

CADERNOS DE ENERGIA

Nº 1 - JANEIRO / ABRIL - 2015

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE BIORREFINARIAS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Reynaldo L. N. Taylor-de-Lima

Luiz Fernando L. Legey



COPPE
UFRJ



COPPE
UFRJ
Programa de
Planejamento Energético

CADERNOS DE ENERGIA

Nº1 - JANEIRO | ABRIL - 2015

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICO- ECONÔMICA DE BIORREFINARIAS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Reynaldo L. N. Taylor-de-Lima

Luiz Fernando L. Legey

C122 Cadernos de Energia /PPE – Programa de Planejamento Energético
COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. – Rio de Janeiro : PPE, 2015-80p. : il. ; 20,5 cm

Quadrimestral
ISSN: (impresso)
ISSN: (on-line)

1.Energia – Periódicos. 2. Biomassa – Periódicos. I.Título

CDD: 333.7905

Editor Executivo:

Prof. Marco Aurélio dos Santos

Conselho Editorial:

Prof. Alexandre Salem Szklo

Prof. André Frossard Pereira de Lucena

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey

Prof. Lucio Guido Tapia Carpio

Prof. Marco Aurélio dos Santos

Esta edição do **Cadernos de Energia** contou com apoio financeiro do
PROEX/CAPES

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

PPE – Programa de Planejamento Energético

Centro de Tecnologia, Bloco C, sala 211, Cidade Universitária CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ

APRESENTAÇÃO

Após um período de latência, temos a grata satisfação de retomar a série “Cadernos de Energia”, uma publicação do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, com periodicidade quadrimestral.

O planejamento energético na atualidade é, sem sombra de dúvidas, uma contribuição inegável na sociedade moderna. Seu campo de estudo é iminentemente interdisciplinar e abrangente, repercutindo em todos os campos do conhecimento.

Busca-se com o planejamento energético, reunir a dimensão tecnológica com uma análise política, econômica, social e, enfim, ambiental da questão energética. Esta abordagem exige um esforço transdisciplinar.

Pretendemos com esta publicação, reunir textos da comunidade do nosso programa (professores, alunos e pesquisadores) e disponibilizá-los a sociedade.

As contribuições serão analisadas por membros do conselho editorial e caso sejam recomendadas, serão publicadas nos números posteriores de nossa revista.

A periodicidade da publicação é quadrimestral e estimulamos a comunidade do programa a enviar suas contribuições para análise.

Esperamos que com este novo veículo, tenhamos um canal adicional de divulgações do conhecimento para a sociedade brasileira.

Atenciosamente,
Prof. Marco Aurélio dos Santos
Editor Executivo

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICO- ECONÔMICA DE BIORREFINARIAS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Reynaldo L. N. Taylor-de-Lima

Luiz Fernando L. Legey

¹Este artigo apresenta os resultados dos estudos desenvolvidos durante o projeto de pesquisa de pós-doutorado do primeiro autor, R. L. N. Taylor-de-Lima, realizado no Programa de Planejamento Energético (PPE) da COPPE/UFRJ, sob a supervisão dos professores L. F. L. Legey e A. S. Szklo.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de metodologias para avaliações de viabilidade técnico-econômica relacionadas ao desenvolvimento das tecnologias de conversão de biomassa (especialmente bagaço de cana de açúcar) em biocombustíveis ou bioprodutos, como as que são utilizadas nas assim chamadas biorrefinarias. A ênfase do estudo se concentrou na avaliação dos processos de síntese de Fischer-Tropsch – para a produção de nafta, diesel, querosene de aviação (QAV), ou parafinas e lubrificantes – e de síntese termoquímica para a produção de etanol e álcoois superiores.

A pesquisa discutida a seguir tomou por base estudos realizados anteriormente pelo primeiro autor (D'AVILA et al, 2012), visando a avaliar, do ponto de vista técnico-econômico, as tecnologias de conversão de biomassa em desenvolvimento no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES – da Petrobras. Neste sentido, apresenta-se neste artigo desenvolvimento de modelos para a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômica em condições de incerteza, que permitam representar de forma robusta, ao longo do tempo, variáveis aleatórias como os preços da biomassa, do diesel ou do etanol.

O texto apresenta a metodologia e os resultados de estudos de viabilidade técnica e econômica, que enfocam as diferentes rotas tecnológicas que concorrem pelo mesmo tipo de matéria prima – gás de síntese renovável ou, em última instância, biomassa – estando organizado da seguinte forma. Na seção n.º 1,

apresenta-se uma contextualização dos trabalhos desenvolvidos, descrevendo seus principais objetivos e as linhas de ação em que se encaixam. Na seção n.º 2, apresenta-se um estudo com o propósito de avaliar a viabilidade econômica do processo Biomass-To-Liquids (BTL) para a rota tecnológica de produção de querosene de aviação (bioQAV), nafta petroquímica (bioNafta), e diesel (diesel verde) via síntese de Fischer-Tropsch. Este estudo toma por base metodologia e exemplo utilizados por Swanson, R.M., *et al.* (2010), registrados no relatório sobre o tema publicado pelo *NationalRenewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA², e em D'AVILA et al (2014), no qual são apresentados os resultados de uma análise determinística.

Na seção n.º 3, estende-se o estudo apresentado na seção anterior com o propósito de avaliar a viabilidade econômica do mesmo processo Biomass-To-Liquids (BTL) em condições de incerteza. Parte-se do princípio de que os preços de matérias primas, insumos e produtos de uma planta BTL oscilam no mercado internacional, indicando a necessidade de um tratamento não determinístico, por exemplo, por meio de processos estocásticos, que são modelos que descrevem a evolução de uma variável aleatória ao longo do tempo. São discutidos os fundamentos da modelagem estocástica utilizada, com ênfase na análise dos processos estocásticos mais adequados para projetar os preços futuros de insumos e produtos, por intermédio da Simulação de Monte Carlo. A seção n.º 3 é concluída com a apresentação dos resultados de estudos de caso, que se basearam no problema analisado na seção n.º 2; tais estudos permitem estimar o VPL médio do projeto BTL em condições de incerteza, tanto para a situação em que os preços de mercado são acrescidos de um prêmio, quanto para aquela outra situação em que são adotados preços de mercado sem acréscimo de prêmio.

Na sequência, é apresentado, na seção n.º 4, um estudo de viabilidade técnica e econômica – com base na metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado – para a rota tecnológica de produção de etanol e álcoois superiores via síntese termoquímica catalítica, rota que concorre com a da síntese de Fischer-Tropsch pela mesma matéria prima, qual seja: o gás de síntese renovável ou, em última instância, a biomassa. O estudo da seção n.º 4 introduz a metodologia e o exemplo utilizados por Dutta, A., *et al.* (2011), registrados no relatório sobre o tema publicado pelo *NationalRenewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA³. Considera-se para tanto uma planta para produzir etanol e álcoois superiores pela rota termoquímica, considerada na citada referência,

localizando-a no mesmo local de uma usina de açúcar e etanol de primeira geração no Estado de São Paulo. Considera-se que a planta de etanol aproveita uma disponibilidade de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia, que são convertidos 1.560 toneladas de gás de síntese por dia e, em seguida, por intermédio de síntese catalítica, em 699.000 litros/dia de etanol e 84.200 litros/dia de álcoois superiores. Determina-se, com base nos preços de mercado de matérias primas, insumos e produtos, o valor presente líquido (VPL) do projeto e, ainda, o preço mínimo de venda do etanol (PMVE) que garante valores não negativos de VPL.

Na seção n.º 5, estende-se o estudo realizado na seção anterior, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do processo produção de etanol e álcoois superiores via síntese termoquímica catalítica em condições de incerteza. Como na seção n.º 3, parte-se do princípio de que os preços de matérias primas, insumos e produtos de uma planta de etanol oscilam no mercado internacional, devendo ser tratados por meio de processos estocásticos. São utilizados os mesmos princípios de modelagem estocástica discutidos na seção n.º 3, concluindo-se com a apresentação dos resultados de estudos de caso, que se basearam no problema analisado na seção anterior. Tais estudos permitem estimar o VPL médio do projeto em condições de incerteza, para preços de mercado, demonstrando não ser necessário neste caso embutir um prêmio, a ser pago sobre o preço do etanol, para tornar não negativo o VPL médio do projeto.

Por fim, na seção n.º 6, é apresentado um resumo dos principais resultados alcançados ao longo do desenvolvimento do trabalho, assim como as principais conclusões dos estudos até aqui realizados e as recomendações para estudos futuros.

²Swanson, R. M., Satrio, J. A., Brown, R. C., Platon, A., Hsu, D. D., “Techno-Economic Analysis of Biofuels Production Based on Gasification”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-6A20-46587, November 2010.

³Dutta, A., Talmadge, M., Hensley, J., et al., “Process Design and Economics for Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol: Thermochemical Pathway by Indirect Gasification and Mixed Alcohol Synthesis”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-5100-51400, May 2011.

2. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS PELA SÍNTESE DE FISCHER-TROPSCH

Com o objetivo de avaliar a economicidade do processo Biomass-To-Liquids (BTL), analisa-se nesta seção o caso de uma planta de produção de biocombustíveis pela rota da síntese de Fischer-Tropsch, na qual o gás de síntese renovável é obtido a partir da gaseificação de bagaço de cana, apresentando-se também um estudo inicial, realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da planta BTL por meio da metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado.

2.1 O Problema em Estudo

Para definir a planta BTL a ser estudada, tomam-se por base dados fornecidos no relatório do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA (Swanson *et al.*, 2010); considera-se no presente estudo o aproveitamento de uma disponibilidade diária de 2.000 toneladas de bagaço de cana de açúcar (em base seca), no Estado de São Paulo, que são convertidas em 3.700 toneladas de gás de síntese por dia, para serem transformadas, em seguida, por intermédio de síntese de Fischer-Tropsch e hidrobeneficiamento, em 2.284 barris por dia de combustíveis líquidos (C5+). Esta vazão corresponde a uma produção anual de 112.660.160 litros de combustíveis líquidos (ou 16.335.723 litros de bioQAV, 81.678.616 litros de diesel verde e 14.645.821 litros de bio nafta), quando se considera que a planta BTL opera durante 7446 horas ou 310,25 dias por ano.

O relatório do NREL reflete previsões recentes daquele laboratório para um

projeto do processo de produção de biocombustíveis com base em gaseificação de biomassa, incluindo as últimas pesquisas e os últimos desenvolvimentos nas áreas de gaseificação de biomassa, limpeza de gás de síntese e síntese de biocombustíveis (três áreas chaves do processo), além de incluir avanços em outras áreas como integração energética e utilidades.

A operação da planta BTL analisada está dividida em sete grandes etapas de processo, a saber: pré-tratamento da carga (Área 100), gaseificação da biomassa (Área 200), limpeza do gás (Área 300), síntese de combustíveis (Área 400), hidrocrackeamento e fracionamento (Área 500), cogeração (Área 600), e separação de ar (Área 700), às quais se soma o *offsite* (Área 000). A análise apresentada neste relatório adapta para a biomassa bagaço de cana o modelo de avaliação técnico-econômica do NREL, desenvolvido em Swanson *et al.* (2010) para o processo de conversão de resíduos de milho (*cornstover*) em gás de síntese renovável e, posteriormente, em biocombustíveis por intermédio de síntese de Fischer-Tropsch e hidrobeneﬁciamento.

Tabela (2.1) – Produção de Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Investimento de Capital

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - PRODUÇÃO DE BIO-QAV - INVESTIMENTO DE CAPITAL (CAPEX)		
Investimento Total	Custo de Aquisição (US\$)	Custo Instalado (US\$)
Área de Processo		
Área 100: Prétratamento	10.049.464	22.676.317
Área 200: Gaseificação	13.142.494	28.179.170
Área 300: Limpeza do gás	11.123.329	29.308.536
Área 400: Síntese de combustíveis	20.034.328	58.668.036
Área 500: Hidrocrackeamento / Fracionamento	9.774.152	29.517.940
Área 600: Cogeração	30.958.800	38.904.312
Área 700: Separação de ar	12.421.000	19.465.392
Área 000: Off-site	12.900.428	27.206.365
ISBL (Áreas 100 - 500)		168.349.999
OSBL (Áreas 600 - 700)		85.576.069
Custo Total Instalado (CTI)	120.403.995	253.926.068
Custos Indiretos		
Custo de engenharia e construção (32% Custo Aquisição)		107.159.556
Despesas de construção (34% Custo Aquisição)		38.529.278
Taxas Legais e dos Contratadores (23% Custo Aquisição)		40.937.358
		27.692.919
Custos Diretos e Indiretos Totais (CDIT)		361.085.624
Contingência (20% CDIT)		72.217.125
Investimento Fixo de Capital (IFC)		433.302.748

⁴ Swanson, R. M., Satrio, J. A., Brown, R. C., Platon, A., Hsu, D. D., “Techno-Economic Analysis of Biofuels Production Based on Gasification”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report - NREL/TP-6A20-46587, November 2010.

⁵ Dutta, A., Talmadge, M., Hensley, J., et al., “Process Design and Economics for Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol: Thermochemical Pathway by Indirect Gasification and Mixed Alcohol Synthesis”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report - NREL/TP-5100-51400, May 2011.

Em Swanson *et al.* (2010), a metodologia adotada na avaliação utiliza a filosofia da enésima planta industrial, pela qual a análise técnico-econômica em etapa pré-comercial deve refletir o desempenho econômico da tecnologia empregada em sua etapa madura de produção. Sendo assim, no projeto em tela, considera-se que a planta BTL analisada é construída a partir de tecnologia já estabelecida; admite-se que a planta de produção de biocombustíveis – composta pelas sete áreas de processo mencionadas acima – apresenta os custos de capital (CAPEX) extraídos de Swanson *et al.* (2010) e mostrados individualmente, em US\$ de 2007, na Tabela (2.1), para cada uma das áreas de processo. A Tabela (2.1) mostra ainda que o Investimento Fixo de Capital (IFC) na base *United States Gulf Coast* (USGC) é igual a US\$ 433.302.748 (quatrocentos e trinta e três milhões, trezentos e dois mil, setecentos e quarenta e oito dólares americanos), valor este que, depois de multiplicado por um fator de internação igual a 1,7843 (sugerido pelos profissionais do grupo de engenharia de custos da Petrobras/Cenpes), fornece o Investimento Fixo de Capital - Base Brasil (IFC-BR) igual a US\$ 773.142.094 (setecentos e setenta e três milhões, cento e quarenta e dois mil, e noventa e quatro dólares americanos).

De acordo com o relatório do NREL, essa importância deverá ser desembolsada ao longo dos dois anos e meio reservados para o período de construção da planta, em parcelas correspondentes a 8% no primeiro ano, 60% no segundo ano e 32% do valor total do IFC-BR no terceiro e último ano do período de construção. Seguindo Swanson *et al.* (2010), considera-se adicionalmente que 100% do valor total do IFC-BR serão provenientes de capital próprio dos acionistas; além disso, considera-se que durante o período do *startup* da planta, com duração prevista para seis meses, a receita da comercialização dos produtos BTL ficará restrita a 50% da receita regular desta, que os custos variáveis serão computados como apenas 75% dos custos variáveis regulares da planta, e que os custos fixos já alcançarão 100% dos custos fixos regulares da planta. Adicionalmente, na análise aqui apresentada, os custos fixos totais serão repartidos, de tal forma que 60% do seu valor total sejam lançados na rubrica “custo fixo” do fluxo de caixa do projeto, enquanto os 40% restantes são lançados como despesas administrativas.

A metodologia de cálculo das receitas e dos custos operacionais do projeto (OPEX) segue Swanson *et al.* (2010) e admite que a mudança da biomassa resíduos de milho para bagaço de cana não tem impacto significativo sobre os fluxos de insumos, produtos e utilidades consumidos ou produzidos. Sendo assim, para

uma capacidade diária de processamento de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) – que, quando se considera um regime de operação de 7.446 horas ou 310,25 dias por ano, equivalem a 620.500 toneladas de bagaço de cana por ano ou a 155.125 toneladas de bagaço de cana por trimestre – conduz a uma produção anual de biocombustíveis de 112.660.160 litros de combustíveis líquidos (C5+).

A receita da planta de biocombustíveis em estudo é calculada levando-se em conta os volumes produzidos de cada um dos biocombustíveis individualmente, multiplicando-os pelos preços correspondentes no mercado. Mantendo-se a mesma conversão adotada em Swanson *et al.* (2010), o processamento de 2.000 toneladas de biomassa (em base seca) por dia fornece 2.284 barris por dia ou 112.660.160 litros de combustíveis líquidos (C5+) por ano. De acordo com a orientação de especialistas, uma planta Petrobras de biocombustíveis de segunda geração, a serem produzidos via gaseificação de biomassa, seguida por síntese de Fischer-Tropsch e hidrobeneficiamento, deve ter como foco a maximização da produção de querosene de aviação de fonte renovável (BioQAV). Com base nessa premissa e nos rendimentos estimados pelos engenheiros de processamento da gerência de processos de conversão de biomassa do Cenpes, os 112.660.160 litros de combustíveis líquidos (C5+) produzidos em um ano pela planta BTL devem corresponder a uma produção de 60.047.865 litros por ano (53,3% vol) de bioQAV, 27.489.079 litros por ano (24,4% vol) de diesel verde, e 25.123.216 litros por ano (22,3% vol) de bionafta.

2.2 Estudo da Viabilidade Econômica – Análise Determinística

Quando a abordagem da análise de viabilidade econômica é determinística, a receita da planta de biocombustíveis é calculada considerando-se um único cenário de preços; no caso em estudo, consideram-se preços constantes para os produtos, calculados com base na paridade com a exportação e corrigidos para US\$ de 2007. Este cálculo toma como referência os preços CIF médios, no terceiro trimestre de 2013, para o querosene de aviação (QAV), para o diesel e para a nafta, na base USGC, preços estes fornecidos pela Administração de Informações de Energia dos EUA (US-EIA, na sigla em inglês), principal agência do “USStatistical System”.

