



VALORAÇÃO ECONÔMICA DE FLEXIBILIDADES INSUMO-PRODUTO EM PLANTAS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Letícia A. Costa¹

Carlos P. Samanez²

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 essa 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 de o projeto poder mudar seus inputs e/ou outputs, selecionando a alternativa que maximize o retorno, de acordo a 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.

1 Departamento de Engenharia Industrial – PUC–Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, CEP: 22.453-900, Rio de Janeiro – RJ. Email: lekonob@gmail.com

2 Departamento de Engenharia Industrial – PUC–Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, CEP: 22.453-900, Rio de Janeiro – RJ. Email: cps@puc-rio.br



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

ABSTRACT

The investments in oil and petrochemist industry are frequently of medium/long term, with valuable embedded real options (managerial and/or operational flexibilities), with 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 gives frequently the wrong decision. This article uses more modern techniques for the economic analysis, with a real scientific approach, by modelling the economic uncertainty as a stochastic process, and using stochastic simulation technics that considers the managerial freedom degree of a project. The modern theory of investment under uncertainty, also named real options theory, separates the value of investment opportunity from the decision rule, so that the latter maximizes the former. The present work has as objective to analyze a GTL (Gas-To-Liquid) project plant using the real options theory. The GTL technology makes possible to transform solids, biomass, liquids and gases into high quality liquids, such as nafta, diesel, parafins and lubricants of high quality. In this study the real option methodology is adjusted to evaluate the capacity of the project changes his input and/or output, choosing the option that maximizes *payoff*, in accordance with each scene, evaluating the construction of a plant with flexibility. The investments happen to be in an atmosphere of uncertainty, where the 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), são os métodos tradicionalmente usados para a tomada de decisões de investimento. Porém, no mundo real, a maioria das decisões tem em comum algumas características tais como



a 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 (1996), 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) 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 conjunto 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 (GN), carvão mineral, óleos pesados (OP) 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 e lubrificantes). 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 técnica de simulação de Monte Carlo (SMC) dos processos



estocásticos para determinar os índices econômicos que permitam analisar a viabilidade do projeto.

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 esse 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 FCD e VPL, deixa-se 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 garantem a coerência que deve unir estratégia e finanças para que os projetos não venham a serem subestimados. A TOR 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 e 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 *et al.* (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 termoeétrica que, para produzir eletricidade, tanto pode utilizar GN como carvão, ou seja, há flexibilidades no *input*.

De uma forma mais profunda, este problema foi novamente estudado por Kulatilaka (1993 e 1995). 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 conjugue essas flexibilidades. Além disso, todos os preços das *commodities* (*inputs/outputs*) são considerados estocásticos.

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

A tecnologia GTL possibilita a transformação de GN, carvão mineral, OP ou biomassas, em combustíveis sintéticos com altíssimo grau de pureza e quase sem elementos poluentes. Essa 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), onde o GS, que entra como insumo, é convertido em hidrocarbonetos líquidos e, uma terceira etapa, chamada hidroprocessamento, onde são produzidos derivados tais 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 (superdiesel) 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:

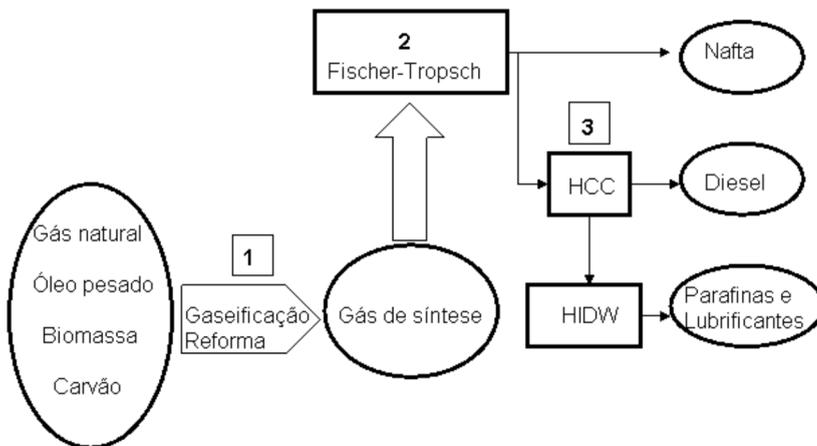


Figura 1 – Etapas do processo GTL (Gas-to-liquid)

