

Análise e avaliação de flexibilidades input-output em projetos de plantas na indústria do petróleo: uma aplicação da teoria das opções reais e da simulação estocástica

Letícia A. Costa (DEI-PUC-Rio, RJ, Brasil) – lekonob@gmail.com

• Departamento de Engenharia Industrial – R. Marques de S. Vicente, 225, Gavea, CEP: 22453-900, Rio de Janeiro-RJ

Carlos Patrício Samanez (DEI-PUC-Rio, RJ, Brasil) – cps@puc-rio.br

Resumo

Os investimentos na indústria petrolífera e petroquímica são frequentemente de médio/longo prazo, ricos em opções reais (flexibilidades gerenciais ou operacionais), com alto grau de irreversibilidade e sujeitos a condições de incerteza técnica e econômica. Nesse contexto, o método tradicional de fluxo de caixa descontado é muito limitado, para tratar de incertezas e de flexibilidades e, frequentemente, leva a decisões equivocadas. O presente trabalho usa técnicas mais modernas de análise econômica, com uma abordagem realmente científica, modelando a incerteza econômica como um processo estocástico e usando técnicas de simulação estocástica que consideram os graus de liberdade gerencial de um projeto. A moderna teoria de investimentos, sob incerteza, também conhecida por Teoria das Opções Reais (TOR), separa o valor da oportunidade de investimento da regra de decisão, de forma que esta maximize o valor daquela. O presente trabalho tem como objetivo analisar um projeto de planta na indústria de petróleo, com tecnologia GTL (Gas-to-liquid), usando a Teoria das Opções Reais. A tecnologia GTL possibilita a conversão de sólidos, biomassas, líquidos e gases em derivados, tais como a nafta, diesel, parafinas e lubrificantes de alta qualidade. Neste estudo, a TOR é ajustada para avaliar a capacidade do projeto poder mudar seus inputs e/ou outputs, selecionando a alternativa que maximize o retorno, de acordo com cada cenário. O investimento ocorre em um ambiente de incerteza, onde os preços (fatores de incerteza) são considerados estocásticos e seguem um processo de reversão à média e a análise é estimada por simulação de Monte Carlo.

Palavras-chave: Análise de projetos de investimento; Teoria das opções reais; Simulação de Monte Carlo; Métodos numéricos; Processos estocásticos.

Abstract

Investments in the oil and petrochemical industries are frequently medium/long term, rich in real options (managerial and/or operational flexibilities), with a high degree of irreversibility, and under conditions of economic and technical uncertainty. In this context, the traditional method of discounted cash flow, is very limited to deal with uncertainties and flexibilities, and frequently leads to the wrong decision. This article uses more modern techniques for economic analysis, with a real scientific approach, by modeling economic uncertainty as a stochastic process, and using stochastic simulation technics that consider the project's managerial degrees of freedom. The modern theory of investment, under uncertainty, also named real options theory, separates the value of investment opportunity from the decision rule, so the latter maximizes the former. The present work aims at analyzing a GTL (Gas-To-Liquid) project plant using real options theory. GTL technology makes it possible to transform solids, biomass, liquids and gases into high quality liquids, such as naphtha, diesel, paraffins and high quality lubricants. In this study the real option theory is adjusted to evaluate the project's capacity to change its input and/or output, choosing the option that maximizes payoff, in accordance with each scenario. Investments take place in an atmosphere of uncertainty, where prices (uncertainty factors) are stochastic and will follow the mean reversion stochastic process, calculated by the Monte Carlo Simulation.

Keywords: Investment Project Analysis, Real Option Theory, Monte Carlo Simulation, Numerical Methods, Stochastic Processes

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de fluxos de caixa descontados (FCD) e seu principal indicador, o valor presente líquido (VPL), foram usados durante muito tempo como métodos adequados para a tomada de decisões de investimento. Porém, no mundo real, a maioria das decisões tem em comum algumas características, como irreversibilidade, incerteza sobre os ganhos futuros e o timing do investimento. Ou seja, um investimento não pode ser totalmente desfeito, sem que haja algum custo perdido. Além disso, como não se pode prever o futuro, há incertezas envolvendo ganhos ou perdas. Por último, existe sempre alguma liberdade de ação no tempo, formando-se, assim, possibilidades de flexibilidade dentro de um projeto que precisam ser avaliadas. Infelizmente, esses fatores e flexibilidades não são capturados pelos métodos de fluxos de caixa descontados.

Segundo Trigeorgis (1993), o acréscimo trazido ao valor de um projeto, pelas flexibilidades e opções embutidas, é refletido no chamado VPL expandido, que é composto pelo VPL tradicional (estático ou passivo), mais o valor das opções operacionais e estratégicas do projeto. A idéia é adicionar o valor das opções, caso contrário o projeto estará sendo subavaliado. É por isso que se diz que o FCD subestima o valor dos projetos de investimento.

De acordo a Samanez (2006), as flexibilidades gerenciais podem ser vistas como um leque de opções reais que agregam valor ao projeto. Como a regra convencional do VPL não considera essas características, neste trabalho será usada a metodologia da Teoria de Opções Reais (TOR), para análise e decisão de investimento sob incertezas, com uma aplicação no setor petroquímico, uma vez que essa metodologia considera as flexibilidades operacionais típicas desse tipo de projetos.