No caso do QAV, esse preço é igual a US\$ 0,802 por litro ou a 2007 US\$ 0,873 por litro, do qual se descontam os custos de exportação, para se chegar ao valor de 2007 US\$ 0,842 por litro, estimativa para o preço FOB-BR do bioQAV

de exportação para a USGC. Para os demais combustíveis, tendo como base a paridade com a exportação, chega-se aos valores de 2007 US\$ 0,852 por litro, para o preço do diesel de exportação, e de 2007 US\$ 0,803 por litro, para o preço da nafta de exportação. Sobre estes valores, considera-se o mesmo prêmio de qualidade de 84,9%, adotado em Swanson *et al.* (2010), que leva aos valores finais de US\$ 1,557 por litro, para o preço do bioQAV, de US\$ 1,575 por litro, para o preço do diesel verde, e de US\$ 1,485 por litro, para o preço da bionafta, preços esses que são utilizados no cálculo da receita obtida com a venda de cada um dos biocombustíveis. Utilizando-se esses valores de preços e os volumes de biocombustíveis comercializados num ano típico de operação da planta, chega-se a uma receita anual bruta de US\$ 181.716.373, como indicado na Tabela (2.2).

Tabela (2.2) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Receitas Bruta e Operacional Líquida.

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-QAV -		RECEITAS DA COMERCIALIZAÇÃO DE PRODUTOS			
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL			
		Ano 2			
Itens	Unidade	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Receita Bruta Anual					181.716.373
Bio QAV					93.485.999
Quantidade	Litros	15.011.966	15.011.966	15.011.966	15.011.966
Preço Unitário	US\$ / Litro	1,5569	1,5569	1,5569	1,5569
Diesel Verde					43.304.866
Quantidade	Litros	6.872.270	6.872.270	6.872.270	6.872.270
Preço Unitário	US\$ / Litro	1,5753	1,5753	1,5753	1,5753
Bio Nafta					37.301.619
Quantidade	Litros	6.280.804	6.280.804	6.280.804	6.280.804
Preço Unitário	US\$ / Litro	1,4847	1,4847	1,4847	1,4847
Produto 4					-
Quantidade	Litros				
Preço Unitário	US\$ / Litro				
Energia Elétrica					7.623.889
Quantidade	MW.h	30.454	30.454	30.454	30.454
Preço Unitário	US\$ / MW.h	62,59	62,59	62,59	62,59
(-) Impostos					-
Impostos					
(=) Receita Operac. Líquida Anual					181.716.373

Cabe acrescentar que na memória de cálculo do valor da receita anual bruta da planta BTL, apresentada na Tabela (2.2), aparece uma parcela de receita relativa à venda da energia elétrica gerada na planta BTL e não consumida no processo, que fica disponível para ser comercializada no mercado atacadista de energia.

De acordo com o relatório do NREL (Swanson *et al.*, 2010), a planta BTL em questão gera um total de 31,42 MW de potência, dos quais consome 15,06 MW

no processo, e exporta uma potência líquida de 16,36 MW. Considerando-se que a planta BTL em estudo opera 7.446 horas por ano, é possível contabilizar no cálculo da receita uma disponibilidade total de energia elétrica de 121.817 MWh por ano (ou 30.454 MWh por trimestre) que estão disponíveis para serem comercializados. O preço de venda da energia elétrica para a planta BTL em estudo foi estimado em US\$ 58,00 (ou R\$ 135,58) por MWh, tomando-se por base o preço médio da energia gerada a partir de biomassa, ofertada no 16º leilão de energia nova A-5, ocorrido em 29/08/2013, para projetos com entrega prevista para janeiro de 2018. Em dólares de 2007, esse preço passa a ser igual a US\$ 62,59 por MWh. Com esse preço de venda, chega-se a uma receita anual bruta de US\$7.623.889 pela comercialização de energia elétrica.

O detalhamento do cálculo do custo variável anual da planta BTL é mostrado na Tabela (2.3.b), para o quarto ano de operação, no qual o valor total calculado é de US\$ 29.588.483, uma vez que ao valor total de US\$ 22.331.114 são acrescidos custos adicionais de US\$ 7.257.369, relativos aos inventários de catalisadores que são substituídos a cada três anos (vide Tabela (2.3.a)). Na Tabela (2.3.c), é apresentado o “Custo Fixo Anual” da Planta BTL, considerado igual ao adotado pelo NREL em Swanson *et al.* (2010).

Tabela (2.3.a) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Custo Variável - Catalisadores

Custo Adicional a Cada 3 Anos	Estudo do NREL	Petrobras
Catalisadores (US\$ / Triênio)		
Deslocamento Gás-Água	104.732	104.732
Reforma a Vapor (níquel-alumínio)	103.412	103.412
Leito de ZnO	424.410	424.410
PSA Packing	497.135	497.135
Catalisadores Fischer-Tropsch	6.127.680	6.127.680
Custo Total de Produção	7.257.369	7.257.369

Os dispêndios com insumos e utilidades também são considerados constantes ao longo da vida do projeto e, com exceção da biomassa, são considerados iguais aos adotados em Swanson *et al.* (2010). No caso da Biomassa, considera-se o preço do bagaço de cana em base seca igual a US\$14,53 (ou 2007 US\$ 15,70) por tonelada, tendo como referência os estudos realizados por D’AVILA et al. (2010) e por SENNEJUNKER (2012) para a determinação do custo de oportunidade do bagaço de cana, determinado pelo preço máximo que viabiliza a sua utilização como matéria prima na cogeração de energia, tendo o preço de venda da energia

elétrica no mesmo nível já adotado anteriormente (US\$ 58,00 por MW.h). Com base nessas informações de preço e consumo da matéria prima biomassa, e dos dispêndios com os demais insumos e utilidades, divulgados pelo NREL em Swanson *et al.* (2010), procede-se ao cálculo do custo variável anual da planta BTL, chegando-se a um valor total de US\$ 29.588.483 para um ano típico.

Tabela (2.3.b) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Custo Variável de Produção

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-GAV - CUSTOS DA PRODUÇÃO DA PLANTA -						
CENÁRIO		5000	FASE OPERACIONAL			
Itens		Unidade	Ano 4			
			Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Custo Variável Anual						29.588.483
Matéria Primas e Insumos						21.133.663
Biomassa [Com Stover]						
Quantidade	ton seca		-	-	-	-
Preço Unitário	US\$ / ton		82,70	82,70	82,70	82,70
Biomassa [Bagaço de Cana]						9.741.850
Quantidade	ton seca		155.125	155.125	155.125	155.125
Preço Unitário	US\$ / ton		15,70	15,70	15,70	15,70
Biomassa [Madeira]						-
Quantidade	ton		-	-	-	-
Preço Unitário	US\$ / ton		99,00	99,00	99,00	99,00
Hidroprocessamento						2.834.444
Quantidade	ton		177.153	177.153	177.153	177.153
Preço Unitário	US\$ / ton		4,00	4,00	4,00	4,00
Outros Custos de Insumos						1.300.000
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Catalisador - Deslocamento Gás-Água						104.732
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Catalisador - Reforma a Vapor						103.412
Quantidade	Litro					
Preço Unitário	US\$ / Litro					
Catalisador - Leito de ZnO						424.410
Quantidade	Kg					
Preço Unitário	US\$ / Kg					
Catalisador - PSA Packing						497.135
Quantidade	Kg					
Preço Unitário	US\$ / Kg					
Catalisador - Fischer-Tropsch (Cobalto)						6.127.680
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Insumo 10						
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Utilidades						8.454.820
Vapor de Processo						3.454.820
Quantidade	ton		105.330	105.330	105.330	105.330
Preço Unitário	US\$ / ton		8,20	8,20	8,20	8,20
Água de Resfriamento						3.500.000
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Descarte de Cinzas / Escória						1.500.000
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					
Utilidade 4						-
Quantidade	ton					
Preço Unitário	US\$ / ton					

Tabela (2.3.c) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Custo Fixo de Produção

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-DAY - CUSTOS DA PRODUÇÃO DA PLANTA					
Itens	Unidade	FASE OPERACIONAL			
		Ano 4			
		Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Custo Fixo Anual					7.440.000
Custos de Trabalho					
Trabalho - Operação (4 turnos)	US\$				
Trabalho - Manutenção (1,6% ISBL a.a.)	US\$				
Trabalho - Laboratório (20% Trab. Oper.)	US\$				
Outros Custos Fixos					
Benefícios e overhead geral (90% C.Trab.)	US\$				
Materiais - Manutenção (3,0% IFC a.a.)	US\$				
Seguros e taxas (0,7% IFC a.a.)	US\$				

Com base nos valores de receitas, custos e despesas – obtidos como acima exposto – monta-se o fluxo de caixa descontado do projeto em tela, que é mostrado na Tabela (2.4). No fluxo de caixa descontado da Tabela (2.4) são mostrados os fluxos de caixa anuais do projeto ao longo de 25 anos, período considerado pelos autores como adequado para a amortização do investimento em uma planta industrial como a aqui estudada. O fluxo de caixa neste caso é descontado a uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 9% ao ano (a.a.), valor comumente adotado no Brasil para empreendimentos que seguem um viés de sustentabilidade.

Analisando-se a Tabela (2.4), observa-se na coluna “Valor Presente” que o projeto para produção de biocombustíveis pela síntese de Fischer-Tropsch apresenta “Receita Bruta” de US\$ 1.743.245.476, “Custo Fixo” de US\$ 43.847.995, “Custo Variável” de US\$ 243.161.436 e “Despesas Totais” (soma de despesas comerciais, administrativas e financeiras) de US\$ 49.494.572. Além disso, verifica-se que o projeto paga US\$ 285.743.030 em “Tributos (IR + CSLL)” e contabiliza um “Lucro Líquido” de apenas US\$ 554.677.646.

Tabela (2.4.a) -- -- Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Fluxo de Caixa Descontado

CENÁRIO	FASE PRE-OPERACIONAL			FASE OPERACIONAL		
	Ano -3	Ano -2	Ano -1	Ano 0	Ano 1	Ano 2
1						
Itens	Valor Presente					
Receita Bruta (1)	1.743.245,476				136.287.280	181.716.373
Vendas Menas					136.287.280	181.716.373
Vendas Extras						
(-) Impostos					-	-
(=) Receita Operac. Líquida	1.743.245,476				136.287.280	181.716.373
Custo Total (2)	287.009,431				31.261.094	26.793.114
(-) Custo Fixo	4.3847,995				4.464.000	4.464.000
(-) Custo Variável	24.3161,436				26.797,094	22.331.114
(=) Lucro Bruto	1.456.236,045				105.026,186	154.921.260
(-) Depreciação	303.769,990				30.925,684	30.925,684
(=) Lucro Operacional	1.152.466,054				74.100,503	123.995,576
Despesa Total (3)	454.94,572				-	-
(-) Despesas Comerciais					5.761,746	6.810,327
(-) Despesas Administrativas					2.725,746	3.634,327
(-) Despesas Financeiras (Juros)					2.976,000	2.976,000
(=) LAIR	840.420,676				-	(0)
(+) Abatimento do Prejuízo (6)					68.398,757	117.385,248
(=) LAIR Modificado (Base de Cálculo)					-	-
(-) Tributos (IR + CSLL)	285.743,030				-	-
(=) Lucro Líquido	554.677,646				-	-
(+) Depreciação					247.405,470	247.405,470
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	773.142,094				61.851,367	463.885,256
(-) Manutenção de Capacidade	0				-	-
(+) Financiamento	773.142,094				-	-
(-) Financiamento - Amortização					-	-
(+) Capital de Giro					(42.231,999)	(14.077,333)
(+) Valor Residual (5)						
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	113.472,908				(51.851,367)	(463.885,256)
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%					
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,8%					
Prêmio sobre o Preço	84,5%					
(1) Receita da comercialização de produtos					Capital de Giro / Alternativa 1	56.309,332
(2) Custo de operação da nova tecnologia					Capital de Giro / Alternativa 2	18.171,637
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia					Capital de Giro / Alternativa 3	64.995,412
(4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil					Capital de Giro / Alternativa 4	0
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)						
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que represente a inferior a 30% do lucro líquido do ano em que será creditado						

Cronograma de Desembolso na Construção

Ano 1
8,0%

Ano 2
60,0%

Ano 3
32,0%

Tabela (2.4.b) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Fluxo de Caixa Descontado

CENÁRIO 1		FASE OPERACIONAL					
GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-QAV - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -		Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
Itens	Valor Presente						
Receita Bruta (1)	1.743.245,476	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas de insumos		181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas de insumos							
(-) Impostos							
(=) Receita Operac. Líquida	1.743.245,476	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Custo Total (2)	287.009,431	26.795,114	34.052,483	26.795,114	26.795,114	34.052,483	26.795,114
(-) Custo Fixo	43.847,985	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000
(-) Custo Variável	243.161,436	22.331,114	29.588,483	22.331,114	22.331,114	29.588,483	22.331,114
(=) Lucro Bruto	1.455.236,045	154.921,260	147.663,891	154.921,260	154.921,260	147.663,891	154.921,260
(-) Depreciação	303.769,930	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(=) Lucro Operacional	1.152.466,054	123.995,576	116.738,207	123.995,576	123.995,576	116.738,207	123.995,576
Despesa Total (3)	49.494,572	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327
(-) Despesas Comerciais		3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000
(-) Despesas Financeiras (Juros)		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
(=) LAIR	840.426,676	117.385,248	110.127,879	117.385,248	117.385,248	110.127,879	117.385,248
(+) Abatimento do Prejuízo (6)							
(=) LAIR Modificado (Base de Cálculo)		117.385,248	110.127,879	117.385,248	117.385,248	110.127,879	117.385,248
(-) Tributos (IR + CSLL)	285.743,030	39.910,984	37.443,479	39.910,984	39.910,984	37.443,479	39.910,984
(=) Lucro Líquido	554.677,646	77.474,264	72.684,400	77.474,264	77.474,264	72.684,400	77.474,264
(+) Depreciação		30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	773.142,084						
(-) Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	773.142,084						
(-) Financiamento - Amortização	0	0	0	0	0	0	0
(+) Capital de Giro							
(+) Valor Residual (5)							
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	113.472,908	108.599,948	103.610,084	108.599,948	108.599,948	103.610,084	108.599,948
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,8%						
Prêmio sobre os Preços	84,9%						
(1) Receita da comercialização de produtos							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesa análoga à inovatecnologia							
(4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual projetado considerando continuidades do fluxo a partir do décimo ano (prepetuidade)							
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que presente parcela inferior a 30% do lucro líquido daquele ano em que se foi creditado							

Tabela (2.4.c) – – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Fluxo de Caixa Descontado

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA – BIO-QUAV – FLUXO DE CAIXA DE \$CONTADO –		FASE OPERACIONAL					
CENÁRIO	1	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14
Itens	Valor Presente						
Receita Bruta (1)	1.743.245,476	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas Interinas		181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas Externas		-	-	-	-	-	-
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-
(=) Receita Operas. Líquidas	1.743.245,476	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Custo Total (2)	287.009,431	26.795,114	34.052,483	26.795,114	26.795,114	34.052,483	26.795,114
(-) Custo Fixo	43.847,995	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000
(-) Custo Variável	243.161,436	22.331,114	29.588,483	22.331,114	22.331,114	29.588,483	22.331,114
(=) Lucro Bruto	1.456.236,045	154.921,260	147.663,891	154.921,260	154.921,260	147.663,891	154.921,260
(-) Depreciação	303.769,990	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(=) Lucro Operacional	1.152.466,054	123.995,576	116.738,207	123.995,576	123.995,576	116.738,207	123.995,576
Despesa Total (3)	49.494,572	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327	6.610,327
(-) Despesas Comerciais		3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000
(-) Despesas Financeiras (Juros) (4)		-	-	-	-	-	-
(=) LAIR	840.420,676	117.385,248	110.127,879	117.385,248	117.385,248	110.127,879	117.385,248
(+) Abatimento do PIS/COFINS (5)		-	-	-	-	-	-
(-) LAIR Modificado (Base de Cálculo)		117.385,248	110.127,879	117.385,248	117.385,248	110.127,879	117.385,248
(-) Tributos (IR + CSLL)	285.743,030	39.910,984	37.443,479	39.910,984	39.910,984	37.443,479	39.910,984
(=) Lucro Líquido	554.677,646	77.474,264	72.684,400	77.474,264	77.474,264	72.684,400	77.474,264
(+) Depreciação		30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(-) Investimento Fio de Capital (4)	773.142,094	-	-	-	-	-	-
(-) Manutenção de Capital de	0	-	-	-	-	-	-
(+) Financiamento	773.142,094	-	-	-	-	-	-
(-) Financiamento - Amortização	0	-	-	-	-	-	-
(+) Capital de Giro		-	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual (6)		-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	113.472,908	103.399,948	103.610,084	103.399,948	103.399,948	103.610,084	103.399,948
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,8%						
Prêmio sobre os Preços	34,9%						
(1) Receita da comercialização de produtos							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesas ativas e a nova tecnologia							
(4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)							
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos anos (até quatro anos) desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido do que ano em que está creditado							

Tabela (2.4.d) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Fluxo de Caixa Descontado