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 GS 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 GN, 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 et al. (2003 e 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 Distillate Synthesis*) que é voltado para a produção de destilados médios, principalmente querosene e diesel. A *ExxonMobil*, a 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*. A empresa utiliza tecnologias de sua propriedade para a produção comercial de combustíveis sintéticos e produtos químicos, a partir de carvão mineral de baixa graduação e GN. A *Sasol* opera também minas de carvão para fornecer matéria prima para suas plantas de combustíveis sintéticos, e 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. O Qatar pretende se transformar no maior fornecedor mundial de gás natural liquefeito (GNL) até o final de 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 GN na América Latina (PDVSA na Venezuela, Petrobras no Brasil, Enap no Chile e consórcios no Perú). As perspectivas do GTL como tecnologia são promissórias 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, pode-se citar os seguintes:



- a. As reservas de GN passam a serem 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 passa a ter uma importância estratégica, pois pode permitir que o país beneficie industrialmente os OP, 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 apuração dos títulos de risco e das opções. A análise do comportamento dos preços das *com-*



modities 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 a 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.

O MRM aritmético é também chamado processo de *Ornstein-Uhlenbeck*. 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 *commoditie* no instante t , pode-se 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, é efetuada a regressão:

$$\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (3)$$

Obtendo-se o valor dos coeficientes a e b a partir da regressão (3) e usando a volatilidade calculada através da série histórica de preços da *commoditie*, usa-se as equações (4), (5) e (6) [Dixit e Pindyck (1994)] para calcular os três parâmetros (η , σ , \bar{P}) do MRM :



$$\eta = -\ln(b) \times N \dots\dots\dots \text{velocidade de reversão à média} \quad (4)$$

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

$$\bar{p} = \exp \left[\frac{a + 0,5 \sigma^2 / N}{(1 - b)} \right] \dots\dots\dots \text{média de longo prazo} \quad (6)$$

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 do 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 que 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)]:

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

onde: η = velocidade da reversão á 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 $(\mu - r) / \eta$, onde r representa a taxa livre de risco. Esse 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 seqüência 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:

- a. Modelagem do projeto através de uma série de equações matemáticas e identidades para todas as variáveis de entrada/saída importantes;
- b. Especificação das distribuições de probabilidade neutras ao risco para cada uma das variáveis estocásticas, com base em um histórico de dados;



- c. Uma amostra aleatória é então obtida (usando um gerador de números aleatórios) a partir da distribuição de probabilidades dos dados de entrada;
- d. 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 como *input* é de US\$25.000/bbl. Para plantas com a mesma capacidade, mas com *inputs* sólidos ou líquidos (OP, 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. 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 GN ou OP) em GS.



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

9.2. Custos operacionais – OPEX

Mesmo tendo uma parte aleatória, no presente estudo os custos operacionais (*operating expenditures* – OPEX) são considerados determinísticos (exceto custo com matéria-prima) e iguais 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 como *inputs* o GN e o OP, sendo que os preços dessas *commodities* foram considerados estocásticos e estimados com base no MRM.

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, que seria a primeira fase do processo GTL, utilizando como *input* o GN, é de aproximadamente 3.450 m³ GS / ton. de GN. Caso o *input* seja o 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 OP; *outputs*: nafta, diesel e parafinas; tempo: 3 anos para investimento e 20 anos de produção; fluxos de caixa com periodicidade trimestral; MRM como processo estocástico para todos os preços dos *inputs/outputs*; taxa de desconto livre de risco: $r = 5\%$ a.a; taxa ajustada ao risco: $\mu = 10\%$ a.a, 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 = fluxo de caixa no trimestre t, $Receita_t$, Dep_t = depreciação em t

Cof_t = custos operacionais fixos no trimestre t (2% do CAPEX)



Cv_t = custos variáveis no trimestre t

IR = alíquota de imposto de renda = IRPJ + CSLL = 25% + 9% = 34%

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

$$Custo\ variável_t = Preço_j \times \left[\frac{(bpd \times 90\text{diasr}) \times rendimento_{GS}}{rendimento_j} \right]$$

\therefore para j = 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* (GN e OP). A modelagem também considera a possibilidade de poder variar as proporções dos *outputs* (diversas rotas de produção) de acordo com os fatores técnicos e de mercado. Com a ajuda da TOR, adicionou-se flexibilidade dentro do plano estratégico, a fim de maximizar o *payoff* a cada trimestre.