O modelo desenvolvido, no presente trabalho, é aplicado na análise e avaliação de um projeto industrial de transformação petroquímica. O projeto usa o chamado processo ou tecnologia GTL (Gas-to-liquid), que é um processo petroquímico, que possibilita a transformação de gás-natural, carvão mineral, óleos pesados ou biomassas em combustíveis sintéticos, com altíssimo grau de pureza e quase sem elementos poluentes. O projeto que será analisado tem flexibilidades de output, isso quer dizer que se pode variar o percentual dos produtos finais produzidos (diesel, parafinas, gasolina, lubrificantes, etc). Além disso, os inputs (matérias-primas) usados no processo, também podem variar.

Um dos aspectos mais importantes na avaliação da TOR é determinar de que forma serão tratadas as incertezas. No presente estudo, os preços são considerados estocásticos, seguindo um movimento de reversão à média (MRM), pois se espera que os preços das *commodities* tenham relação no longo prazo, o que faz com que eles retornem, para um nível médio. É usada a simulação de Monte Carlo (SMC) desses processos estocásticos para calcular o valor da planta.

2. POSICIONAMENTO DO ARTIGO

Uma opção pode ser definida como o direito, mas não a obrigação, que alguém tem de fazer uma operação em certas condições pré-definidas. Como este direito pode trazer vantagens econômicas ao seu possuidor, então existe um valor para tal opção. Um projeto de investimento pode ser visto como um conjunto de opções reais, dentre as que podem ser citadas as opções de adiar o investimento, cancelar novas etapas do investimento, alterar a escala de produção (expandir, contrair, fechar temporariamente, reiniciar), abandonar o projeto pelo valor residual, alterar usos (entradas e saídas) e opções de crescimento (Samanez, 2006). Na prática, os gestores tomarão diversas atitudes operacionais e de investimento durante toda a vida do projeto. Porém, ao avaliar um projeto pela teoria clássica e tradicional, baseada em fluxo de caixa descontado e valor presente líquido, deixamos de quantificar todo o valor gerado por essas opções, quando grande parte das informações, para a tomada de decisão, ainda está por ser revelada.

Uma abordagem pela TOR evidencia que os métodos da teoria tradicional de análise de investimentos não garante a coerência que deve unir estratégia e finanças, para que os projetos não venham a ser subestimados. A Teoria das Opções Reais é a técnica capaz de atingir essa união e quantificar as flexibilidades inerentes a uma gestão ativa do projeto em cenários de incerteza.

O modelo de Black & Scholes (1973) pode ser considerado um ponto de partida na avaliação de opções. Os conhecimentos relativos às opções reais vêm experimentando significativos desenvolvimentos nas últimas décadas, com um nível de sofisticação cada vez maior nos modelos desenvolvidos.

Um modelo sobre avaliação e decisão de investimento em reservas petrolíferas foi desenvolvido por Paddock & Siegel & Smith (1988). Eles usaram a TOR para determinar o preço justo para a concessão de um bloco de exploração de petróleo, integrando um modelo explícito de equilíbrio de mercado, para um ativo real e a teoria de apreçamento de opções, para obter o valor de uma opção real. Além disso, descreveram as diferenças entre as opções financeiras e as opções reais. Os autores mostraram como os obstáculos que surgem dessa analogia podem ser superados e concluíram que a avaliação de reservas, através da TOR apresenta vantagens frente aos métodos tradicionais.

Mais relacionado às opções de troca de inputs e para mostrar como podem ser avaliados projetos flexíveis, Kulatilaka e Marcus (1992) usaram um exemplo (ainda que de uma forma introdutória) na indústria termoelétrica que, para produzir eletricidade, tanto pode utilizar gás natural como carvão, ou seja, há flexibilidades no input.

De uma forma mais profunda, este problema foi novamente estudado por Kulatilaka (1993 e 1995a). O autor apresenta um modelo de programação dinâmica que permite avaliar uma unidade industrial com flexibilidade, ao nível dos seus inputs energéticos. Na mesma linha, Brekke e Schieldrop (2000) estudaram uma solução analítica [ao contrário da solução numérica de Kulatilaka (1993)], para avaliar este tipo de opção. Estes autores adotaram comportamentos estocásticos para os preços de ambos os inputs [Kulatilaka (1993) assumiu que um dos inputs tinha preço constante].

Já com relação à flexibilidade no output, Fine e Freund (1990) desenvolveram um modelo para avaliar uma indústria com flexibilidade ao nível produtivo. Esta flexibilidade permite à empresa responder, no futuro, às alterações no nível da demanda. Dado que este tipo de unidade exige um investimento mais elevado, é importante determinar o seu valor para compará-lo com outro investimento, em que essa flexibilidade não exista. Triantis e Hodder (1990) construíram um modelo que possuía flexibilidade no nível do produto, ou seja, capacidade de produzir diferentes produtos. Os autores argumentam que, com pequenas alterações, esse modelo, também poderá ser adaptado para avaliar a flexibilidade ao nível dos inputs. Kamrad e Ernst (1995) analisaram a flexibilidade de uma unidade produtiva do tipo multi-produto.

Uma das contribuições do presente estudo é que ele considera possibilidades de flexibilidade tanto nos inputs quanto nos outputs da planta industrial, com tecnologia GTL, analisando a viabilidade econômica da alternativa que melhor conjuga essas flexibilidades. Além disso, todos os preços das *commodities* (inputs) são considerados estocásticos.