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA – BIO-DAV - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -		FASE OPERACIONAL					
CENÁRIO	1	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Itens	Valor Presente						
Receita Bruta (1)	1.743.245,475	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas de injeções		181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Vendas de Etanol		-	-	-	-	-	-
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-
(=) Receita Operac. Líquida	1.743.245,475	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373	181.716,373
Custo Total (2)	287.009,431	26.795,114	34.052,483	26.795,114	26.795,114	34.052,483	26.795,114
(-) Custo Fio	43.247,995	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000
(-) Custo Variável	243.761,436	22.331,114	29.588,483	22.331,114	22.331,114	29.588,483	22.331,114
(=) Lucro Bruto	1.456.236,045	154.921,260	147.663,891	154.921,260	154.921,260	147.663,891	154.921,260
(-) Depreciação	303.769,990	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(-) Lucro Operacional	1.152.466,054	123.995,576	116.738,207	123.995,576	116.738,207	123.995,576	123.995,576
Despesa Total (3)	49.454,572	6.510,327	6.510,327	6.510,327	6.510,327	6.510,327	6.510,327
(-) Despesas Comerciais		3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327	3.634,327
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000
(-) Despesas Financeiras (Juros)		-	-	-	-	-	-
(=) LAUR	840.420,676	117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248
(+) Abatimento do Prejuízo (6)							
(=) LAUR Modificado (Base de Cálculo)		117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248	117.385,248
(-) Tributos (IR + CSLL)	285.743,030	39.910,984	37.443,479	39.910,984	37.443,479	39.910,984	39.910,984
(=) Lucro Líquido	554.677,646	77.474,264	72.941,769	77.474,264	77.474,264	72.941,769	77.474,264
(+) Depreciação		30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684
(-) Investimento Fio de Capital (4)	773.142,094						
(-) Manutenção de Capitalidade	0						
(+) Financiamento	773.142,094						
(-) Financiamento - Amortização							
(+) Capital de Giro							
(+) Valor Residual (5)							
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	113.472,503	103.359,948	103.359,948	103.359,948	103.359,948	103.359,948	103.359,948
Taxa de Descomb. do Flux Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,9%						
Prêmio sobre os Preços	84,9%						
(1) Receita com a comercialização de produtos							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia							
(4) Investimento pré-implementação da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerado continuado de do fluxo a partir do décimo ano (perpetuado)							
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido daquele ano em que seja creditado							

Tabela (2.4.e) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa – Fluxo de Caixa Descontado

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-GAV - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -		FASE OPERACIONAL					
		CENÁRIO 1	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Itens	Valor Presente	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373
Receita Bruta (1)	1.743.245.476	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373
Vendas Internas		181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373
Vendas Externas		-	-	-	-	-	-
(- Impostos		-	-	-	-	-	-
(=) Receita Operac. Líquida	1.743.245.476	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373	181.716.373
Custo Total (2)	287.069.431	26.795.114	34.952.483	26.795.114	26.795.114	34.952.483	34.952.483
(- Custo Fixo	43.847.995	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000
(- Custo Variável	243.161.436	22.331.114	29.588.483	22.331.114	22.331.114	29.588.483	29.588.483
(=) Lucro Bruto	1.456.236.045	154.921.260	147.663.891	154.921.260	154.921.260	147.663.891	147.663.891
(- Depreciação	303.769.990	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684
(=) Lucro Operacional	1.152.466.054	123.995.576	116.738.207	123.995.576	123.995.576	116.738.207	116.738.207
Despesa Total (3)	49.434.572	6.810.327	6.810.327	6.810.327	6.810.327	6.810.327	6.810.327
(- Despesas Comerciais		3.634.327	3.634.327	3.634.327	3.634.327	3.634.327	3.634.327
(- Despesas Administrativas		2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000
(- Despesas Financeiras (Juros)		-	-	-	-	-	-
(=) LAUR	840.420.676	117.385.248	117.385.248	117.385.248	117.385.248	117.385.248	117.385.248
(+ Abatimento do Prejuízo (6)							
(=) LAR Modificado (Base de Cálculo)							
(- Tributos (IR + CSLL)	285.743.030	39.910.984	37.443.479	39.910.984	39.910.984	37.443.479	37.443.479
(=) Lucro Líquido	554.677.646	77.474.264	72.884.400	77.474.264	77.474.264	72.884.400	72.884.400
(+ Depreciação		30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684
(- Investimento Fixo de Capital (4)	773.142.094						
(- Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	773.142.094						
(- Financiamento – Amortização							
(+) Capital de Giro							
(+ Valor Residual (5)							
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	113.472.908	108.399.948	103.610.084	108.399.948	108.399.948	108.399.948	159.919.416
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,8%						
Prêmio sobre o Preço	84,5%						

(1) Receita da comercialização de produtos
(2) Custo de operação da nova tecnologia
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia
(4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos e até quatro anos, desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido do que a no em que seis criado

Após todas as considerações, e apesar dos elevados custos computados, o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é positivo, de valor igual a US\$ 113.472.908, como consequência do robusto prêmio de 84,9% considerado, seguindo o relatório do NREL. A Taxa Interna de Retorno (TIR) para o mesmo fluxo de caixa é de 10,8%, ou seja, maior do que a taxa mínima de atratividade considerada de 9,0%.

Considerando-se, de outra forma, o prêmio sobre o preço dos biocombustíveis como uma variável livre e buscando-se o valor deste prêmio que zera o VPL do projeto chega-se a 59,2%, valor bem inferior ao prêmio adotado no cálculo anterior. Os valores dos preços para os biocombustíveis calculados com o prêmio que zera o VPL do projeto costumam ser chamados de preços mínimos de venda dos combustíveis.

3. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS PELA SÍNTESE DE FISCHER-TROPSCH EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Esta seção introduz a consideração de incertezas na metodologia de análise da viabilidade técnica e econômica de uma planta para produção de biocombustíveis. Discute-se primeiramente o processo estocástico de Ornstein-Uhlenbeck – aqui chamado de Movimento de Reversão à Média (MRM) – para, em seguida, apresentar a análise de viabilidade técnico-econômica propriamente dita.

3.1. Metodologia para Tratamento das Incertezas: O Movimento de Reversão à Média

De acordo com HULL (2009, p. 259), qualquer variável cujo valor varia com o tempo de uma forma aleatória, segue um processo estocástico – ou processo aleatório. Em geral, no instante τ a variável (aleatória) é representada por $X(t)$, que é também denominada estado do processo nesse instante. No caso de *commodities* – como o petróleo, seus derivados e o gás natural – os preços tendem a estar relacionados com um preço de equilíbrio de longo prazo: se o preço de um combustível, por exemplo, for muito elevado, as empresas do ramo ficam muito capitalizadas, aumentando o investimento e a oferta futura. Preços elevados também tornam lucrativas produções marginais (de maiores custos), bem como incentivam pesquisas de combustíveis alternativos e, a partir de determinados níveis, viabilizam estes combustíveis. Por outro lado, preços muito baixos têm o efeito inverso: desestimulam os investimentos, levando à redução da oferta futura, o que causa elevação de preços. Ou seja, no curto prazo, o preço de

uma commodity pode subir ou descer aleatoriamente; no longo prazo, no entanto, este mesmo preço tende para um determinado valor de equilíbrio, que costuma estar relacionado ao custo marginal de produção da commodity. Este tipo de comportamento pode ser bem representado pelo modelo de reversão à média de Ornstein-Uhlenbeck, aqui chamado simplesmente de Movimento de Reversão à Média (MRM).

O processo estocástico de Ornstein-Uhlenbeck é um caso particular dos chamados processos de Markov, cujo atributo fundamental é o de conter em $X(t)$ toda informação relevante para conhecer-se $X(t+1)$. Mais formalmente, escreve-se:

$$P(X(t+1)/X(1), X(2), \dots, X(t)) = P(X(t+1)/X(t)) \quad (3.1)$$

O processo estocástico que segue um movimento de reversão à média aritmético, inspirado no modelo de um parâmetro de SCHWARTZ (1997), é representado pela equação:

$$dX(t) = \eta(\bar{X} - X(t)) dt + \sigma dz(t) \quad (3.2)$$

onde η é a velocidade da reversão à média, \bar{X} é o nível de equilíbrio ou média de longo prazo, σ é a volatilidade, e $dz(t)$ representa o incremento de um processo de Wiener⁷, dado pela expressão:

$$dz(t) = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (3.3)$$

na qual os ε_t são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.) descritas pela distribuição normal padrão, ou seja, $\varepsilon_t \sim N(0,1)$

O MRM é um processo de Markov, apesar de seus incrementos não serem independentes, uma vez que o valor do incremento em t depende da diferença entre X_t e \bar{X} ; além disso, quanto mais distante estiver X_t de seu valor médio, maior será a impulsão para a variável retornar para o seu nível de equilíbrio. Porém, deve-se ressaltar que, como há incerteza no processo, o valor de X_t pode caminhar na direção oposta à tendência de reversão.

Considerando-se $X_0 = X(0)$, as propriedades estatísticas do Movimento de Reversão à Média (MRM) são caracterizadas pelo valor esperado $E[X_t]$ da variável $X(t)$ no instante t e pela sua variância $Var[X_t]$ dados respectivamente

⁷O Processo de Wiener é assim denominado em homenagem a o matemático norte-americano Norbert Wiener (1894 - 1964) que modelou formalmente o “Movimento Browniano”.

por:

$$E [X_t | X_0] = \bar{X} + (X_0 - \bar{X})e^{-nt} \tag{3.4.a}$$

$$Var [X_t | X_0] = \frac{\sigma^2}{2n} (1 - e^{-2nt}) \tag{3.4.b}$$

Como consequência, o valor da variável no $X(t)$ instante t é determinado pela expressão:

$$X(t) = X_0 e^{-nt} + \bar{X} (1 - e^{-nt}) + \epsilon_t \sqrt{\frac{\sigma^2(1-e^{-2nt})}{2n}} \tag{3.5}$$

Analisando as expressões (3.4.a) e (3.4.b), pode-se observar que para valores altos da velocidade de reversão ($n \rightarrow \infty$) a variância do processo tende à zero, o que indica que X nunca se desvia de \bar{X} ; no outro extremo, se a velocidade de reversão tende a zero ($n \rightarrow 0$), a expressão para a variância se resume a $\sigma^2 t$ o que corresponde à variância de um outro processo estocástico muito utilizado: o movimento geométrico Browniano, que não apresenta reversão a uma média de longo prazo. Sendo assim, a variância de um movimento de reversão à média (MRM) tende a crescer inicialmente e depois a se estabilizar.

Os parâmetros \bar{X} , n e σ para a modelagem das trajetórias de preços pelo Movimento de Reversão à Média (MRM) são estimados, de acordo com FRANCO (2013), pela maximização da função de verossimilhança: considera-se que o processo de Ornstein-Uhlenbeck, definido em (3.2), é um modelo Gaussiano no sentido de que, dados X_0 e t , a variável $X(t)$ segue uma distribuição normal com média e variância dadas por (3.4.a) e (3.4.b); sendo assim, para $t_{i-1} < t_i$ a densidade condicional f_i de $X_i = X_{t_i}$ relativa a $X_{i-1} = X_{t_{i-1}}$, pode ser expressa por

$$f_i(X_i; \bar{X}; n; \sigma) = \tag{3.10}$$

$$= (2\pi)^{-1/2} \left[\frac{\sigma^2}{2n} (1 - e^{-2n(t_i - t_{i-1})}) \right]^{-1/2} \cdot \exp \left[- \frac{n}{\sigma^2} \frac{(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X})e^{-n(t_i - t_{i-1})})^2}{1 - e^{-2n(t_i - t_{i-1})}} \right]$$

Considerando-se $n+1$ observações independentes X_0, X_1, \dots, X_n do processo $X(t)$, relativas aos instantes t_0, t_1, \dots, t_n , e as respectivas densidades condicionais $f_i(X_i|X_{i-1}; \bar{X}, \eta, \sigma)$, relativas aos instantes t_1, \dots, t_n , tem-se a função de verossimilhança dada por

$$L(X_1, \dots, X_n; \bar{X}, \eta, \sigma) = \tag{3.11}$$

$$= \prod_{i=1}^n \left\{ (2\pi)^{-1/2} \left[\frac{\sigma^2}{2\eta} (1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}) \right]^{-1/2} \cdot \exp \left[-\frac{\eta}{\sigma^2} \frac{(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X}) e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})^2}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} \right] \right\}$$

Em seguida, tomando-se o logaritmo neperiano de $L(X_1, \dots, X_n; \bar{X}; \eta; \sigma)$ chega-se, após algumas manipulações algébricas, à forma logarítmica da função de verossimilhança

$$\begin{aligned} \Theta(X_1, \dots, X_n; \bar{X}; \eta; \sigma) = & -\frac{n}{2} \ln \left[\pi \frac{\sigma^2}{\eta} \right] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \ln \left[1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})} \right] - \\ & - \frac{\eta}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X}) e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})^2}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} \end{aligned} \tag{3.12}$$

As condições de primeira ordem para a maximização de (3.12), expressas nas equações (3.13), levam à solução de um sistema de equações não-lineares.

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial \bar{X}} \right|_{\hat{\bar{X}}} = 0 \tag{3.13A}$$

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial \eta} \right|_{\hat{\eta}} = 0 \tag{3.13B}$$

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial \sigma} \right|_{\hat{\sigma}} = 0 \tag{3.13C}$$

A solução do sistema de equações (3.13) leva à determinação dos parâmetros $\hat{\bar{X}}$, $\hat{\eta}$ e $\hat{\sigma}$, que maximizam a função de verossimilhança na sua forma logarítmica. Esta solução pode ser obtida por intermédio de uma grande variedade de métodos numéricos; no entanto, no presente estudo preferiu-se seguir o enfoque adotado por FRANCO (2013), no qual a busca numérica é simplificada por algumas manipulações analíticas das condições de primeira ordem. Com a primeira das condições de primeira ordem, escreve-se

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta(X_1, \dots, X_n; \bar{X}, \eta, \sigma)}{\partial \bar{X}} &= \\ &= -\frac{\eta}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \frac{(-2)(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X}) e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})(1 - e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} = \quad (3.14) \\ &= -\frac{\eta}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \frac{X_i - X_{i-1} - \bar{X}(1 - e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} = 0 \end{aligned}$$

que se anula para $\bar{X} = \hat{\bar{X}}$; assim chega-se à seguinte expressão para o parâmetro $\hat{\bar{X}}$

$$\hat{\bar{X}} = f(\hat{\eta}) = \sum_{i=1}^n \frac{X_i - X_{i-1} e^{-\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})}}{1 + e^{-\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})}} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1 - e^{-\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})}}{1 + e^{-\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})}} \right)^{-1} \quad (3.15)$$

Em seguida, considera-se a segunda condição de primeira ordem

$$\frac{\partial \theta(X_1, \dots, X_n; \bar{X}, \eta, \sigma)}{\partial \sigma} = -\frac{n}{\sigma} + \frac{2\eta}{\sigma^3} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X}) e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})})^2}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} = 0 \quad (3.16)$$

cuja solução leva à seguinte expressão para o parâmetro $\hat{\sigma}$ associado ao máximo da verossimilhança.

$$\hat{\sigma} = g(\hat{\bar{X}}, \hat{\eta}) = \sqrt{\frac{2\hat{\eta}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \hat{\bar{X}} - (X_{i-1} - \hat{\bar{X}}) e^{-2\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})})^2}{1 + e^{-2\hat{\eta}(t_i - t_{i-1})}}} \quad (3.17)$$

No seguimento, adota-se o enfoque proposto por FRANCO (2013) para a solução do problema de determinação de parâmetros via maximização da verossimilhança; substituem-se as expressões (3.15) e (3.17) em (3.12), chegando-se à formulação do problema da determinação do parâmetro $\hat{\eta}$ que maximiza a função

$$\begin{aligned} V(\eta) &= -\frac{n}{2} \ln \left[\pi \frac{g(f(\hat{\eta}), \hat{\eta})^2}{\eta} \right] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \ln [1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}] - \\ &= -\frac{\eta}{g(f(\hat{\eta}), \hat{\eta})^2} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X} - (X_{i-1} - \bar{X}) e^{-\eta(t_i - t_{i-1})})^2}{1 - e^{-2\eta(t_i - t_{i-1})}} = 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

O problema da maximização de $V(\hat{\eta})$ pode ser resolvido numericamente, com simplicidade, por intermédio do algoritmo do gradiente reduzido generalizado (GRG). No entanto, para que isso seja possível, é preciso determinar a série histórica dos valores, $X_i = X_{\hat{u}}$ a partir dos valores conhecidos $P_i = P_{\hat{u}}$ da série histórica de preços.

Segundo DIAS (2005), existem pelo menos duas maneiras de relacionar a variável estocástica X com a variável de real interesse P . A primeira é com a simples expressão $X(t) = 1nP(t)$, que apresenta como desvantagem o fato de que, neste caso, $\bar{P} \neq \exp(\bar{X})$, uma vez que

$$\bar{P} = E[\exp(P(t))] \neq \exp(E[X(t)]) = \exp(\bar{X})^8$$

Pela segunda maneira, assegura-se que tanto $\bar{P} = \exp(\bar{X})$ quanto $E[P(t)] = \exp(E[X(t)])$, mas a relação entre X e P fica um pouco mais complicada, sendo dada pela expressão:

$$P(t) = \exp\{X(t) - (0,5)Var[X(t)]\} = \exp[X(t) - (1 - e^{-2nt})] \quad (3.19)$$

Uma vez conhecidos os processos estocásticos adequados e os parâmetros apropriados para a projeção dos preços futuros de insumos e produtos, estão estabelecidas as condições para a realização de simulações que levem ao cálculo do valor presente líquido (VPL) do projeto em condições de incerteza. A técnica utilizada foi a Simulação de Monte Carlo, seguindo-se a seguinte sequência lógica de operações: (i) construção de um modelo básico de avaliação dos fluxos de caixa futuros, provocados pelo investimento em questão; (ii) sorteio do valor da variável aleatória normalmente distribuída, que será utilizada na definição dos parâmetros a serem empregados na simulação de um particular cenário; (iii) cálculo do VPL do investimento para o cenário definido em (ii); (iv) repetição desta sequência de operações para um dado número de diferentes cenários, de modo a obter-se a distribuição de probabilidades do VPL (histograma) do investimento em função dos cenários simulados.