Efetuada 10.000 simulações estocásticas dos preços dos *inputs* e dos *outputs* com base no MRM neutro ao risco, calcularam-se diversos VPLs para cada uma das possibilidades e, em cada trimestre durante a vida útil do projeto. O valor médio dos VPLs para cada uma das alternativas consideradas se encontra na tabela 3.

Tabela 3- VPL expandido das alternativa

Alternativa	VPL (US\$ milhões)
Rota A com <i>input</i> GN	-1.747
Rota B com <i>input</i> GN	-1.308
Rota C com <i>input</i> GN	-1.079
Rota D com <i>input</i> GN	-503
Rota A com <i>input</i> FLEX	181
Rota B com <i>input</i> FLEX	523
Rota C com <i>input</i> FLEX	762
Rota D com <i>input</i> FLEX	1.036
Rota FLEX com <i>input</i> GN	-740
Rota FLEX com <i>input</i> 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 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 VPLs negativos, por isso não são considerados projetos viáveis economicamente. No caso das plantas com flexibilidade de *input* (com *input* FLEX), onde pode-se utilizar GN ou OP como matéria-prima do processo, os VPLs são todos positivos, sendo que a alternativa que apresenta o maior VPL é a que segue a rota D (US\$1.036 milhões). O 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 VPL's 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 para avaliar plantas GTL. A metodologia apresentada neste artigo mostra 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, em contrapartida, os resultados obtidos conseguem capturar o valor das flexibilidade 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 importância estratégica. Os produtos produzidos são derivados de altíssima qualidade, mais limpos e mais seguros ambientalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E., DUNHAM, F., BOMTEMPO, J. V. e BICALHO, R. (2003). Processos de Produção de Combustíveis Sintéticos: Análise das Trajetórias Tecnológicas. Segundo Congresso Brasileiro de P&D Em Petróleo & Gás, Rio de Janeiro, Junho.

ALMEIDA, E., BOMTEMPO, J. V. e BICALHO, R. (2006). Viabilidade das Plantas GTL: Uma Análise de Sensibilidades das Variáveis Determinantes. Revista



CIER - Comission de Integracion Energética Regional, v. 15, PP. 53-59.

Al-SAADON, F.T. (2005). Economics of GTL Plants. Society of Petroleum Engineers, Texas A&M U, Abril.

BLACK, F. e M. SHOLES (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, no 81, 1973, pp.637-659.

BREKKE, K.A. e SCHIELDROP B. (2000). Investment in flexible technologies under uncertainty, in: M.J. Brennan and L. Trigeorgis, eds., *Project Flexibility, Agency, and Competition: New Developments in the Theory of Real Options* (Oxford University Press, New York), 34-49.

DIAS, M.A.G. (2006). Apostila do curso de Análise de Investimentos com opções reais do departamento de Engenharia da Produção da PUC-Rio.

DIXIT, A.K. e PINDYCK R.S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press.

FINE, C.H. e R.M. FREUND (1990). Optimal Investment in Product-Flexible Manufacturing Capacity. *Management Science*, vol.36, no 4, April 1990, pp.449-466.

KAMRAD, B. e R. ERNST (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., pp.281-300.

KULATILAKA N. e 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, pp.271-280.

KULATILAKA, N. (1995). 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., pp.89-108.

PADDOCK, J.L., D. R. SIEGEL e J. L. SMITH (1988). Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases. *Quarterly Journal of Economics*, August, pp.479-508.



SAMANEZ, C.P. (2006). *Gestão de Investimentos e Geração de Valor*. Pearson –Prentice Hall, SP, 382 pp.

TRIANSTIS, A.J. e J.E. HODDER (1990). Valuing Flexibility as a Complex Option. *Journal of Finance*, vol.45, no2, June 1990, pp.549-565.

TRIGEORGIS, L. (1996). *Real Options - Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. MIT Press, Cambridge, MA, 427 pp.