3. A TECNOLOGIA GTL (GAS-TO-LIQUID)

Como foi mencionado, a tecnologia GTL possibilita a transformação de gás-natural, carvão mineral, óleos pesados ou biomassas em combustíveis sintéticos, com altíssimo grau de pureza e quase sem elementos poluentes. Esta tecnologia é dividida em três etapas: uma primeira etapa, chamada gaseificação, que é um processo de oxidação parcial controlada de um combustível sólido, em que as matérias primas são gaseificadas, sendo obtido o chamado gás-sintético (GS); uma segunda etapa, chamada processo de Fischer-Tropsch (FT), que é a etapa mais importante do processo, onde o GS, que entra como insumo, é convertido em hidrocarbonetos líquidos; e uma terceira etapa, chamada hidrocessamento, onde são produzidos derivados, como nafta, diesel e parafinas. A terceira fase é responsável pelo upgrade dos hidrocarbonetos líquidos, que são transformados em derivados de altíssima qualidade.

A tecnologia GTL permite a produção de combustíveis mais limpos e mais seguros ambientalmente. Por exemplo, o diesel GTL (super-diesel) é mais caro do que o diesel obtido a partir do refino de petróleo cru, e tem uma qualidade que o diesel do refino não alcança, mesmo com uma série de processos adicionais, pois é menos poluente.

A figura 1 mostra as etapas do processo GTL:

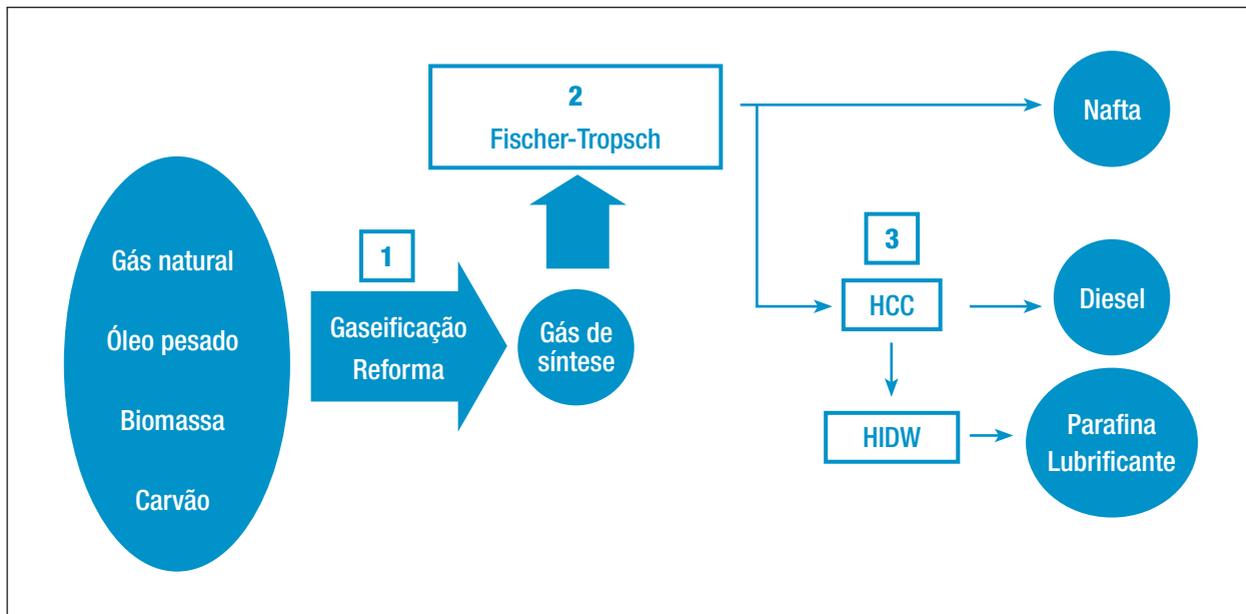


Figura 1 – Etapas do processo GTL (Gas-to-liquid)

4. BREVE HISTÓRICO DA TECNOLOGIA GTL

A tecnologia GTL existe desde a década de 20, do século passado, sendo baseada na conversão de Fischer-Tropsch, processo desenvolvido pelos cientistas alemães Franz Fischer e Hans Tropsch, em 1923, no Kaiser Wolhelm Institute Fur Kohlenforschung, instituto de pesquisa alemão. Partindo do perfil da Alemanha, que apresenta escassez de petróleo, buscava-se uma alternativa à produção de combustíveis que não utilizasse o óleo cru como principal insumo. Obteve-se o gás-sintético, basicamente do carvão mineral, que era um recurso abundante na Alemanha. Os alemães empregaram essa tecnologia em escala industrial, principalmente alimentando os motores da máquina bélica nazista, durante a 2ª Guerra Mundial.

A partir da década de 50, os líderes do apartheid, na África do Sul, adaptaram os métodos para converter carvão mineral em combustíveis, que lhes permitissem sobreviver ao isolamento econômico. Assim, como base das diretrizes de política energética do país, foi criada, em 1950, a South African Coal, Oil and Gas Corporation Limited – Sasol, empresa que seria responsável pela produção de combustíveis líquidos sintéticos, tendo como insumo o carvão mineral.

Os Estados Unidos desenvolveram essa tecnologia, também na década de 50, porém eles só valorizaram o método, após os choques do petróleo dos anos 70, mas no final, retiraram grande parte dos recursos destinados à pesquisa de combustíveis sintéticos, quando os preços do petróleo caíram. Depois, essa tecnologia foi esquecida e arquivada durante anos. A concretização da segunda trajetória tecnológica em combustíveis sintéticos tem início na África do Sul, com a criação de uma empresa estatal de produção de combustíveis líquidos, em 1987, a Mossgas. A unidade de produção se justificava não apenas pela existência de reservas de gás-natural mas também, por previsões pessimistas quanto ao preço do petróleo e da possibilidade do aumento das sanções comerciais e políticas, em função do regime do apartheid (Almeida, E., Dunham, F., Bomtempo, J. V. e Bicalho, R., 2003, 2006).