⁸ $E[f(X)] = f[E(X)]$ se e somente se $f(\cdot)$ é linear. Como $\exp(X)$ é não linear, a igualdade não se aplica.

3.2. Estudo da Viabilidade Econômica – Análise Estocástica

Com o objetivo de aprofundar a avaliação da economicidade do processo Biomass-To-Liquids (BTL), retoma-se nesta seção o caso da planta de produção de biocombustíveis pela rota da síntese de Fischer-Tropsch analisada nas seções (2.1) e (2.2), na qual o gás de síntese renovável era obtido a partir da gaseificação de bagaço de cana; apresenta-se um estudo baseado na metodologia descrita na seção (3.1), conduzido com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da planta BTL em condições de incerteza.

No primeiro exercício realizado, foram adotados como preços iniciais P_0 para biomassa bagaço de cana e energia elétrica, na modelagem estocástica, os mesmos valores de preço adotados na análise determinística apresentada na seção (2.2), a saber: US\$14,53 (ou 2007 US\$ 15,70) por tonelada em base seca, para o bagaço de cana, e US\$ 58,00 (ou 2007 US\$ 62,59) por MW.h, para a energia elétrica. Os valores dos preços iniciais dos biocombustíveis líquidos considerados na modelagem estocástica foram também aqueles utilizados na análise da seção (2.2), baseados na paridade com a exportação: preços CIF na base USGC, fornecidos pela Administração de Informações de Energia dos EUA (US-EIA), corrigidos para dólares de 2007, edescontados dos custos de exportação para se chegar aos preços dos biocombustíveis no mercado interno brasileiro, a saber: US\$ 0,842 por litro, para o bioQAV, US\$ 0,852 por litro, para o diesel verde e US\$ 0,803 por litro, para a bionafta petroquímica. Sobre estes valores, considerou-se um prêmio 59,2%, igual ao prêmio mínimo de qualidade encontrado na análise determinística da seção (2.2), que levou aos valores finais de preços de US\$ 1,340 por litro, para o bioQAV, de US\$ 1,356 por litro, para o diesel verde, e de US\$ 1,278 por litro, para a bionafta.

Os demais parâmetros— média de longo prazo, velocidade de reversão à média e volatilidade—, que são apresentados na Tabela (3.1), foram estimados com base na metodologia desenvolvida por FRANCO (2012) e descrita anteriormente, tendo sido utilizadas as séries históricas de preços mostradas nos gráficos das Figuras (3.1), (3.2), (3.3) e (3.4), deflacionadas para US\$ de 2007 por intermédio do deflator implícito de preços do PIB dos EUA (“The GDP implicit price deflator”).

Tabela (3.1) – Modelagem Estocástica – Movimento de Reversão à Média (MRM) – Parâmetros

Parâmetros - MRM	P_0 (2007 USD)	\bar{P} (2007 USD)		
Nafta	0,803	1,9104	0,05645	32,106%
Diesel	0,852	1,8316	0,06860	30,761%
Querosene de Aviação	0,842	3,5621	0,04283	26,659%
Energia Elétrica	62,59	64,5080	1,21370	49,247%
Biomassa de Bagaço de Cana	15,70	16,1824	1,21370	49,247%

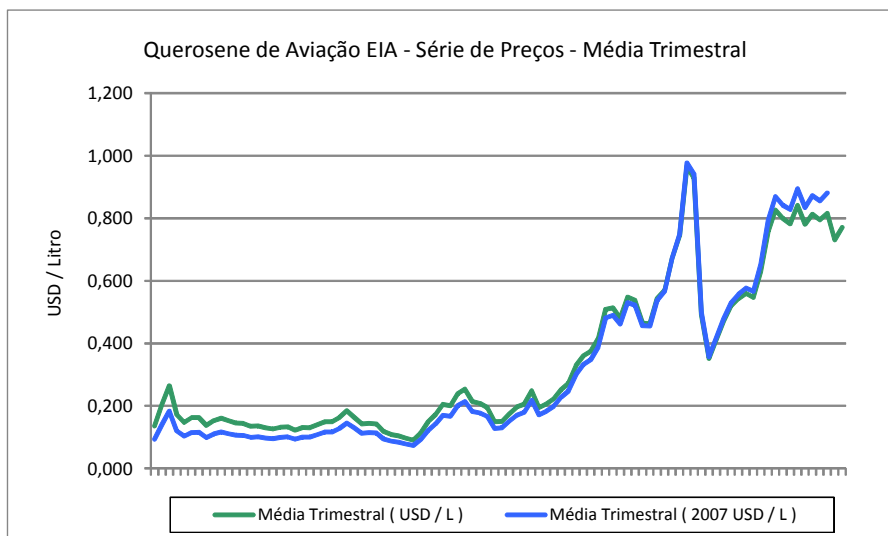


Figura (3.1) – Série Histórica de Preços FOB – Base USGC – para Querosene de Aviação (1990 – 2013)

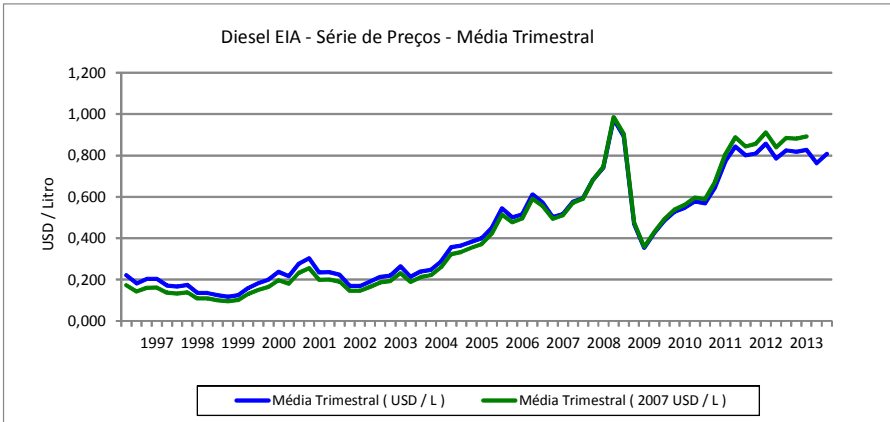


Figura (3.2) – Série Histórica de Preços FOB – Base USGC – para “Ultra-LowSulfur” Diesel (1996 – 2013)

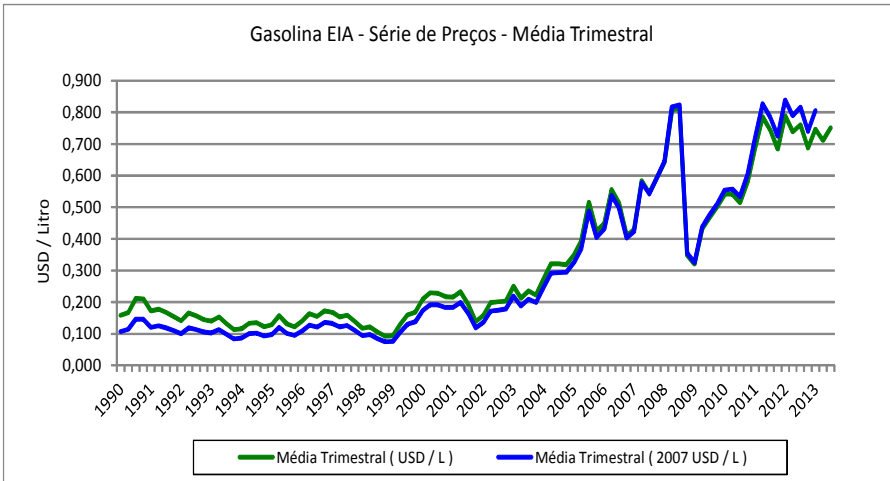


Figura (3.3) – Série Histórica de Preços FOB – Base USGC – para Gasolina Comum (1990 – 2013)

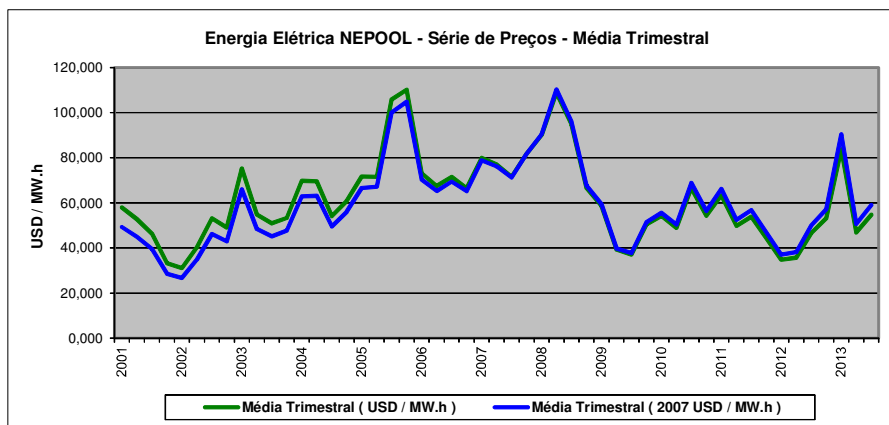


Figura (3.4) – Série Histórica de Preços– Base NEPOOL (New England) – para Energia Elétrica

Com o modelo assim constituído, realizou-se a simulação de Monte Carlo para 300 diferentes cenários de trajetórias de preços para a biomassa bagaço de cana, para os biocombustíveis, e para a energia elétrica, os quais são mostrados nas Figuras (3.5). Nas Figuras (3.6), são apresentadas as trajetórias de preços correspondentes a um particular cenário escolhido, que apresentou VPL positivo: o cenário de número 252. Nas Tabelas (3.2), apresenta-se o fluxo de caixa descontado correspondente ao mesmo cenário de número 252.

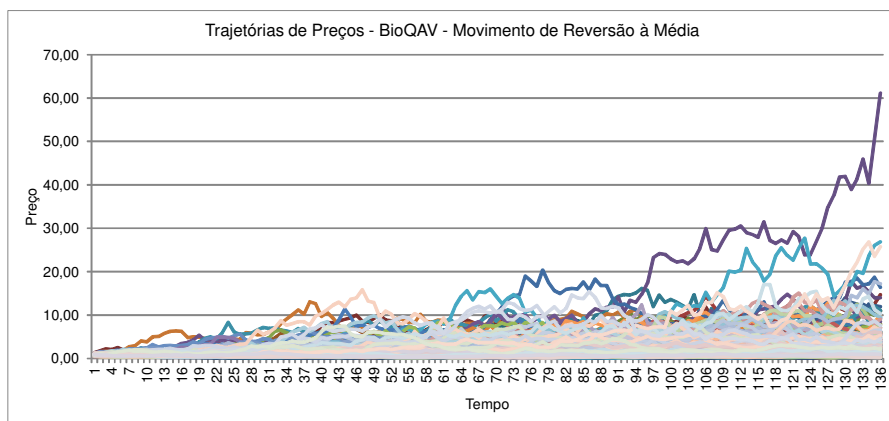


Figura (3.5.a) – Trajetórias de preços para o BioQAV (300 Cenários)

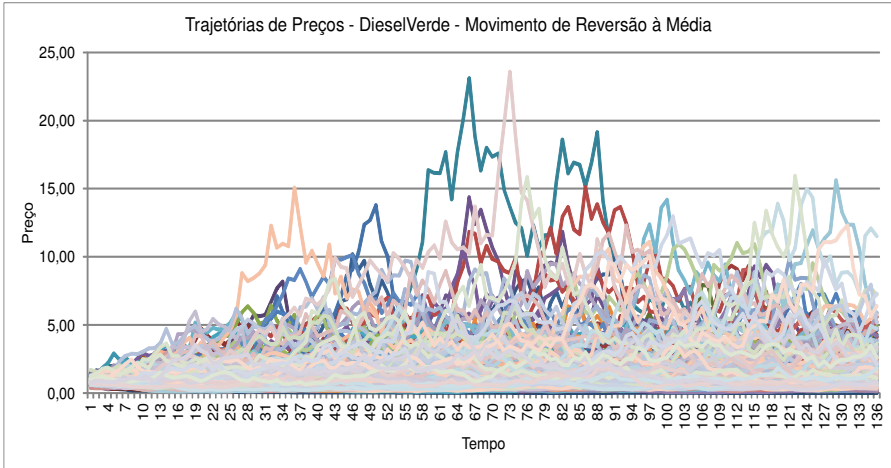


Figura (3.5.b) – Trajetórias de preços para o Diesel Verde (300 Cenários)

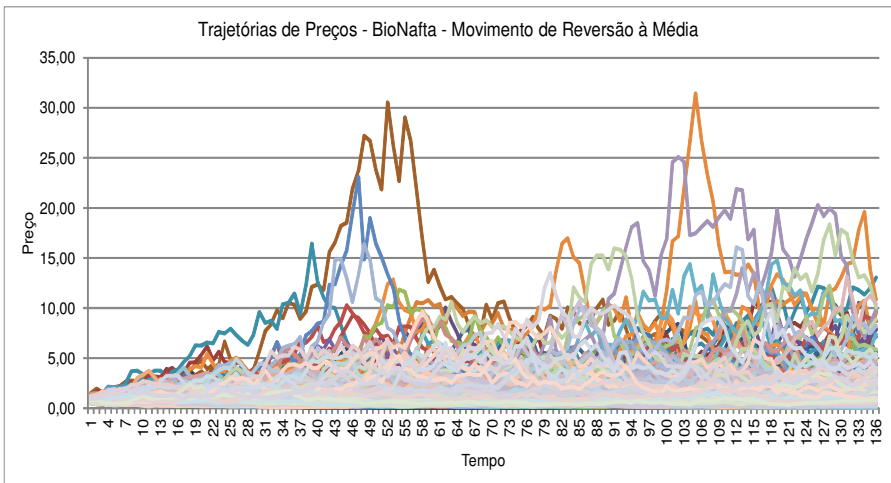


Figura (3.5.c) – Trajetórias de Preços para a BioNafta (300 Cenários)

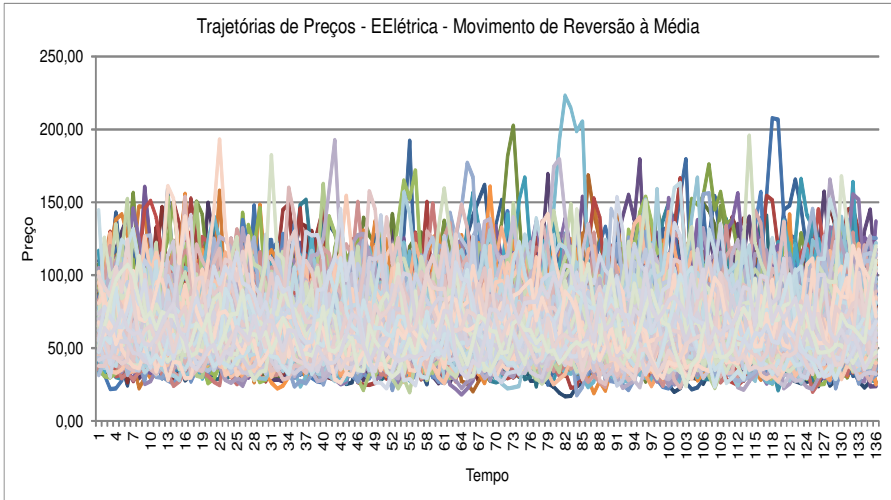


Figura (3.5.d) – Trajetórias de Preços para a Energia Elétrica(300 Cenários)

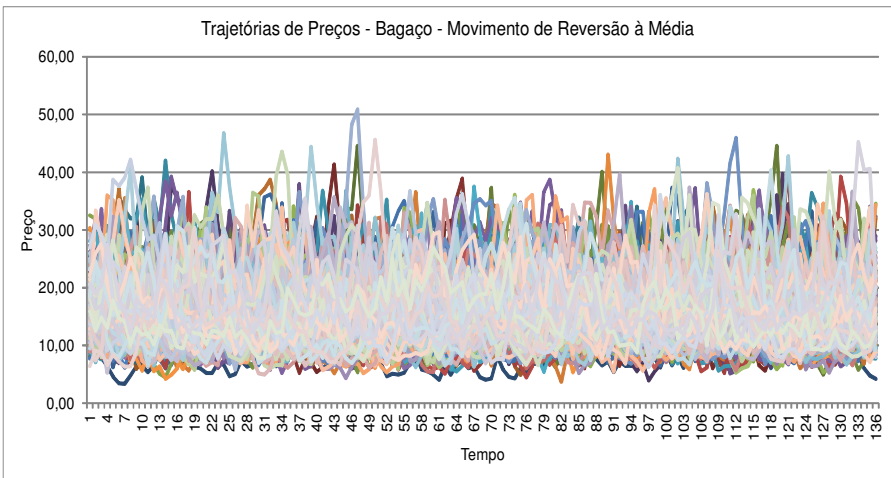


Figura (3.5.e) – Trajetórias de Preços para Biomassa Bagaço de Cana (300 Cenários)

