) abaixo:

$$F'_t = \left\{ \tilde{\Omega}_t * \left[Rb * (1 - PIS / COFINS - ICMS) - \tilde{C}_{GN_t} \right] - C_{p_t} - D \right\} * (1 - T) + D - CAPEX \quad (0.22)$$

Onde:

$$\tilde{C}_{GN_t} = \tilde{S}_{GN_t} * Consumo_{GN} / 26,81 \quad (0.23)$$

Diante deste cenário de incerteza e da abertura comercial dos terminais de regaseificação, observa-se claramente uma opção de importação de GNL, que possui frequência de exercício mensal, com objetivo de complementar o suprimento da unidade industrial de modo que, quando conveniente, a unidade opere em plena capacidade.

O preço do GNL ($\tilde{S}_{GN_t}$) é uma variável de incerteza analisada na opção de complementação do suprimento, e seu preço, determinado pelo mercado internacional, varia mensalmente de acordo com a distribuição de reversão a média determinada no item 0. A decisão de sempre se importar GNL para a complementação de suprimento da planta pode, nem sempre, gerar valor para o

projeto, pois em alguns casos, os custos com a importação de GNL ($\tilde{C}_{GNL_t}$) excedem a receita adicional, gerando prejuízo. Este fato por ser comprovado ao determinar um fluxo de caixa considerando que sempre haverá a importação de GNL para complementação da produção, a partir da seguinte Equação:

$$F_t'' = \{Rb * (1 - PIS / COFINS - ICMS) - \tilde{C}_{GN_t} - \tilde{C}_{GNL_t} - C_{P_t} - D\} * (1 - T) + D - CAPEX \quad (0.24)$$

Onde:

$$\tilde{C}_{GN_t} = \tilde{S}_{GN_t} * \tilde{\Omega}_t * Consumo_{GN} / 26,81 \quad (0.25)$$

$$\tilde{C}_{GNL_t} = \tilde{S}_{GNL_t} * (1 - \tilde{\Omega}_t) * Consumo_{GN} / 26,81 \quad (0.26)$$

A importação, portanto, ocorre quando os custos relacionados à importação acrescidos de custos gerais são inferiores à receita adicional associada ao incremento de produção. Para analisar a opção de importação de GNL modelamos sucessivas opções europeias que podem ser exercidas a cada período de decisão, ou seja, mensalmente. Para se analisar qual seria o melhor resultado financeiro para o projeto devemos considerar a importação somente quando ela for oportuna, analisando se o fluxo de caixa com a importação de GNL (F_t'') é superior ao fluxo de caixa considerando a produção a partir somente do GN suprido (F_t'). Desta forma determinamos um fluxo de caixa otimizado, que pode ser definido através da Equação (0.27):

$$Fluxo\ Maximizado = Máximo(F_t', F_t'') \quad (0.27)$$

Após definirmos e modelarmos todos os fluxos descritos acima será realizada uma simulação de Monte Carlo com 100.000 iterações para a obtenção dos resultados da análise do projeto considerando a opção de importação de GNL, ou se abando na produção devido à escassez de GN. Estes resultados serão apresentados no próximo capítulo.