5. OS PLAYERS DO MERCADO MUNDIAL E A IMPORTÂNCIA DA TECNOLOGIA GTL NO CONTEXTO MUNDIAL SUL-AMERICANO E BRASILEIRO

Dada a importância da tecnologia GTL, no contexto energético mundial, as principais companhias petroquímicas e de petróleo do mundo desenvolvem atividades de pesquisa ou de produção nessa área. A Shell mantém atividades de P&D, na tecnologia GTL, há várias décadas. A empresa desenvolveu seu próprio processo, denominado SMDS (Shell Middle Destilate Synthesis), que é voltado para a produção de destilados médios, principalmente querosene e diesel.. A ExxonMobil, empresa número um do mundo nos negócios de petróleo e petroquímica, tem um programa próprio de desenvolvimento da tecnologia, conhecido como Advanced Gas Conversion 21 (AGC-21). A Sasol, sediada em Johannesburg, África do Sul, detém uma base de conhecimento, única em operação, principalmente da etapa de conversão, e Fischer-Tropsch, empresa que utiliza tecnologias de sua propriedade para a produção comercial de combustíveis sintéticos e produtos químicos, a partir de carvão mineral de baixa graduação e gás-natural (GN). A empresa opera também, minas de carvão, para fornecer matéria-prima para suas plantas de combustíveis sintéticos. O grupo está desenvolvendo, com parceiros, empreendimentos conjuntos de combustível de GTL, em Qatar e na Nigéria. Outras empresas de petróleo, como BP, Conoco e Statoil, já anunciaram iniciativas em GTL, tanto de produção como de projetos de pesquisa. Deve também, ser mencionada a presença de empresas de produção de gases industriais, em particular, a Praxair e a Air Products.

No Qatar, as maiores companhias de petróleo do mundo, estão apostando bilhões de dólares em métodos para a produção de óleo diesel, com a tecnologia GTL. Até 2010, o Qatar pretende se tornar o líder mundial na indústria de GTL e se transformar no maior fornecedor mundial de GN liquefeito (GNL), até 2012. O país assinou vários contratos com empresas multinacionais, como a sul-africana Sasol, a Chevron Texaco, a Exxon Mobil e a Shell, para a construção de refinarias GTL, na cidade industrial de Ras Laffan, no norte do país.

Na América do Sul, a Syntroleum vem propondo vários projetos do tipo joint-ventures, às empresas petrolíferas que possuem reservas de gás natural na América Latina (PDVSA na Venezuela, Petrobras, no Brasil, Enap, no Chile e consórcios, no Peru). As perspectivas do GTL, como tecnologia, são promissoras no continente sul-americano, pois o interesse dos diversos agentes na cadeia do GN, assim como dos detentores de tecnologias inovadoras, começam a enxergar as possibilidades de poder realizar grandes transformações na indústria de GN e obter ganhos significativos.

No Brasil, desde 1997, a Petrobras vem trabalhando no desenvolvimento de sua própria tecnologia de transformação GTL. A empresa pretende dispor de uma tecnologia GTL, seja por desenvolvimento próprio ou por associação com outras empresas, pois pretende implantar, no Brasil, plantas GTL.

6. BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA GTL NO CONTEXTO BRASILEIRO

Dentre os muitos benefícios trazidos pela tecnologia GTL, no contexto nacional, podemos citar as seguintes:

- a) As reservas de gás-natural (GN) passam a ser mais valorizadas no mercado – O GTL pode mudar a natureza regional da indústria de GN, possibilitando o desenvolvimento e a comercialização de reservas antes tidas como anti-econômicas.
- b) Desenvolvimento de combustíveis líquidos ambientalmente superiores – O GTL propicia a produção de hidrocarbonetos sintéticos, de alta qualidade, que podem ser usados diretamente como combustíveis ou misturados com derivados de petróleo de baixa qualidade, trazendo melhorias, de acordo com as exigências ambientais e as especificações de desempenho.
- c) Aproveitamento da biomassa que o Brasil tem em abundância – Como o processo pode usar biomassas como matéria-prima na gaseificação, isso torna os projetos GTL de obtenção de combustíveis, a partir de biomassa, uma excelente alternativa para substituir os combustíveis fósseis (derivados do petróleo e do carvão), que poluem e não são renováveis. O combustível gerado, a partir de biomassa, é renovável, diferentemente do combustível de origem fóssil.
- d) No atual contexto brasileiro, em que o país produz basicamente petróleos pesados e o parque de refino nacional está estruturado para o refino de óleos leves importados, a tecnologia GTL passou a ter uma importância estratégica muito grande, pois pode permitir que o país beneficie industrialmente os óleos pesados, agregando-lhes valor e diminuindo a importação de óleos leves. Dada a diferença de preços desses dois tipos de óleos e os custos de importação e logísticos, as plantas GTL podem resultar em grandes economias para o país.

7. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS DE REVERSÃO À MÉDIA (MRM), A PARTIR DA ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE PREÇOS DAS *COMMODITIES*

A natureza do processo estocástico de evolução dos preços é o ponto central para a derivação dos modelos de apreamento dos títulos de risco e das opções. A análise do comportamento dos preços das *commodities* possui duas grandes vertentes na literatura. A primeira, trata os preços como decorrência de modelos de equilíbrio entre oferta e procura.