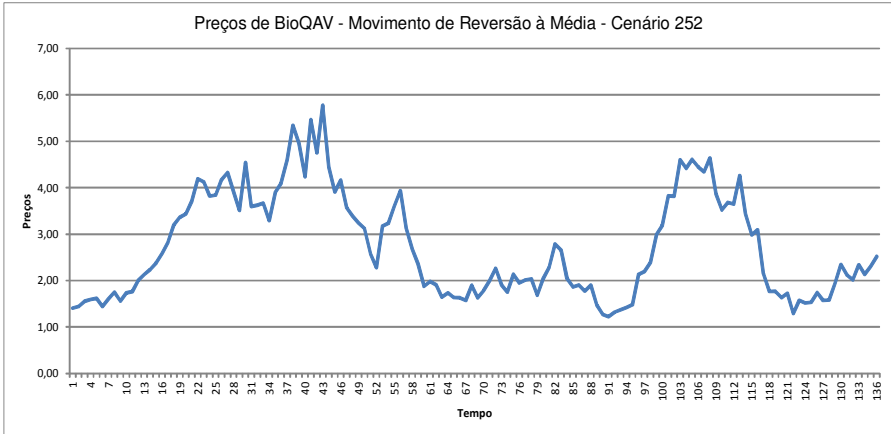


Figura (3.6.a) – Trajetória de Preços para o BioQAV (252º Cenário)

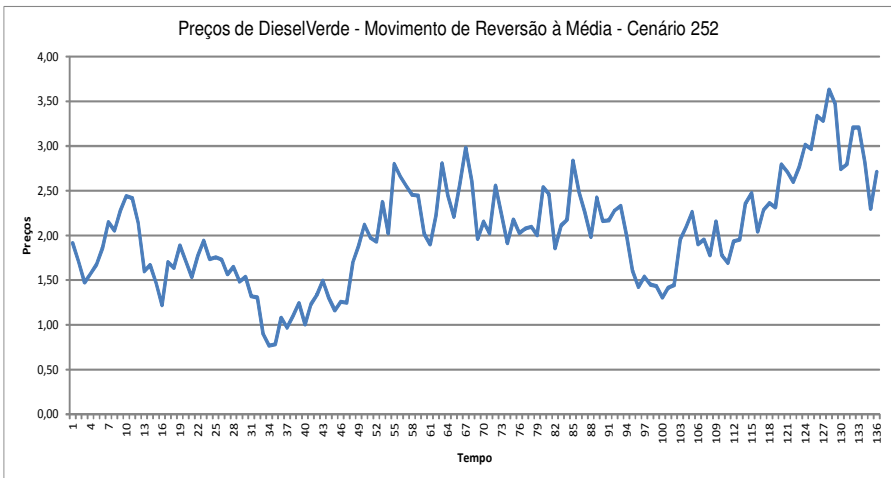


Figura (3.6.b) – Trajetória de Preços para o Diesel Verde (252º Cenário)

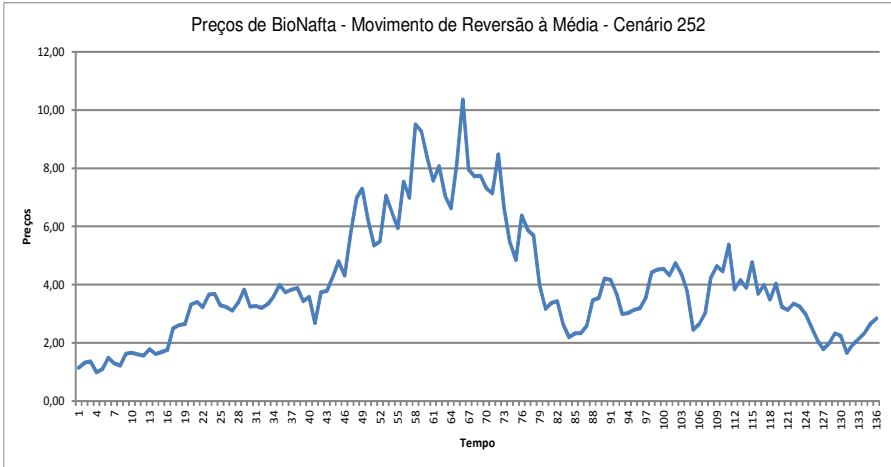


Figura (3.6.c) – Trajetória de Preços para a BioNafta (252º Cenário)

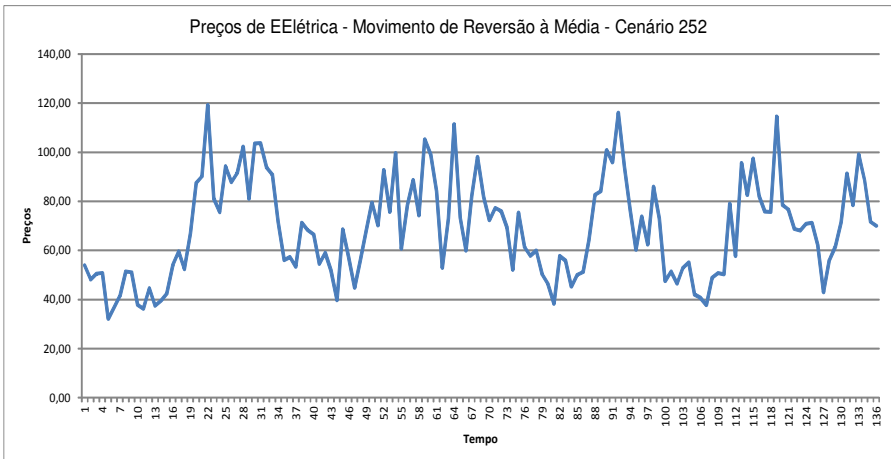


Figura (3.6.d) – Trajetória de Preços para a Energia Elétrica (252º Cenário)

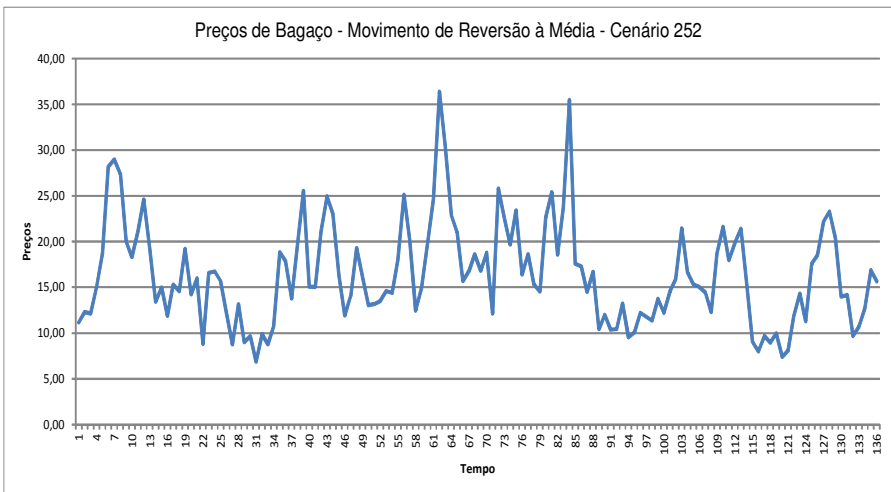


Figura (3.6.e) – Trajetória de Preços para a Biomassa Bagaço de Cana (252º Cenário)

Tabela (3.2.a) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa e Síntese de Fischer-Tropsch – Fluxo de Caixa Descontado –

CENÁRIO 252		FASE PRE-OPERACIONAL				FASE OPERACIONAL			
		Ano -3	Ano -2	Ano -1	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Itens	Valor Presente								
Receita Bruta (1)	3.576.535.200					243.446.230	384.502.134		
Vendas Internas						243.446.230	384.502.134		
Vendas Externas									
(-) Impostos									
Custo Total (2)	3.576.535.200					243.446.230	384.502.134		
(-) Custo Fixo	283.688.332					31.359.412	26.073.570		
(-) Custo Variável	43.847.995					4.464.000	4.464.000		
(-) Custo Variável	245.840.337					26.935.412	21.609.570		
(=) Lucro Bruto	3.288.846.868					121.046.817	358.828.564		
(-) Depreciação	303.769.990					30.925.684	30.925.684		
(=) Lucro Operacional	2.985.076.878					181.121.134	327.902.881		
Despesa Total (3)	77.807.293								
(-) Despesas Comerciais						7.844.525	10.574.043		
(-) Despesas Administrativas						4.868.925	7.693.043		
(-) Despesas Financeiras (Juros)						2.976.000	2.976.000		
(=) LAIR	2.225.875.392								
(+) Abatimento do Prejuízo (6)									
(-) LAIR Modificado (Base de Cálculo)									
(-) Tributos (R., I., CSLL)	756.729.633					173.276.209	317.228.836		
(=) Lucro Líquido	1.469.145.758					589.13.911	107.867.805		
(+) Depreciação						114.362.288	209.371.033		
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	773.142.094					30.925.684	30.925.684		
(-) Manutenção de Capacidade	0								
(+) Financiamento	773.142.094								
(-) Financiamento - Amortização									
(+) Capital de Giro									
(+) Valor Residual (5)									
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	1.005.475.125					122.860.549	240.296.717		
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%								
Taxa Interna de Retorno (TIR)	22,2%								
Prêmio sobre os Preços	59,2%								
(1) Receita da comercialização de produtos									
(2) Custo de operação da nova tecnologia									
(3) Despesas atribuídas à nova tecnologia									
(4) Investimento e/ou implantação de nova tecnologia no Brasil									
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)									
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido daquele ano em que seja creditado									

Prêmio Mínimo da Análise Determinística

Programa de Desembolso na Construção	
Ano 1	8,0%
Ano 2	60,0%
Ano 3	32,0%

Tabela (3.2.b) – Biocombustíveis via Caseificação de Biomassa e Síntese de Fischer-Tropsch – Fluxo de Caixa Descontado – Cenário N.º 252

CENÁRIO		FASE OPERACIONAL							
Itens	252	Ano.3	Ano.4	Ano.5	Ano.6	Ano.7	Ano.8	Ano.9	
GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-QAV - FLUXO DE CAIXA DE \$CONTADO -									
Valor Presente	252								
Receita Bruta (1)	3.576.535.200	383.402.776	364.877.847	349.150.791	417.291.903	440.836.921	406.341.063		
Vendas Internas		383.402.776	364.877.847	349.150.791	417.291.903	440.836.921	406.341.063		
Vendas Externas									
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-	-	
(-) Receita Operac. Líquida	3.576.535.200	383.402.776	364.877.847	349.150.791	417.291.903	440.836.921	406.341.063		
Custo Total (2)	289.688.332	247.59.758	29.807.885	25.785.913	28.528.317	37.383.455	26.502.079		
(-) Custo Fixo	4.844.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000		
(-) Custo Variável	245.840.337	202.89.758	25.343.885	21.321.913	24.064.317	32.899.455	22.138.079		
(=) Lucro Bruto	3.286.846.868	355.649.018	335.069.962	323.364.878	388.763.586	403.473.467	379.738.984		
(-) Depreciação	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684	30.925.684		
(=) Lucro Operacional	2.985.076.878	324.723.334	304.144.278	292.439.194	357.837.902	372.547.783	348.813.300		
Despesa Total (3)	77.807.293	10.644.056	10.273.557	9.959.016	11.321.938	11.792.738	11.102.821		
(-) Despesas Comerciais		7.669.056	7.297.557	6.983.016	8.345.838	8.816.738	8.126.821		
(-) Despesas Administrativas		2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000	2.976.000		
(-) Despesas Financeiras (Juros)		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
(=) LAIR	2.225.675.392	317.079.279	293.870.721	282.480.178	346.516.064	360.755.044	337.710.479		
(+) Abatimento do Prejuízo (6)		-	-	-	-	-	-		
(-) LAIR Modificado (Base de Cálculo)		317.079.279	293.870.721	282.480.178	346.516.064	360.755.044	337.710.479		
(-) Tributos (IR + CSLL)	756.729.633	107.806.955	99.916.045	96.043.261	117.815.462	122.656.715	114.821.563		
(=) Lucro Líquido	1.469.345.758	209.272.324	193.954.676	186.436.918	228.700.602	238.098.329	222.888.916		
(+) Depreciação		30.925.684	30.925.684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684		
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	773.142.094								
(-) Manutenção de Capital (5)	0								
(+) Financiamento	773.142.094								
(-) Financiamento - Amortização	0		0	0	0	0	0		
(+) Capital de Giro		-	-	-	-	-	-		
(+) Valor Residual (5)									
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	1.005.475.195	240.193.008	224.880.650	217.342.601	259.826.386	269.024.013	253.814.600		
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%								
Taxa interna de Retorno (TIR)	22,2%								
Prêmio sobre os Preços	59,2%								
(1) Receita da comercialização de produtos (2) Custo de operação da nova tecnologia (3) Despesas administrativas e nova tecnologia (4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil (5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (prejuízo) (6) O lucro líquido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que presente parâmetro inferior a 30% do lucro líquido da quele ano em que será creditado									

Prêmio Mínimo da Análise Determinística



Tabela (3.2.c) – Biocombustíveis via Caseificação de Biomassa e Síntese de Fischer-Tropsch – Fluxo de Caixa Descontado – Cenário N.º 252

CENÁRIO		FASE OPERACIONAL						
252		Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	
Item	Valor Presente							
Receita Bruta (1)	3.576.535,200	395.233,483	456.345,269	441.367,285	367.634,268	396.569,496	377.009,663	
Vendas Atas		395.233,483	456.345,269	441.367,285	367.634,268	396.569,496	377.009,663	
Vendas Extras		-	-	-	-	-	-	
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-	
(=) Receita Operac. Líquida	3.576.535,200	395.233,483	456.345,269	441.367,285	367.634,268	396.569,496	377.009,663	
Custo Total (2)	289.668,332	25.755,574	33.902,421	27.522,232	34.792,937	35.500,455	28.460,351	
(-) Custo Fixo	43.847,995	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	
(-) Custo Variável	245.840,337	21.271,574	31,038,421	23,058,232	30,328,937	31,036,455	23,996,351	
(=) Lucro Bruto	3.286.846,868	359.497,909	420.842,849	413.845,053	332.841,331	361,069,040	348,549,312	
(-) Depreciação	303.769,990	30.925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	
(=) Lucro Operacional	2.983.076,878	328.572,225	389.917,165	382.919,370	301.915,647	330,142,356	317,623,628	
Despesa Total (3)	77.807,293	10.680,670	12,102,905	11,803,346	10,328,685	10,907,370	10,516,193	
(-) Despesas Comerciais		7.704,670	9,126,905	8,827,346	7,352,685	7,931,370	7,540,193	
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2,976,000	2,976,000	2,976,000	2,976,000	2,976,000	
(-) Despesas Financeiras (Juros)		(0)	-	-	-	-	-	
(=) LAIR	2.225.675,392	317.891,555	377,814,260	371,116,024	291,586,962	319,234,987	307,107,435	
(+) Abatimento do Prejuízo (6)		-	-	-	-	-	-	
(=) LAIR Modificado (Base de Caixa)		317.891,555	377,814,260	371,116,024	291,586,962	319,234,987	307,107,435	
(-) LAIR (IR + CSLL)	756.729,633	108,083,129	126,456,848	126,179,448	99,139,567	108,539,895	104,416,528	
(=) Lucro Líquido	1.468.945,758	209.808,427	249,357,411	244,936,576	192,447,395	210,695,091	202,690,907	
(+) Depreciação		30.925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	30,925,684	
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	773.142,094							
(-) Manutenção de Capacidade	0							
(+) Financiamento	773.142,094							
(-) Financiamento - Amortização	0							
(+) Capital de Giro								
(+) Valor Residual (5)								
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	1.005.473,126	240.734,110	280,283,095	275,862,260	223,373,979	241,620,775	233,616,691	
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%							
Taxa interna de Retorno (TIR)	22,2%							
Prêmio sobre os Preços	59,2%							
(1) Receita da comercialização de produtos								
(2) Custo de operação da nova tecnologia								
(3) Despesas atuais versus a nova tecnologia								
(4) Investimento pluri-anual em uma nova tecnologia no Brasil								
(5) Valor residual do projeto considerado no contínuo do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)								
(6) O prejuízo obtido será recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que represente parte inferior a 30% do lucro líquido da aquele ano em que será creditado								

Prêmio Mínimo da

Análise Determinística

Tabela (3.2.d) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa e Síntese de Fischer-Tropsch – Fluxo de Caixa Descontado – Cenário N.º 252

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-QJAV - FLUXO DE CAIXA DE SCOMTA DO -		FA SE OPERACIONAL						
CENÁRIO 252		Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	
Itens	Valor Presente							
Receita Bruta (1)	3.575.533,200	327.924,703	300.729.362	284.821.550	252.370.404	251.822.162	233.532.478	
Vendas Internas		327.924,703	300.729.362	284.821.550	252.370.404	251.822.162	233.532.478	
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-	
(=) Receita Operac. Líquida	3.575.533,200	327.924,703	300.729.362	284.821.550	252.370.404	251.822.162	233.532.478	
Custo Total (2)	283.683,332	27.993,249	35.350.214	33.063,808	27.300.365	31.019.506	24.043,801	
(-) Custo Fixo	43.847,995	4.464,000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	4.464.000	
(-) Custo Variável	243.840,337	23.335,249	30.886.214	28.601,808	22.836.365	26.555.506	19.581,801	
(=) Lucro Bruto	3.288.848,868	298.125,460	265.379.148	251.755,742	225.070.039	220.802,656	209.488,677	
(-) Depreciação	303.763,990	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	
(=) Lucro Operacional	2.983.078,878	267.199,776	234.453,465	220.830,059	194.144,355	189.876,973	178.562,993	
Despesa Total (3)	77.807,293	9.534,494	8.950,587	8.672,431	8.023,408	8.012,443	7.646,650	
(-) Despesas Comerciais		6.558,494	6.014,587	5.656,431	5.047,408	5.036,443	4.670,650	
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	
(-) Despesas Financeiras (Juros)		-	-	-	-	-	-	
(=) LAIR	2.225.673,592	257.665,282	225.462,877	212.157,628	186.120,947	181.864,529	170.914,344	
(+) Abatimento do Prejuízo (6)								
(=) LAIR Modificado (Base de Cálculo)		257.665,282	225.462,877	212.157,628	186.120,947	181.864,529	170.914,344	
(-) Tributos (R. + CSLL)		87.606,196	7.657,378	72.133,593	63.281,122	61.833,940	58.110,877	
(=) Lucro Líquido	1.468.945,758	170.059,086	148.805,499	140.024,034	122.839,825	120.030,589	112.803,467	
(+) Depreciação		30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	
(-) Investimento Fio de Caixa (4)	77.3.142,094							
(-) Manutenção de Capacidade	0							
(+) Financiamento	77.3.142,094							
(-) Financiamento - Amortização								
(+) Capital de Giro								
(+) Valor Residual (5)								
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	1.005.473,125	200.984,770	179.751,183	170.949,718	153.765,509	150.956,273	143.729,151	
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%							
Taxa Interna de Retorno (TIR)	22,2%							
Prêmio sobre os Preços	59,2%							
(1) Receita da comercialização de produtos								
(2) Custo de operação da nova tecnologia								
(3) Despesas atribuídas à nova tecnologia								
(4) Investimento p/ implementação da nova tecnologia no Etapas II								
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)								
(6) O prejuízo obtido pode ser recuperado nos próximos (até quatro anos) desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido da quele ano e em que se creditado								

Tabela (3.2.e) – Biocombustíveis via Gaseificação de Biomassa e Síntese de Fischer-Tropsch – Fluxo de Caixa Descontado – Cenário N.º 252

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA - BIO-GAV - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -		FASE OPERACIONAL					
CENÁRIO		252					
Itens	Valor Presente	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25	
Receita Bruta (1)	3.575.535,200	315.083,188	411.908,472	407.843,400	395.201,339	382.094,690	
Vendas Internas		315.083,188	411.908,472	407.843,400	395.201,339	382.094,690	
Vendas Externas							
(-) Impostos			-	-	-	-	
(=) Receita Operac. Líquida	3.575.535,200	315.083,188	411.908,472	407.843,400	395.201,339	382.094,690	
Custo Total (2)	285.688,332	2.457,980	34.958,943	25.908,823	29.177,705	32.552,998	
(-) Custo Fio	43.847,995	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	4.464,000	
(-) Custo Variável	245.840,337	2.021,198,00	30.474,943	21.444,823	24.713,705	28.188,998	
(=) Lucro Bruto	3.289.846,868	291.407,208	376.949,529	381.934,577	366.023,634	349.541,692	
(-) Depreciação	303.759,950	3.092,5684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	
(=) Lucro Operacional	2.986.086,918	260.481,324	346.023,846	351.008,893	335.097,950	318.616,008	
Despesa Total (3)	777.807,293	9297,664	11.214,169	11.132,868	10.880,027	10.617,894	
(-) Despesas Comerciais		6.321,664	8.238,169	8.156,868	7.904,027	7.641,894	
(-) Despesas Administrativas		2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	2.976,000	
(-) Despesas Financeiras (Juros)							
(=) LAIR	2.225.675,392	251.183,861	334.829,677	339.876,025	324.217,923	307.998,115	
(+) Abatimento do Prejuízo (6)							
(-) LAIR Modificado (Base de Cálculo)							
(-) Tributos (IR + CSLL)	756.729,633	65.402,513	113.842,090	115.557,849	110.234,094	104.658,563	
(=) Lucro Líquido	1.468.945,759	165.781,348	220.987,587	224.318,177	213.983,829	203.339,552	
(+) Depreciação		3.092,5684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	30.925,684	
(-) Investimento Fio de Caixa (4)	773.142,094						
(-) Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	773.142,094						
(-) Financiamento - Amortização							
(+) Capital de Giro							
(+) Valor Residual (5)							
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	1.005.473,126	196.707,032	251.913,270	255.243,860	244.909,513	229.349,567	
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	22,2%						
Prêmio sobre os Preços	59,2%						
(1) Receita da comercialização de produtos			Prêmio Mínimo da				
(2) Custo de operação da nova tecnologia			Análise Determinística				
(3) Despesas tributárias a nova tecnologia							
(4) Investimento p/ implantação da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (depletada)							
(6) O prejuízo líquido pode ser recuperado nos próximos (até quatro) anos desde que represente parcela inferior a 30% do lucro líquido daquele ano em que se torna creditado.							

O resumo da simulação de Monte Carlo é mostrado na Tabela (3.3), onde são encontrados os valores máximos, mínimos e médios para receita bruta, custo fixo, custo variável, despesas outras, tributos, lucro líquido, investimento fixo de capital, assim como para o valor presente líquido (VPL) do projeto. O resultado desta simulação indica um VPL médio positivo para o projeto, igual a 2007 US\$ 776 milhões, num contexto em que, para 286 dos 300 cenários considerados, foram encontrados valores positivos para o VPL ou, dito de outra forma, que a probabilidade de se encontrar um VPL negativo é de apenas 4,7%. É importante lembrar que, na análise determinística apresentada na seção (2.2), para o mesmo prêmio de 59,2% pago sobre os preços dos biocombustíveis, obtinha-se VPL=0. No sentido de ilustrar a distribuição de resultados obtidos nos diferentes cenários da simulação, a Figura (3.7) apresenta o histograma do VPL do projeto.

Tabela (3.3) – Simulação de Monte Carlo – Quadro Resumo – 300 Cenários – Prêmio de 59,2%

Cenário	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO POR SIMULAÇÃO (MM US\$)						Executar Análise Econômica		
	Receita Bruta	Custo Fixo	Custo Variável	Despesas Outras	Tributos (IR + CSLL)	Lucro Líquido	Investimento Fixo de Capital	VPL	Cenários Positivos
Mínimo	170	44	204	25	0	320	773	745	286
Máximo	8.428	44	270	153	2.007	3.896	773	3.376	Risco 4,7%
Média	3.084	44	243	70	631	1.223	773	776	
1	170	44	204	25	0	320	773	745	0
2	1.728	44	229	49	286	555	773	115	1
3	1.931	44	252	52	332	644	773	204	1
4	2.711	44	253	64	532	1.033	773	588	1
5	1.530	44	233	46	233	453	773	12	1
6	4.581	44	241	93	1.016	1.973	773	1.514	1
295	2.880	44	237	67	580	1.126	773	684	1
296	2.636	44	238	63	517	1.003	773	561	1
297	1.909	44	242	52	329	638	773	196	1
298	4.547	44	249	93	1.006	1.952	773	1.485	1
299	1.884	44	249	52	321	622	773	173	1
300	191	44	204	26	0	303	773	730	0

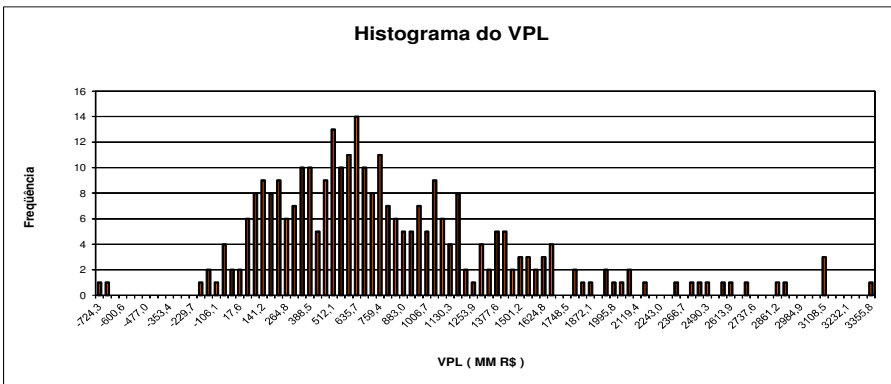


Figura (3.) – Simulação de Monte Carlo – 300 Cenários – Histograma do VPL

Tabela (3.4) – Simulação de Monte Carlo – Quadro Resumo – 300 Cenários – Prêmio de 0%

Cenário	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO POR SIMULAÇÃO (MM US\$)							Executar Análise Econômica		
	Receita Bruta	Custo Fixo	Custo Variável	Despesas Outras	Tributos (IR + CSLL)	Lucro Líquido	Investimento Fixo de Capital	VPL	Cenários Positivos	
Mínimo	133	44	200	25	0	345	773	769	202	
Máximo	5.833	44	273	113	1.338	2.596	773	2.147	Risco	
Média	1.933	44	243	52	335	648	773	210	32,7%	
1	133	44	200	25	0	345	773	769	0	
2	1.260	44	239	42	162	315	773	120	0	
3	1.225	44	243	41	152	296	773	139	0	
4	2.310	44	235	58	434	842	773	394	1	
5	1.933	44	242	52	335	650	773	202	1	
6	1.397	44	247	44	196	380	773	51	0	
295	3.163	44	245	71	651	1.263	773	819	1	
296	1.955	44	269	53	333	647	773	199	1	
297	1.894	44	248	52	323	627	773	191	1	
298	1.854	44	239	51	315	612	773	180	1	
299	804	44	222	35	50	96	773	334	0	
300	210	44	200	26	0	286	773	713	0	

Em um segundo exercício realizado, considerou-se novamente a simulação de Monte Carlo para 300 diferentes cenários de trajetórias de preços, sendo que desta vez considerou-se um prêmio nulo a ser pago sobre os preços dos biocombustíveis. O resultado desta simulação forneceu novamente um VPL médio positivo para o projeto – desta feita igual a 2007 US\$ 210 milhões – num contexto em que 202 dos 300 cenários considerados apresentaram valores positivos para o VPL, ou seja: a probabilidade de ocorrer um VPL negativo é de 32,7%.

O resumo desta simulação de Monte Carlo, que fornece um VPL médio ainda positivo, quando é retirado o prêmio pago sobre o preço dos biocombustíveis, é mostrado na Tabela (3.4); mais uma vez são apresentados os valores máximos, mínimos e médios para receita bruta, custo fixo, custo variável, despesas outras, tributos, lucro líquido, investimento fixo de capital, assim como para o valor presente líquido (VPL) do projeto. Dos resultados das análises, é possível concluir que, mesmo sem se pagar um prêmio sobre os preços de mercado dos biocombustíveis, o projeto de produção de biocombustíveis via gaseificação de biomassa, seguida de síntese de Fischer-Tropsch e de hidrobeneﬁciamento, pode ser considerado economicamente viável.

4. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL PELA ROTA TERMOQUÍMICA

Com o objetivo de avaliar a economicidade de outro processo Biomass-To-Liquids (BTL), analisa-se nesta seção o caso de uma planta de produção de etanol pela rota termoquímica, na qual o gás de síntese renovável é também obtido a partir da gaseificação de bagaço de cana. Tomam-se por base dados fornecidos no relatório do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA (Dutta, A., et al., 2011); considera-se o estudo de viabilidade técnica e econômica de um empreendimento BTL para o aproveitamento de uma disponibilidade de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia, no Estado de São Paulo, que são convertidos, primeiramente, em 1.560 toneladas de gás de síntese por dia e, em seguida, por intermédio de síntese catalítica, em 699.000 litros/dia de etanol e 84.200 litros/dia de álcoois superiores.

O relatório do NREL reflete as mais recentes previsões daquele laboratório para um projeto do processo de produção de etanol por rota termoquímica, incluindo as últimas pesquisas e os últimos desenvolvimentos nas áreas de gaseificação de biomassa, de limpeza do gás de síntese e de síntese de álcoois (três áreas chaves do processo), além de incluir avanços em outras áreas como integração energética e utilidades. Uma restrição foi incorporada ao projeto em Dutta et al. (2011), de modo a impor a condição de que o processo fosse neutro em relação à produção e à utilização de energia elétrica. Por esta razão, a energia elétrica não irá aparecer nem nos custos de operação, como insumo, nem dentre as receitas, como produto a ser comercializado.

Como o calor e a energia requeridos pelo processo não podem ser fornecidos somente pela combustão do coque formado no processo de gaseificação,

Duttaet al. (2011) consideraram que certa quantidade de gás de síntese deve ser deslocada da produção de combustíveis líquidos para a geração de calor e energia. Sendo assim, essa opção torna o processo autossuficiente em termos de energia, mas diminui o rendimento global da produção de combustíveis líquidos.

A operação da planta BTL analisada está dividida em sete grandes etapas de processo, a saber: manejo e secagem da carga (Área 100); gaseificação da biomassa (Área 200); limpeza do gás (Área 300); síntese de álcoois (Área 400); separação de álcoois (Área 500); geração de vapor e energia (Área 600); e resfriamento de água e outras utilidades (Área 700). Dentre estas, as principais são descritas a seguir.

Na etapa de manejo e secagem da carga (Área 100), a biomassa é seca até atingir um teor de umidade de 10% em peso, pelo uso dos gases liberados na combustão do coque – formado na etapa de gaseificação – e da regeneração do catalisador de reforma do alcatrão. Na etapa de gaseificação (Área 200), a biomassa é gaseificada indiretamente: o calor para a reação de gaseificação é fornecido pela circulação de areia e olivina⁹ sintética, que é pré-aquecida em combustor de coque e alimentada no gaseificador.

O gaseificador adotado é do tipo de leito fluidizado circulante, e a biomassa é alimentada em seu interior por meio de transportadores e alimentadores. Em seguida injeta-se vapor para estabilizar o escoamento da biomassa e da olivina no interior do gaseificador, onde a biomassa se decompõe em uma mistura de gás de síntese (CO, H₂, CO₂, CH₄, etc.), alcatrão, coque sólido – que contém o carbono residual da biomassa – e de coque depositado sobre a areia e a olivina. Na saída do gaseificador, ciclones separam o coque, a areia e a olivina do gás de síntese: os sólidos fluem para o combustor, onde o coque é queimado em ar em leito fluidizado, resultando areia e olivina a temperaturas superiores a 982°C. Depois de separadas, a areia e a olivina fluem de volta para o gaseificador, completando assim o ciclo da gaseificação.

A etapa seguinte, de limpeza do gás (Área 300), é definida em Duttaet al. (2011) como sendo uma etapa de reforma de alcatrão, metano e outros hidrocarbonetos, seguida por resfriamento rápido e lavagem do gás de síntese, para colocá-lo nas condições exigidas pelas operações a jusante. Ocorre tam-

⁹Olivina é um silicato de magnésio calcinado, composto principalmente por enstatita (MgSiO₃), forsterita (Mg₂SiO₃), e hematita (Fe₂O₃); uma pequena quantidade de óxido de magnésio (MgO) é adicionado à olivina fresca para prevenir a formação de aglomerações de tipo vidro, que surgem da interação do potássio da biomassa com silicatos.

bém reação de deslocamento gás-água no interior do reformador, que faz com que alcatrão, metano, e outros hidrocarbonetos leves sejam transformados em gás de síntese, em um sistema catalítico de leito fluidizado circulante, que se assemelha ao sistema de um reator de craqueamento catalítico fluido (FCC) de pequena escala, no qual as operações de reforma e regeneração são levadas a cabo em leitos separados. O gás de síntese reage com o catalisador de reforma de alcatrão, o qual é então separado do gás de síntese efluente em um ciclone; do ciclone, o catalisador gasto flui para o vaso de regeneração de catalisador, onde o coque residual das reações de reforma é removido do catalisador por combustão. O catalisador quente é separado do gás combustível exausto no ciclone do regenerador, retornando para o reator de reforma de alcatrão, onde fornece a energia necessária às reações de reforma. Um adicional de gás de síntese e gases que não reagiram no reator de síntese de álcoois são também submetidos a combustão no regenerador para complementar o fornecimento do calor necessário à reação endotérmica de reforma.

Na etapa de síntese de álcoois (Área 400), o gás de síntese resfriado e à baixa pressão é admitido em um sistema de compressão centrífugo de seis estágios, onde a sua pressão é incrementada em aproximadamente 207 bares: o gás de síntese pressurizado é então alimentado no lado dos tubos de dois reatores tubulares verticais de síntese (do tipo casco e tubo), que operam em paralelo; nestes um catalisador de síntese de álcoois, a base de sulfeto de molibdênio, compõe o leito fixo que promove reações de conversão de parte do gás de síntese em produtos oxigenados e hidrocarbonetos, a uma temperatura em torno de 300°C. O calor gerado nas reações altamente exotérmicas é removido pela geração de vapor no lado do casco dos reatores tubulares.

O efluente dos reatores de síntese – mistura de álcoois, subprodutos gasosos (como CO₂ e metano), e gás de síntese não convertido – é resfriado através de troca de calor com outras correntes do processo. Quando se resfriam, álcoois e água condensam-se e são enviados para a etapa seguinte de separação e purificação de álcoois (Área 500); o gás de síntese não convertido e os subprodutos gasosos, gerados na etapa de síntese de álcoois, são direcionados para uma seção de remoção de gases ácidos (H₂S e CO₂), de onde são re-comprimidos e reciclados para os reatores de síntese de álcoois.

Na etapa seguinte, de separação e purificação de álcoois (Área 500), os álcoois crus resfriados são despressurizados e separados dos gases em um tambor

de “flash”: os gases gerados são reciclados para o reator de reforma de alcatrão; a corrente líquida despressurizada é, então, desidratada por meio de um sistema de peneira molecular. A jusante da peneira molecular, a corrente de álcoois desidratados é alimentada em uma coluna de destilação, que separa o metanol e o etanol dos álcoois de maior peso molecular: a corrente de topo da coluna de destilação do álcool cru é fracionada em uma segunda coluna, na qual são obtidas uma corrente de metanol cru e uma corrente de produto etanol, que atende as especificações ASTM de etanol combustível.