A segunda, trata da análise da evolução estocástica dos preços, baseando-se nas séries históricas. Esta última linha de pesquisa está mais presente na literatura moderna, e foi usada como base para o cálculo dos parâmetros das séries de preços. Assim, no presente estudo, os preços são considerados estocásticos, de acordo com um movimento de reversão à média (MRM), pois se espera que os preços das *commodities* tenham relação no longo prazo, o que faz com que eles retornem para um nível médio.

As *commodities*, tipicamente, são negociadas nos mercados a vista (spot) e no mercados futuros. Para estimar os parâmetros do MRM, são necessárias as séries históricas dos preços spot das *commodities* (de forma a simplificar o problema de estimação, foi assumido como preço spot os preços futuros do primeiro contrato um período à frente).

O MRM aritmético é também, chamado processo de Ornstein-Uhlenbeck e é representado pela equação (1):

$$dx = \eta(\bar{x} - x) dt + \sigma dz \quad (1)$$

onde:

η = velocidade da reversão á média da variável estocástica;

\bar{x} = nível de equilíbrio ou média de longo prazo da variável estocástica;

σ = volatilidade da variável estocástica;

dz = incremento de Wiener.

Considerando como P_t o preço da commodity, no instante t , podemos calcular os logaritmos de cada série de preços e montar a equação (2):

$$\ln(P_t) = a + b \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

onde, ε_t segue uma distribuição normal padrão, com média zero e variância σ^2/N .

Com base na equação (2), tem-se indícios de reversão à média, quando o coeficiente b é menor que um, ou seja, se $0 < b < 1$.

Logo, fazendo a regressão: $\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (3)$

No MRM, são calculados três parâmetros para cada série: η (velocidade de reversão à média), σ (volatilidade) e média de longo prazo (\bar{P}). Assim, obtendo-se o valor dos coeficientes a e b , a partir da regressão (3), podemos usar as equações (4), (5) e (6) (Dixit&Pindyck; 1994), para calcular os parâmetros (η , σ , \bar{P}) do MRM:

$$\eta = -\ln(b) \times N \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{N} \sqrt{\frac{2 \ln(b)}{b^2 - 1}} \quad (5)$$

$$\bar{P} = \exp \left[\frac{(a + 0,5\sigma^2 / N)}{1 - b} \right] \quad (6)$$

Aplicando essas fórmulas no programa computacional desenvolvido (MATLAB) e, com base nas séries históricas dos preços dos inputs e outputs, calculou-se os parâmetros do MRM, necessários para a estimação dos preços futuros dos inputs e dos outputs. Os parâmetros calculados dessa maneira, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros obtidos para o MRM

	Velocidade de reversão à média	Volatilidade	Média de longo prazo
Gás natural	32,97%	40,75%	4,77 US\$/MMBtu
Óleo pesado	21,63%	38,17%	26,47 US\$/Bbl
Nafta	51,36%	36,85%	82,51 US\$/gal
Diesel	20,21%	25,18%	470,57 US\$/Ton
Parafina	94,48%	43,80%	1,05 R\$/L
Lubrificante	47,05%	25,00%	1,87 R\$/L

8. SIMULAÇÕES DOS PROCESSOS DE REVERSÃO À MÉDIA DOS PREÇOS DAS *COMMODITIES*

Para efetuar a simulação é preciso uma equação de discretização dos processos estocásticos dos preços dos inputs. No presente estudo, usou-se uma discretização exata, que basicamente é uma discretização tal que a precisão independe do tamanho do intervalo de tempo (Δt). Assim, fica possível simular muitos anos à frente.

A simulação de Monte Carlo (SMC) foi feita em um contexto de neutralidade ao risco, pois não se sabe, a priori, qual é a taxa ajustada ao risco da opção. Essa é a metodologia mais indicada para valorar opções e derivativos, enquanto a simulação real é mais útil para casos de planejamento e para análise de risco. Uma simulação neutra ao risco é sempre mais conservadora do que a simulação real.

A simulação dos preços das *commodities* foi efetuada com base na equação (7) (Dias, 2006):

$$P(t) = \exp \left\{ \left[\ln[P(t-1)] \exp[-\eta\Delta t] + \left[\ln(\bar{P}) - \frac{(\mu-r)}{\eta} \right] (1 - \exp[-\eta\Delta t]) \right] - \left[(1 - \exp[-2\eta T]) \frac{\sigma^2}{4\eta} \right] + \sigma \sqrt{\frac{1 - \exp[-2\eta\Delta t]}{2\eta}} N(0,1) \right\} \quad (7)$$

onde:

η = velocidade da reversão à média;

σ = volatilidade dos preços;

\bar{P} = média de longo prazo dos preços (valor de equilíbrio);

$N(0,1)$ = distribuição normal padrão (0,1);

Δt = intervalo de tempo;

μ = drift ou a tendência instantânea do processo;

A equação para efetuar a simulação real é muito parecida com a equação acima; bastaria suprimir o termo $(\mu - r) / \eta$. Este termo é um prêmio de risco normalizado que penaliza $\ln(\bar{P})$.

As simulações procuram reproduzir um cenário real de tomada de decisões, através de um modelo matemático, que busca capturar as características funcionais mais importantes do projeto, à medida que os eventos aleatórios ocorrem. Considerando como se as opções (de input e output) apresentadas pelo projeto, em cada etapa de sua vida útil, fossem iguais a uma sequência de opções européias e, usando-se a SMC, escolhe-se a que tenha o maior payoff.

A SMC aplicada neste trabalho segue os seguintes passos:

- Modelagem do projeto, através de uma série de equações matemáticas e identidades para todas as variáveis de entrada importantes;
- Especificação das distribuições de probabilidade neutras ao risco, para cada uma das variáveis estocásticas, com base em um histórico de dados;
- Uma amostra aleatória é então obtida (usando um gerador de números aleatórios), a partir da distribuição de probabilidades dos dados de entrada;
- O processo é repetido diversas vezes, obtendo-se cada vez, um determinado payoff. Ao final, calcula-se a média dos payoffs para se obter uma estimativa para o contexto neutro ao risco e desconta-se essa média à taxa livre de risco, para se obter o VPL do projeto.

9. AVALIAÇÃO DE UM PROJETO GTL: O CASO DE UMA PLANTA DE 35.000 BARRIS POR DIA (BPD)

9.1. Alocação do investimento – CAPEX

Com base em Al-Saadoon (2005), o investimento inicial (capital expenditures– CAPEX) para uma planta GTL, com capacidade de produção de 35.000 bbl/dia, que tenha o GN (gás-natural) como input, é de US\$25.000/bbl. Para plantas com a mesma capacidade, mas com inputs sólidos ou líquidos (óleo pesado, carvão mineral ou biomassa), o CAPEX é de aproximadamente US\$29.000/bbl.

O CAPEX é dividido nas três fases do processo, de forma dinâmica, como apresenta a figura 2 e varia de acordo com o input utilizado. A alocação do CAPEX por fase do processo, é dividida em: Gaseificação, 60% do CAPEX, FT(Fischer-Tropsch) 25%, hidroprocessamento e enriquecimento de produtos, 15%. Há uma grande assimetria na alocação do CAPEX, onde aproximadamente 60% do capital é usado para elaborar a primeira fase (gaseificação), ou seja, a maior parte do investimento é usada para transformar o input (por exemplo, o gás-natural ou o petróleo pesado) em GS (gás-sintético).

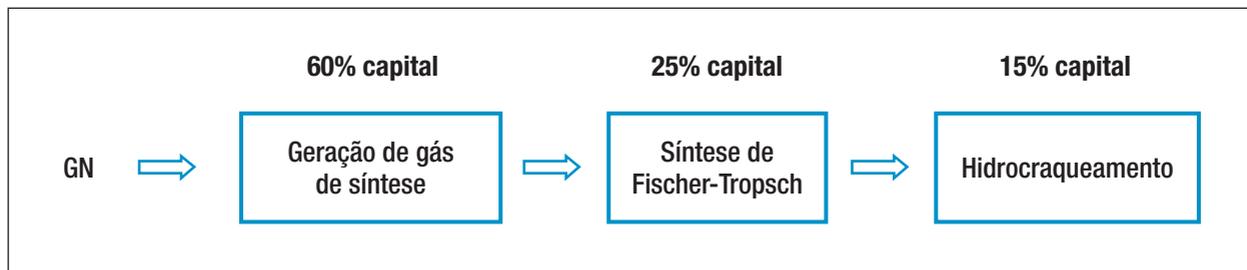


Figura 2 – Alocação do CAPEX nas diversas etapas do processo industrial GTL

9.2. Custos operacionais – OPEX

Mesmo sendo de certa forma incertos, no estudo de caso, o valor dos custos operacionais anuais (OPEX–operating expenditures) são considerados determinísticos (exceto custo com matéria-prima) e sendo igual a um percentual fixo do CAPEX, (2 % do CAPEX).

Além dos custos operacionais, há também, os custos variáveis com matéria-prima que dependem dos preços das *commodities* e dos rendimentos do processo da planta. No presente estudo de caso, são considerados o GN (gás-natural) e o petróleo pesado (OP) como inputs, sendo que os preços dessas *commodities* foram considerados estocásticos e estimados com base no movimento de reversão à média (MRM). Tal como mostrado na seção 7, os parâmetros do MRM foram estimados, a partir das séries históricas dos preços das *commodities*.

9.3. Receitas da planta GTL

Uma planta GTL pode produzir, dependendo da tecnologia adotada, todo tipo de hidrocarbonetos líquidos sintéticos. Principalmente, as plantas produzem os seguintes tipos de produto: diesel sintético (chamado superdiesel), as chamadas especialidades (ceras especiais, solventes, fluidos para perfuração de petróleo e produtos para usos alimentares) e a nafta petroquímica.

9.4. Rotas possíveis de produção de produtos finais

Nos processos GTL, há restrições técnicas que devem ser consideradas, pois de acordo às frações mássicas de um produto final, aos átomos de carbono e aos fatores de probabilidade de crescimento das cadeias, não se pode concentrar 100% da produção em um único tipo de output. As restrições são dadas pela relação petroquímica conhecida como equação de Anderson-Schulz-Flory, que determina a relação entre a fração dos percentuais de produção, que podem ser destinados a cada um dos produtos finais do processo, para um determinado valor dos fatores de probabilidade de crescimento das cadeias (α). A fórmula é mostrada na equação (8):

$$W_n = n(1 - \alpha)^2 \alpha^{(n-1)} \quad (8)$$

onde:

W_n = fração mássica de um produto com n átomos de carbono;

α = fator de probabilidade de crescimento da cadeia;

n = número de carbonos.

Neste estudo, que pretende mostrar unicamente metodologias de avaliação econômica de plantas GTL, por simplicidade de análise, foram determinadas rotas teóricas possíveis (rotas A, B, C e D). Cada rota define as frações dos produtos finais que podem ser produzidos. Essas rotas são mostradas na tabela 2 e foram consideradas no estudo de caso.