Tabela (4.1) – Etanol Termoquímico – Investimento de Capital

ETANOL TERMOQUÍMICO - INVESTIMENTO DE CAPITAL (CAPEX)		
Investimento Total	Custo de Aquisição (US\$)	Custo Instalado (US\$)
Área de Processo		
Área 100: Manejo e secagem da carga		
Área 200: Gaseificação		43.250.000
Área 300: Limpeza do gás		26.940.000
Área 400: Síntese de álcoois		150.540.000
Área 500: Separação de álcoois		20.310.000
Área 600: Geração de vapor e energia		45.840.000
Área 700: Resfriamento de água e outras utilidades		9.560.000
ISBL (Áreas 100 - 500)		241.040.000
OSBL (Áreas 600 - 700)		55.400.000
Custo Total Instalado (excluída Área 100) (CTI)	0	296.440.000
Outros Custos Diretos		
Terreno (não é depreciado)		1.610.000
Preparação do site (% do ISBL)	4,0%	9.641.600
Custo Direto Total (CDT)		307.691.600
Custos Indiretos (% do CDT sem Terreno)		
Despesas rateadas	10,0%	30.608.160
Taxa de construção e escritório	20,0%	61.216.320
Despesas de campo	10,0%	30.608.160
Contingência do projeto	10,0%	30.608.160
Outros custos (partida, licenças, etc.)	10,0%	30.608.160
Investimento Fixo de Capital (IFC)		491.340.560

A análise apresentada nesta seção 4 adapta para a biomassa bagaço de cana o modelo de avaliação técnico-econômica do NREL, desenvolvido em Dutta et al. (2011) para o processo de conversão da biomassa madeira em gás de síntese renovável e, posteriormente, em álcoois combustíveis por síntese catalítica. Em Dutta et al. (2011) – assim como em Swanson *et al.* (2010), para o caso analisado na seção 2 de uma planta de produção de biocombustíveis pela rota da síntese de Fischer-Tropsch – a metodologia adotada na avaliação utiliza a filosofia da enésima planta industrial, pela qual a análise técnico-econômica em etapa pré-comercial deve refletir o desempenho econômico da tecnologia empregada em sua etapa madura de produção.

Sendo assim, no projeto em tela considera-se que a planta BTL analisada é construída a partir de tecnologia já estabelecida. Admite-se que a planta de produção de etanol é composta por sete áreas de processo, para as quais os custos de capital (CAPEX) são discriminados em US\$ de 2007 na Tabela (4.1), individualmente para cada uma das áreas de processo. No caso da Área 100, de manejo e secagem da carga, os custos de capital são considerados nulos por terem sido incorporados ao custo da matéria prima. A Tabela (4.1) mostra ainda que o Investimento Fixo de Capital (IFC) na base *United States Gulf Coast* (USGC) é igual a US\$ 491.340.560 (quatrocentos e noventa e um milhões, trezentos e quarenta mil, quinhentos e sessenta dólares americanos), valor este que, depois de multiplicado por um fator de internalização igual a 1,7843 (sugerido pelos profissionais do grupo de engenharia de custos do Cenpes), fornece o Investimento Fixo de Capital - Base Brasil (IFC-BR) igual a US\$ 876.698.961.

De acordo com o NREL, essa importância deverá ser desembolsada ao longo dos três anos reservados para o período pré-operacional do projeto, em parcelas correspondentes a 8% no primeiro ano, 60% no segundo ano e 32% do valor total do IFC-BR no terceiro e último ano do período pré-operacional. Seguindo Dutta et al. (2011), considera-se adicionalmente que 40% do valor total do IFC-BR serão provenientes de capital próprio dos acionistas, enquanto que os 60% restantes serão financiados em 10 anos, a uma taxa de juros de longo prazo igual a 8% ao ano¹⁰.

A metodologia de cálculo de receitas e dos custos operacionais do projeto (OPEX) segue Dutta et al. (2011) e admite, de acordo com DA SILVA (2013), que a mudança da biomassa para bagaço de cana não tem impacto significativo sobre os fluxos de insumos, produtos e utilidades consumidos ou produzidos. Sendo assim, para uma capacidade de processamento de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia (o que equivale a 175.208 ton / trimestre ou 183.718 lb / h), em regime de operação de 8.410 h/ano (ou 350 dias/ano), considera-se que a planta de produção de etanol via rota termoquímica produz por trimestre 61.644.583 litros de etanol (51.000 lb / h) e 7.793.809 litros de álcoois superiores (6.448 lb / h).

¹⁰ A Tabela (4.7), que detalha o fluxo de caixa descontado do projeto, apresenta também detalhes do cálculo do financiamento, explicitando as parcelas de pagamento de juros e de amortização do principal da dívida.

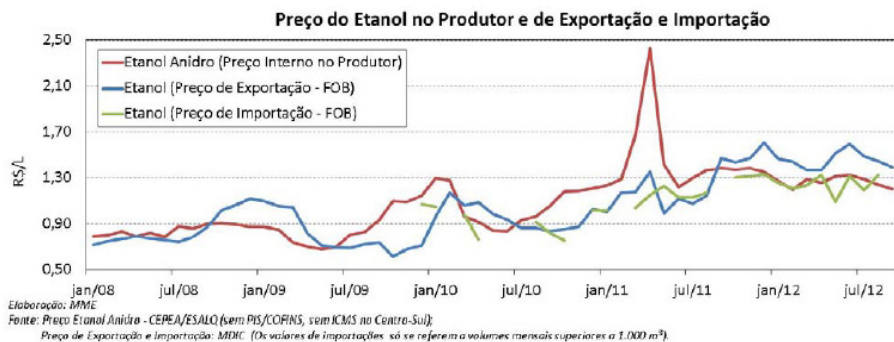


Figura (4.1) – Preço do Etanol Anidro no Produtor, Preço de Exportação e Preço de Importação¹¹

O preço do etanol é considerado constante ao longo do tempo e igual a US\$ 0,65 por litro (R\$1,30 / litro). Entende-se que esse valor representa uma boa estimativa para um preço de longo prazo no mercado interno (no produtor) para etanol anidro, como se pode observar na Figura (4.1), extraída do Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis (N.º 57, outubro, 2012), publicado pela Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, do Ministério de Minas e Energia (MME).

No caso dos álcoois superiores, seguem-se DUTTA *et al.* (2011) e DA SILVA (2013) que estimam a receita da produção da enésima planta de etanol, considerando que o preço dos álcoois superiores – quando da entrada em operação da enésima planta – deve ser mais baixo que o preço de mercado quando da entrada em operação da primeira planta de etanol. O NREL – segundo Dutta et al. (2011) – valorou os álcoois superiores tomando por base seu poder calorífico, utilizando o seguinte método: (1) calcular a quantidade de energia por unidade de volume da mistura de álcoois superiores, bem como o preço da gasolina por unidade de energia – tomando como referência os preços de mercado em US\$ de 2007; e (2) estimar o preço da mistura de álcoois superiores, considerando uma equivalência com o preço da gasolina para a mesma quantidade de energia.

Para ser conservativo, o NREL propõe a utilização de um fator redutor de aproximadamente 0,9 que, multiplicado pelo preço da mistura de álcoois superi-

¹¹ Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME), Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, N.º 57, outubro, 2012.

ores, fornece o preço a ser utilizado na análise de viabilidade técnico-econômica. A Tabela (4.2), extraída de DA SILVA (2013), apresenta os parâmetros utilizados no cálculo do preço da mistura de álcoois superiores, assim como o preço final estimado de US\$ 0,497 / litro. Com base nos números apresentados acima, é calculada a receita da planta BTL, na forma detalhada na Tabela (4.3).

Tabela (4.2) – Parâmetros Utilizados no Cálculo do Preço dos Álcoois Superiores

PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO PREÇO DOS ALCOÓIS SUPERIORES	
Parâmetro	Valor Utilizado
Preço no atacado projetado pela AIE ¹ para a gasolina em 2012 (US\$ de 2007)	0,69 US\$/L
Conteúdo energético da gasolina	34,62 x 10 ⁶ joule/L
Valor no atacado projetado pela AIE ¹ para a gasolina em 2012 (US\$ de 2007)	19,9 x 10 ⁻³ US\$/MMjoule
Conteúdo energético dos álcoois superiores	27,9 MMjoule/L
Valor calculado para a mistura de álcoois superiores (US\$ de 2007)	0,557 US\$/L
Valor da mistura de álcoois superiores utilizado na análise econômica (US\$ 2007)	0,497 US\$/L

¹ AIE - Agência Internacional de Energia

Tabela (4.3) – Etanol Termoquímico – Receita Bruta Anual e Operacional Líquida Anual

ETANOL TERMOQUIMICO -		RECEITAS DA COMERCIALIZAÇÃO DE PRODUTOS DA PLANTA			
CENÁRIO 1		FASE OPERACIONAL			
		Ano 1			
Itens	Unidade	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Receita Bruta Anual					175.770.008
Etanol Anidro					160.275.915
Quantidade	Litros	61.644.583	61.644.583	61.644.583	61.644.583
Preço Unitário	US\$ / Litro	0,6500	0,6500	0,6500	0,6500
Alcoóis Superiores					15.494.093
Quantidade	Litros	7.793.809	7.793.809	7.793.809	7.793.809
Preço Unitário	US\$ / Litro	0,4970	0,4970	0,4970	0,4970
(-) Impostos					
Impostos					-
(=) Receita Operac. Líquida Anual					175.770.008

Os preços dos insumos e das utilidades também são considerados constantes ao longo da vida do projeto. Considera-se o preço da biomassa bagaço de cana igual a US\$ 40 por tonelada (em base seca), tendo como referência os estudos realizados por D'AVILA et al. (2010) e por SENNEJUNKER (2012) para a determinação do custo de oportunidade do bagaço de cana, visando à sua

utilização como matéria prima em uma planta BTL. Os preços da matéria prima, dos demais insumos e das utilidades utilizados, cotados em US\$ de 2007, encontram-se apresentados na Tabela (4.4). Com base nessas informações de preços e nos consumos correspondentes de matéria prima, demais insumos e utilidades, divulgados pelo NREL em Dutta et al. (2011), procede-se ao cálculo do custo variável anual da planta BTL, cujo detalhamento é mostrado na Tabela (4.5.a).

Na Tabela (4.5.b), encontra-se detalhado o “Custo Fixo Anual” da Planta BTL, o qual se decompõe nas parcelas “Custo de Trabalho” e “Outros Custos Fixos”. A parcela “Custo de Trabalho” é calculada com base em efetivo de pessoal recomendado pelo NREL e aqui discriminado na Tabela (4.6).

Com base nos valores de receitas, custos e despesas – obtidos como acima exposto – monta-se o fluxo de caixa descontado do projeto em tela, que é mostrado na Tabela (4.7). No fluxo de caixa descontado da Tabela (4.7) são mostrados os fluxos de caixa anuais do projeto ao longo de 25 anos, período considerado pela Petrobras como adequado para a amortização do investimento em uma planta industrial como a aqui estudada. O fluxo de caixa neste caso é descontado a uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 9% ao ano (a.a.), valor comumente adotado no Brasil para empreendimentos que seguem um viés de sustentabilidade.

Analisando-se a Tabela (4.7), observa-se na coluna “Valor Presente” que o projeto para produção de etanol pela rota termoquímica apresenta “Receita Bruta” de US\$ 1.726.514.897, “Custo Fixo” de US\$ 228.263.300, “Custo Variável” de US\$ 355.530.228 e “Despesas Totais” (soma de despesas comerciais, administrativas e financeiras) de US\$ 298.447.480. Além disso, verifica-se que o projeto paga US\$ 94.224.188 em “Tributos (IR + CSLL)” e contabiliza um “Lucro Líquido” de apenas US\$ 55.261.147.

Tabela (4.4) – Etanol Termoquímico – Preço Atual de Produtos, Insumos e Utilidades

PREÇO ATUAL DOS PRODUTOS		
Produto	Preço	Unidade
Etanol	0,650	(US\$ / Litro)
Álcoois Superiores	0,497	(US\$ / Litro)

PREÇO ATUAL DE INSUMOS E UTILIDADES		
Insumo	Preço	Unidade
Biomassa	40,00	(2007 US\$ / dry ton)
Olivina	224,23	(2007 US\$ / ton)
Óxido de Magnésio (MgO)	473,36	(2007 US\$ / ton)
Catalis. Reforma Alcatrão	39,11	(2007 US\$ / Kg)
Catalis. Síntese Álcoois	65,48	(2007 US\$ / Kg)
Remoção Resíduos Sólidos	49,22	(2007 US\$ / ton)
Óleo Diesel	0,76	(2007 US\$ / Litro)
P Quim. Tratam. Água Caldeira	5,00	(2007 US\$ / Kg)
P Quim. Tratam. Água Resfriam.	2,99	(2007 US\$ / Kg)
Soda p / Tratam. Cáustico	143,72	(2007 US\$ / ton b.seca)
P Quím p / Processo LO-CAT	408,73	(US\$ / ton S produzido)
EDPG p / Reposição	0,15	(US\$ / ton GasAcRemov)
Amina p / Reposição	0,03	(US\$ / ton GasAcRemov)
Gás Natural p / Reformador	0,33	(US\$ / ton)
Utilidades	Preço	Unidade
Água para Reposição	0,28	(2007 US\$ / ton)
Tratamento de Água	0,68	(2007 US\$ / ton)

Dadas essas considerações, o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é negativo (como se poderia esperar), e igual em módulo a US\$ 63.353.976. A Taxa Interna de Retorno (TIR) para o mesmo fluxo de caixa (ou seja, a taxa de desconto do fluxo de caixa que zera o VPL) é de 8,1%, menor, portanto, do que a taxa mínima de atratividade estipulada em 9,0%.

Considerando-se, de outra forma, o preço do etanol como uma variável livre, busca-se o preço que tornaria o VPL do projeto igual a zero, encontrando-se o valor de US\$0,692 / litro, que é 6,5% superior ao preço do etanol no mercado interno (no produtor). Este valor costuma ser chamado de Preço Mínimo de Venda do Etanol (PMVE).

Tabela (4.5.a) – Etanol Termoquímico – Custos de Produção da Planta – Custo Variável Anual

ETANOL TERMOQUIMICO - CUSTOS DE PRODUÇÃO DA PLANTA					
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL			
1		Ano 1			
Itens	Unidade	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Custo Variável Anual					36.195.199
Matérias Primas e Insumos					35.939.115
Biomassa					28.033.333
Quantidade	ton seca	175.208	175.208	175.208	175.208
Preço Unitário	US\$ / ton	40,00	40,00	40,00	40,00
Insumo 1 (Olivina)					459.848
Quantidade	ton	513	513	513	513
Preço Unitário	US\$ / ton	224,23	224,23	224,23	224,23
Insumo 2 (Óxido de Magnésio - MgO)					12.640
Quantidade	ton	7	7	7	7
Preço Unitário	US\$ / ton	473,36	473,36	473,36	473,36
Insumo 3 (Catalis. Reforma Alcatrão)					1.790.321
Quantidade	ton	11.444	11.444	11.444	11.444
Preço Unitário	US\$ / ton	39,11	39,11	39,11	39,11
Insumo 4 (Catalis. Síntese Álcoois)					4.845.874
Quantidade	ton	18.501	18.501	18.501	18.501
Preço Unitário	US\$ / ton	65,48	65,48	65,48	65,48
Insumo 5 (Remoção Resíduos Sólidos)					458.135
Quantidade	ton	2.327	2.327	2.327	2.327
Preço Unitário	US\$ / ton	49,22	49,22	49,22	49,22
Insumo 6 (Óleo Diesel)					240.404
Quantidade	Litro	79.548	79.548	79.548	79.548
Preço Unitário	US\$ / Litro	0,76	0,76	0,76	0,76
Insumo 7 (P Quím. Tratam. Água Caldeira)					62.943
Quantidade	Kg	3.147	3.147	3.147	3.147
Preço Unitário	US\$ / Kg	5,00	5,00	5,00	5,00
Insumo 8 (P Quím. Tratam. Água Resfriam.)					13.687
Quantidade	Kg	1.144	1.144	1.144	1.144
Preço Unitário	US\$ / Kg	2,99	2,99	2,99	2,99
Insumo 9 (Soda p / Tratam. Cáustico)					21.930
Quantidade	ton	38	38	38	38
Preço Unitário	US\$ / ton	143,72	143,72	143,72	143,72
Insumo 10 (P Quím p / Processo LO-CAT)					61.000
Quantidade	ton				
Preço Unitário	US\$ / ton				
Insumo 11 (EDPG p / Reposição)					34.000
Quantidade	ton				
Preço Unitário	US\$ / ton	0,00	0,00	0,00	0,00
Insumo 12 (Amina p / Reposição)					7.000
Quantidade	ton				
Preço Unitário	US\$ / ton	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidades					256.084
Água para Reposição					180.975
Quantidade	ton	159.669	159.669	159.669	159.669
Preço Unitário	US\$ / ton	0,28	0,28	0,28	0,28
Tratamento de Água					75.109
Quantidade	ton	27.604	27.604	27.604	27.604
Preço Unitário	US\$ / ton	0,68	0,68	0,68	0,68

Tabela (4.5.b) – Etanol Termoquímico – Custos de Produção da Planta – Custo Fixo Anual

ETANOL TERMOQUIMICO - CUSTOS DA PRODUÇÃO DA PLANTA					
CENÁRIO	1	FASE OPERACIONAL			
		Ano 1			
Itens	Unidade	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Custo Fixo Anual					23.238.631
Custos de Trabalho					2.694.000
Trabalho - Operação (4 turnos)	US\$				
Trabalho - Manutenção (1,6% ISBL a.a.)	US\$				
Trabalho - Laboratório (20% Trab. Oper.)	US\$				
Outros Custos Fixos					20.544.631
Benefícios e overhead geral (90% C.Trab.)	US\$				2.424.600
Materiais - Manutenção (3,0% IFC a.a.)	US\$				14.691.917
Seguros e taxas (0,7% IFC a.a.)	US\$				3.428.114

Tabela (4.6) – Etanol Termoquímico – Custos de Produção da Planta – Custos de Trabalho