Tabela 2 – Rotas de produção com as frações de outputs

Rotas	A	B	C	D
GLP	9%	4%	9%	4%
Nafta	23%	13%	23%	13%
Diesel	68%	83%	63%	77%
Parafina			5%	6%

9.5. Rendimentos dos Inputs

O rendimento para a produção de GS (gás-sintético), que seria a primeira fase do processo GTL, utilizando como input o GN (gás-natural), é de aproximadamente 3.450 m³ GS / ton. de GN. Caso o input seja o óleo pesado (OP), o rendimento é de aproximadamente 2.600 m³ GS / ton de OP.

Já o rendimento do GS por barril produzido, é de 700m³/bbl. Considera-se que o rendimento de GS seja igual para qualquer barril de produto final.

9.6. A função fluxo de caixa e a simulação das alternativas no estudo de caso

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um estudo de caso que tem as seguintes características: produção de 35.000 bpd; inputs: GN ou óleo pesado (OP); outputs: nafta, diesel e parafinas; tempo: 3 anos para investimento e 20 anos de produção; fluxos de caixa trimestrais; MRM como processo estocástico para todos os preços dos inputs; taxa de desconto livre de risco: $r = 5\%$ a.a.; taxa ajustada ao risco: $\mu = 10\%$ a.a.; fator operacional de 96% e depreciação linear e uniforme.

A partir dos dados de custos, receitas e outras informações que foram apresentadas, elaborou-se um fluxo de caixa do projeto, considerando-se a seguinte função para cada trimestre:

$$FC_t = [Receita_t - (Cof_t + Cv_t + Dep_t)] \times (1-IR) + Dep_t$$

onde:

FC_t , $Receita_t$, Dep_t = fluxo de caixa, receita ou depreciação no trimestre t ;

Cof_t = custos operacionais fixos no trimestre t (2% CAPEX/4);

Cv_t = custos variáveis no trimestre t ;

IR = alíquota de imposto de renda = $IRPJ + CSLL = 27\% + 9\% = 34\%$

$Receita_t = Preço_i \% Produção_i \times Produção\ total \therefore$ para $i =$ nafta, diesel, parafinas, lubrificantes

$$Custo\ variável_t = Preço_j \times \left[\frac{(bpd \times 90\text{dias}) \times rendimento_{GS}}{rendimento_j} \right] \therefore \text{para } j = \text{GN ou OP}$$

Os fluxos de caixa, dessa forma calculados, serviram de base para a elaboração de uma análise econômica, que pudesse ser utilizada para a realização de um estudo de viabilidade de uma planta GTL.

A princípio, parece simples, mas devem-se levar em consideração vários detalhes, tais como: receitas, custos variáveis, preços estocásticos e a possibilidade de se ter dois inputs (gás natural – GN – e petróleo pesado–OP). A modelagem, também considera a possibilidade de poder se variar as proporções dos outputs (rotas de produção), de acordo com os fatores técnicos e de mercado.

Efetuada a simulação estocástica dos preços dos inputs e dos outputs, com base no MRM neutro ao risco, foram efetuadas 10.000 iterações (simulações). Com a ajuda da Teoria das Opções Reais (TOR), adicionou-se flexibilidade dentro do plano estratégico, a fim de maximizar o payoff a cada trimestre.

Calcularam-se diversos VPL's para cada uma das possibilidades e, em cada trimestre, durante a vida útil do projeto, foi utilizado o mix (input-output) que maximiza o payoff. Ou seja, analisaram-se vários cenários futuros possíveis e, com a ajuda da TOR, adicionou-se flexibilidade dentro do plano estratégico, a fim de maximizar o payoff a cada trimestre. O valor médio desses VPLs para cada uma das alternativas se encontra na tabela 3.

Tabela 3 – VPL expandido das alternativas

Alternativa	VPL (US\$ milhões)
Rota A com input GN	-1.747
Rota B com input GN	-1.308
Rota C com input GN	-1.079
Rota D com input GN	-503
Rota A com input FLEX	181
Rota B com input FLEX	523
Rota C com input FLEX	762
Rota D com input FLEX	1.036
Rota FLEX com input GN	-740
Rota FLEX com input FLEX	706

As alternativas mostradas na tabela 3 seguem as quatro rotas consideradas (rotas A, B, C e D), com GN como input (input GN) e com input flexível (input FLEX). A tabela apresenta, também, os valores dos VPLs para os casos em que a rota é flexível e o input é GN (Rota FLEX com input GN) e quando a rota é flexível e o input é também, flexível (Rota FLEX, com input FLEX).

9.7. Análise dos resultados das simulações das alternativas

Analisando os valores mostrados na tabela 3, pode-se observar que nas 4 rotas possíveis (A, B, C e D), as alternativas de planta que não tem nenhuma flexibilidade no input (usam GN como input fixo) nem nos outputs, tem VPL's negativos; por isso, não são considerados projetos viáveis economicamente. No caso das plantas com flexibilidade de input (com input FLEX), onde se pode utilizar GN ou OP, como matéria-prima do processo, os VPL's são todos positivos, sendo que a alternativa que apresenta o maior VPL é a que segue a rota D (US\$1.036 milhões). Nesse caso, a valor da opção de se ter flexibilidade no input (GN ou OP), passa a ter valor, tornando positivo o VPL dessas alternativas.

A planta com flexibilidade de output, que tem o GN como input fixo (Rota FLEX com input GN), é uma alternativa ruim, pois apresenta VPL negativo (-US\$ 740 milhões). Não há valor adicional de possibilitar que os percentuais dos diversos outputs mudem a cada trimestre, quando o input é fixo (GN). Neste caso, a opção de troca de output não tem valor.

O valor do VPL (US\$ 706 milhões) da alternativa com total flexibilidade tanto nos inputs quanto nos outputs (Rota FLEX com input FLEX) é maior que os VPLs das alternativas que tenham somente opção de troca dos inputs em algumas rotas (rotas A e B).

10. CONCLUSÕES

Um dos aspectos primordiais no contexto da TOR, é determinar como são tratadas as incertezas de um projeto. No presente estudo, os preços (fatores de incertezas) foram considerados estocásticos, seguindo um processo de reversão à média, pois se acredita que os preços das *commodities* têm relação no longo prazo, acarretando que eles retornem para um nível médio histórico.

A análise mostrou que quando não são consideradas flexibilidades no uso dos inputs, para plantas com capacidade de produção de 35.000 bbl/dia, que seguem as rotas de produção usadas, os VPLs são negativos, representando alternativas economicamente inviáveis.

Avaliando as plantas que não têm flexibilidade nos inputs nem nos outputs, os resultados mostram que todas as alternativas são economicamente inviáveis (VPLs negativos), já quando se inclui flexibilidade nos inputs, os VPLs passam a ser positivos e a opção de troca de input tem valor. Por outro lado, a planta com flexibilidade nos outputs, que tem GN como input, não é viável economicamente e a opção de output não tem valor. Assim, a planta totalmente flexível, apesar de apresentar valores positivos no VPL, não é a melhor alternativa de projeto.

O presente estudo apresenta uma síntese, resumida e didaticamente simplificada, da metodologia de avaliação econômica desenvolvida conjuntamente entre o CENPES-PETROBRAS e o DEI-PUC-Rio. A metodologia apresentada, neste artigo, mostra, pela primeira vez, de que maneira podem ser corretamente avaliados esse tipo de projetos, em que as flexibilidades operacionais e estratégicas estão presentes. Os modelos matemáticos e os métodos numéricos usados são relativamente complexos, mas os resultados obtidos conseguem capturar o valor das flexibilidades embutidas nos projetos, o que não é possível com os métodos tradicionais que simplesmente descontam, a taxas ajustadas ao risco, os fluxos de caixa esperados do projeto.

No atual contexto nacional, em que o país produz basicamente petróleo pesado e o parque de refino está estruturado para processar óleos leves, a tecnologia GTL passou a ter grande importância estratégica. Os produtos produzidos são derivados de altíssima qualidade, mais limpos e mais seguros ambientalmente.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.; DUNHAM, F.; BOMTEMPO, J. V.; BICALHO, R. **Processos de produção de combustíveis sintéticos**: análise das trajetórias tecnológicas. Segundo Congresso Brasileiro de P&D Em Petróleo & Gás, Rio de Janeiro, Junho (2003).
- ALMEIDA, E.; DUNHAM, F.; BOMTEMPO, J. V.; BICALHO, R. Viabilidade das plantas GTL: uma análise de sensibilidades das variáveis determinantes. UFRJ, Brasil. Trabalho para o IV LACGEC – Congresso Latinoamericano de Gás e Eletricidade, 2004 – **Revista CIER**: Ano XV, n. 48, 1º trimestre de 2006.
- AL-SAADOON, F. T. **Economics of GTL Plants**. Society of petroleum engineers, Texas A&M U, Abril de 2005.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, n. 81, 1973, pp.637-659.
- BREKKE, K. A.; SCHIELDROP, B. (2000). Investment in flexible technologies under uncertainty, in: BRENNAN, M. J.; TRIGEORGIS, L. **Project flexibility, agency, and competition**: new developments in the theory of real options (Oxford University Press, New York), 34-49.
- DIAS, M. A. G. **Apostila do curso de Análise de Investimentos com opções reais do departamento de Engenharia da Produção da PUC-Rio**. 2006.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton University Press, 1994.
- FINE, C. H.; FREUND, R. M. (1990). **Optimal investment in product-flexible manufacturing capacity**. *Management Science*, v. 36, n. 4, April 1990, pp. 449-466.
- KAMRAD, B.; ERNST, R. (1995). **Multiproduct manufacturing with stochastic input prices and output yield uncertainty**. *Real options in capital investments: models, strategies, and applications*, Ed. by L. Trigeorgis, Praeger Publisher, Westport, Conn., 1995, pp.281-300.
- KULATILAKA N.; MARCUS, A. J. (1992). Project valuation under uncertainty: where does DCF fail?, **Journal of Applied Corporate Finance**, Autumn, pp. 92-100.
- KULATILAKA, N. (1993). **The value of flexibility**: the case of a dual-fuel industrial steam boiler. *Financial Management*, Autumn 1993, pp. 271-280.
- KULATILAKA, N. (1995a). **The value of flexibility**: a general model of real options. *Real options in capital investments: models, strategies, and application*. Ed. by L. Trigeorgis, Praeger Publisher, Westport, Conn., 1995, pp. 89-108.
- PADDOCK, J. L.; SIEGEL, D. R.; SMITH; J. L. (1988). Option valuation of claims on real assets: the case of offshore petroleum leases. **Quarterly Journal of Economics**, August 1988, pp. 479-508.
- SAMANEZ, C.P. **Gestão de investimentos e geração de valor**. Pearson –Prentice Hall, SP, 2006, 382 pp.
- TRIANANTIS, A. J.; HODDER, J. E. (1990). Valuing flexibility as a complex option. **Journal of Finance**, v. 45, n. 2, June 1990, pp. 549-565.
- TRIGEORGIS, L. **Real options** – Managerial flexibility and strategy in resource allocation. MIT Press, Cambridge, MA, 1996, 427 pp.