ETANOL TERMOQUIMICO - CUSTOS DE TRABALHO			
Custos de Trabalho - Total (US\$ / ano)			2.694.000
Título da Posição	Salário (US\$ 2007)	Quantidade	Custo Total (US\$)
Administração			255.000
Gerente da planta	147.000	1	147.000
Pessoal administrativo	36.000	3	108.000
Produção			2.103.000
Gerente de engenharia	70.000	1	70.000
Supervisor de manutenção	57.000	1	57.000
Gerente de laboratório	56.000	1	56.000
Supervisor de turno	48.000	5	240.000
Técnico de laboratório	40.000	2	80.000
Técnico de manutenção	40.000	16	640.000
Operador de turno	48.000	20	960.000
Outros serviços			336.000
Pessoal de serviços gerais	28.000	12	336.000

Tabela (4.7.a) – Etanol Termoquímico – Fluxo de Caixa Descontado

ETANOL TERMOQUÍMICO - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -						
CENÁRIO	1	PROJETO	FASE PRÉ-OPERACIONAL			FASE OPER
Itens	Valor Presente	Ano 1	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1
Receita Bruta (1)	1.726.514,897					175.770.008
Vendas Internas						175.770.008
Vendas Externas						-
(-) Impostos						-
(=) Receita Operac. Líquida	1.726.514,897					175.770.008
Custo Total (2)	583.793,528					59.433,830
(-) Custo Fixo	228.263,300					23.238,631
(-) Custo Variável	355.530,228					36.195,199
(=) Lucro Bruto	1.142.721,369					116.336,178
(-) Depreciação	562.635,384					87.669,896
(=) Lucro Operacional	580.085,985					28.666,282
Despesa Total (3)	298.447,480		3.366,524	28.615,454	42.081,550	54.892,403
(-) Despesas Comerciais						3.515,400
(-) Despesas Administrativas						9.295,452
(-) Despesas Financeiras (Juros)			3.366,524	28.615,454	42.081,550	42.081,550
(=) LAIR	149.485,335		(3.366,524)	(28.615,454)	(42.081,550)	(26.226,121)
(-) Tributos (IR + CSLL)	94.224,188		-	-	-	-
(=) Lucro Líquido	55.261,147		(3.366,524)	(28.615,454)	(42.081,550)	(26.226,121)
(+) Depreciação						87.669,896
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	876.698,961		70.135,917	526.019,377	280.543,668	
(-) Manutenção de Capacidade	0					
(+) Financiamento	526.019,377		42.081,550	315.611,626	168.326,201	
(-) Financiamento - Amortização			-	-	-	36.310,849
(+/-) Capital de Giro					(24.486,528)	-
(+) Valor Residual (5)						
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	-63.353,976		(31.420,891)	(239.023,205)	(178.785,545)	25.132,927
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%				Capital de Giro / Alternativa 1	63.139,159
					Capital de Giro / Alternativa 2	17.577,001
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8,1%				Capital de Giro / Alternativa 3	24.486,528
Prêmio sobre os Preços	0,00%					
(1) Receita proporcionada pela implementação/adoção da nova tecnologia em escala comercial						
(2) Custo de operação da nova tecnologia						
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia						
(4) Investimento necessário na implantação industrial/adoção da nova tecnologia no Brasil						
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)						
Financiamento - Cálculo - Juros e Amortização da Dívida						1
Percentuais de Desembolso			8,0%	60,0%	32,0%	
Investimento Fixo de Capital (FC)	876.698,961		70.135,917	526.019,377	280.543,668	
Capital Próprio (40% FC)	350.679,584		28.054,367	210.407,751	112.217,467	
Financiamento (60% FC)	526.019,377		42.081,550	315.611,626	168.326,201	
Atingir Meta em B52 (B52 = B50)					Parcela Amortização	78.392,399
Financiamento - Pagamento	526.019,377		-	-	-	78.392,399
Financiamento - Pagamento de Juros			3.366,524	28.615,454	42.081,550	42.081,550
Financiamento - Amortização da Dívida			-	-	-	36.310,849
Financiamento - Principal (60% FC)	526.019,377		42.081,550	357.693,176	526.019,377	489.708,528
Taxa de Juros do Financiamento	8,0%					

Tabela (4.7.b) – Etanol Termoquímico – Fluxo de Caixa Descontado

ETANOL TERMOQUÍMICO - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -								
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL						
Itens	Valor Presente	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	
Receita Bruta (1)	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Internas		175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Externas								
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-	-
(=) Receita Operac. Líquida	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Custo Total (2)	583.793.528	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830
(-) Custo Fixo	228.263.300	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631
(-) Custo Variável	355.530.228	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199
(=) Lucro Bruto	1.142.721.369	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
(-) Depreciação	562.535.384	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896
(=) Lucro Operacional	580.085.985	28.666.282	28.666.282	28.666.282	28.666.282	28.666.282	28.666.282	28.666.282
Despesa Total (3)	298.447.480	51.987.535	48.850.277	45.462.039	41.802.743	37.850.702	33.582.498	
(-) Despesas Comerciais		3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	
(-) Despesas Administrativas		9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	
(-) Despesas Financeiras (Juros)		39.176.682	36.039.425	32.651.187	28.991.890	25.039.849	20.771.645	
(=) LAIR	149.485.335	(23.321.253)	(20.183.996)	(16.795.758)	(13.136.461)	(9.184.420)	(4.916.216)	
(-) Tributos (IR + CSLL)	94.224.188	-	-	-	-	-	-	
(=) Lucro Líquido	55.261.147	(23.321.253)	(20.183.996)	(16.795.758)	(13.136.461)	(9.184.420)	(4.916.216)	
(+) Depreciação		87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	87.669.896	
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	876.698.961							
(-) Manutenção de Capacidade	0							
(+) Financiamento	526.019.377							
(-) Financiamento - Amortização		39.215.717	42.352.974	45.741.212	49.400.509	53.352.549	57.620.753	
(*) Capital de Giro		-	-	-	-	-	-	
(*) Valor Residual (5)								
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	-63.353.976	25.132.927	25.132.927	25.132.927	25.132.927	25.132.927	25.132.927	
Taxa de Desconto do Fluxo Caixa	9,0%							
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8,1%							
Prêmio sobre os Preços	0,00%							
(1) Receita proporcionada pela implementação/adoção da nova tecnologia em escala comercial								
(2) Custo de operação da nova tecnologia								
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia								
(4) Investimento necessário na implantação industrial/adoção da nova tecnologia no Brasil								
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)								
Financiamento - Cálculo - Juros e Amortização da Dívida		2	3	4	5	6	7	
Percentuais de Desembolso								
Investimento Fixo de Capital (FC)	876.698.961							
Capital Próprio (40% FC)	350.679.584							
Financiamento (60% FC)	526.019.377							
Atingir Meta em B52 (B52 - B50)								
Financiamento - Pagamento	526.019.377	78.392.399	78.392.399	78.392.399	78.392.399	78.392.399	78.392.399	
Financiamento - Pagamento de Juros		39.176.682	36.039.425	32.651.187	28.991.890	25.039.849	20.771.645	
Financiamento - Amortização da Dívida		39.215.717	42.352.974	45.741.212	49.400.509	53.352.549	57.620.753	
Financiamento - Principal (60% FC)	526.019.377	450.492.812	408.139.838	362.398.626	312.998.117	259.645.568	202.024.814	
Taxa de Juros do Financiamento	8,0%							

Tabela (4.7.c) – Etanol Termoquímico – Fluxo de Caixa Descontado

ETANOL TERMOQUÍMICO - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -							
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL					
Itens	Valor Presente	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Receita Bruta (1)	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Internas		175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Externas		-	-	-	-	-	-
(-) Impostos							
(=) Receita Operac. Líquida	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Custo Total (2)	583.793.528	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830
(-) Custo Fixo	228.263.300	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631
(-) Custo Variável	355.530.228	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199
(=) Lucro Bruto	1.142.721.369	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
(-) Depreciação	562.635.384	87.669.896	87.669.896	87.669.896	-	-	-
(=) Lucro Operacional	580.085.985	28.666.282	28.666.282	28.666.282	116.336.178	116.336.178	116.336.178
Despesa Total (3)	298.447.480	28.972.838	23.994.405	18.617.697	12.810.852	12.810.852	12.810.852
(-) Despesas Comerciais		3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400
(-) Despesas Administrativas		9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452
(-) Despesas Financeiras (Juros)		16.161.985	11.183.552	5.806.844	-	-	-
(=) LAIR	149.485.335	(306.556)	4.671.877	10.048.585	103.525.325	103.525.325	103.525.325
(-) Tributos (IR+ CSLL)	94.224.188	-	1.588.438	3.416.519	35.198.611	35.198.611	35.198.611
(=) Lucro Líquido	56.261.147	(306.556)	3.083.439	6.632.066	68.326.715	68.326.715	68.326.715
(+) Depreciação		87.669.896	87.669.896	87.669.896	-	-	-
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	876.698.961						
(-) Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	526.019.377						
(-) Financiamento - Amortização		62.230.414	67.208.847	72.585.554	-	-	-
(+/-) Capital de Giro		-	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual (5)							
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	-63.353.976	25.132.927	23.544.488	21.716.408	68.326.715	68.326.715	68.326.715
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8,1%						
Prêmio sobre os Preços	0,00%						
(1) Receita proporcionada pela implementação/adoção da nova tecnologia em escala comercial							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia							
(4) Investimento necessário na implantação industrial/adoção da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)							
Financiamento - Cálculo - Juros e Amortização da Dívida		8	9	10			
Percentuais de Desembolso							
Investimento Fixo de Capital (FC)	876.698.961						
Capital Próprio (40% FC)	350.679.584						
Financiamento (60% FC)	526.019.377						
Atingir Meta em B52 (B52 = B50)							
Financiamento - Pagamento	526.019.377	78.392.399	78.392.399	78.392.399			
Financiamento - Pagamento de Juros		16.161.985	11.183.552	5.806.844			
Financiamento - Amortização da Dívida		62.230.414	67.208.847	72.585.554			
Financiamento - Principal (60% FC)	526.019.377	139.794.401	72.585.554				(1)
Taxa de Juros do Financiamento	8,0%						

Tabela (4.7.d) – Etanol Termoquímico – Fluxo de Caixa Descontado

ETANOL TERMOQUÍMICO - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -							
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL					
Itens	Valor Presente	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19
Receita Bruta (1)	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Internas		175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Externas							
(-) Impostos		-	-	-	-	-	-
(=) Receita Operac. Líquida	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Custo Total (2)	583.793.528	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830
(-) Custo Fixo	228.263.300	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631
(-) Custo Variável	355.530.228	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199
(=) Lucro Bruto	1.142.721.369	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
(-) Depreciação	562.635.384	-	-	-	-	-	-
(=) Lucro Operacional	580.085.985	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
Despesa Total (3)	298.447.480	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852
(-) Despesas Comerciais		3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400
(-) Despesas Administrativas		9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452
(-) Despesas Financeiras (Juros)		-	-	-	-	-	-
(=) LAIR	149.485.335	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325
(-) Tributos (IR+ CSLL)	94.224.188	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611
(=) Lucro Líquido	55.261.147	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715
(+) Depreciação		-	-	-	-	-	-
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	876.698.961						
(-) Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	526.019.377						
(-) Financiamento - Amortização		-	-	-	-	-	-
(+/-) Capital de Giro		-	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual (5)		-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	-63.353.976	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8,1%						
Prêmio sobre os Preços	0,00%						
(1) Receita proporcionada pela implementação/adoção da nova tecnologia em escala comercial							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia							
(4) Investimento necessário na implantação industrial/adoção da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)							
Financiamento - Cálculo - Juros e Amortização da Dívida							
Percentuais de Desembolso							
Investimento Fixo de Capital (IFC)	876.698.961						
Capital Próprio (40% IFC)	350.679.584						
Financiamento (60% IFC)	526.019.377						
Atingir Meta em B52 (B52 = B50)							
Financiamento - Pagamento	526.019.377						
Financiamento - Pagamento de Juros							
Financiamento - Amortização da Dívida							
Financiamento - Principal (60% IFC)	526.019.377						
Taxa de Juros do Financiamento	8,0%						

Tabela (4.7.e) – Etanol Termoquímico – Fluxo de Caixa Descontado

ETANOL TERMOQUÍMICO - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO -							
CENÁRIO		FASE OPERACIONAL					
Itens	Valor Presente	Ano 20	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Receita Bruta (1)	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Internas		175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Vendas Externas		-	-	-	-	-	-
(-) Impostos							
(=) Receita Operac. Líquida	1.726.514.897	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008	175.770.008
Custo Total (2)	583.793.528	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830	59.433.830
(-) Custo Fixo	228.263.300	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631	23.238.631
(-) Custo Variável	355.530.228	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199	36.195.199
(=) Lucro Bruto	1.142.721.369	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
(-) Depreciação	582.635.384	-	-	-	-	-	-
(=) Lucro Operacional	580.085.985	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178	116.336.178
Despesa Total (3)	298.447.480	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852	12.810.852
(-) Despesas Comerciais		3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400	3.515.400
(-) Despesas Administrativas		9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452	9.295.452
(-) Despesas Financeiras (Juros)		-	-	-	-	-	-
(=) LAIR	149.485.335	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325	103.525.325
(-) Tributos (IR+ CSLL)	94.224.188	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611	35.198.611
(=) Lucro Líquido	55.261.147	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715
(+) Depreciação		-	-	-	-	-	-
(-) Investimento Fixo de Capital (4)	876.698.961						
(-) Manutenção de Capacidade	0						
(+) Financiamento	526.019.377						
(-) Financiamento - Amortização							
(+/-) Capital de Giro							
(+) Valor Residual (5)							24.486.528
(=) Fluxo de Caixa do Projeto	-63.353.976	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	68.326.715	92.813.243
Taxa de Desconto do Flux Caixa	9,0%						
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8,1%						
Prêmio sobre os Preços	0,00%						
(1) Receita proporcionada pela implementação/adoção da nova tecnologia em escala comercial							
(2) Custo de operação da nova tecnologia							
(3) Despesas atribuíveis à nova tecnologia							
(4) Investimento necessário na implantação industrial/adoção da nova tecnologia no Brasil							
(5) Valor residual do projeto considerando continuidade do fluxo a partir do décimo ano (perpetuidade)							
Financiamento - Cálculo - Juros e Amortização da Dívida							
Percentuais de Desembolso							
Investimento Fixo de Capital (FC)	876.698.961						
Capital Próprio (40% FC)	350.679.584						
Financiamento (60% FC)	526.019.377						
Atinquir Meta em B52 (B52 + B50)							
Financiamento - Pagamento	526.019.377						
Financiamento - Pagamento de Juros							
Financiamento - Amortização da Dívida							
Financiamento - Principal (60% FC)	526.019.377						
Taxa de Juros do Financiamento	8,0%						

5. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL PELA ROTA TERMOQUÍMICA EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Na presente seção, estende-se o estudo realizado na seção anterior para avaliar a viabilidade econômica do processo de produção de etanol pela rota termoquímica em condições de incerteza. A metodologia empregada é a mesma descrita na seção (3.1), pela qual parte-se do princípio que os preços de matérias primas, insumos e produtos da planta de produção oscilam no mercado internacional, devendo ser tratados por meio de processos estocásticos. A partir da estimativa dos parâmetros do processo estocástico escolhido, realizam-se simulações de Monte Carlo que produzem diferentes cenários para o cálculo do valor presente líquido (VPL) do projeto em condições de incerteza.

Analisa-se novamente a planta BTL descrita na seção 4, na qual o gás de síntese renovável é obtido a partir da gaseificação de bagaço de cana de açúcar e os dados relativos a balanços de massa e energia são fornecidos pelo relatório do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA (DUTTA *et al.*, 2011). Considera-se novamente o aproveitamento de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia, no Estado de São Paulo, e sua conversão em 699.000 litros/dia de etanol e 84.200 litros/dia de álcoois superiores.

Para o estudo do problema em tela, as simulações de Monte Carlo foram realizadas dando tratamento estocástico aos preços futuros do principal insumo – a biomassa bagaço de cana – e aos preços dos principais produtos (etanol e álcoois superiores). A razão dessa escolha prende-se ao fato de essas variáveis serem aquelas cujas incertezas de mercado afetam, de forma mais sig-

nificativa, as receitas e os custos do processo, influenciando assim o VPL do investimento realizado.

O processo estocástico adotado para modelagem das incertezas foi o movimento de reversão à média (MRM), cujos parâmetros foram estimados de acordo com a metodologia apresentada na seção (3.1). No exercício realizado, os preços iniciais P_0 , considerados na modelagem estocástica, foram os de mercado expressos em US\$ de 2007, os mesmos utilizados na análise determinística da seção 4, mostrados na Tabela (4.4): US\$ 40,00 / tonelada em base seca, para a biomassa bagaço de cana; US\$ 0,650 / Litro, para o etanol; e US\$ 0,497 / Litro, para os álcoois superiores.

Tabela (5.1) – Modelagem Estocástica – Movimento de Reversão à Média (MRM) – Parâmetros

Parâmetros - MRM	P_0 (2007 USD)	\bar{P} (2007 USD)		
Biomassa de Bagaço de Cana	40,00	41,2291	1,21737	49,247%
Etanol Anidro	0,650	1,0101	0,31491	33,507%
Álcoois Superiores	0,497	1,5906	0,05645	32,106%

Os demais parâmetros – média de longo prazo \bar{P} , velocidade de reversão à média η e volatilidade σ – que são apresentados na Tabela (5.1), foram estimados com base na metodologia desenvolvida por FRANCO (2012) e descrita anteriormente na seção (3.1), tendo sido utilizadas as séries históricas de preços mostradas nos gráficos das Figuras (5.1), (5.2), e (5.3), deflacionadas para US\$ de 2007 por intermédio do deflator implícito de preços do PIB dos EUA (“The GDP implicit price deflator”).

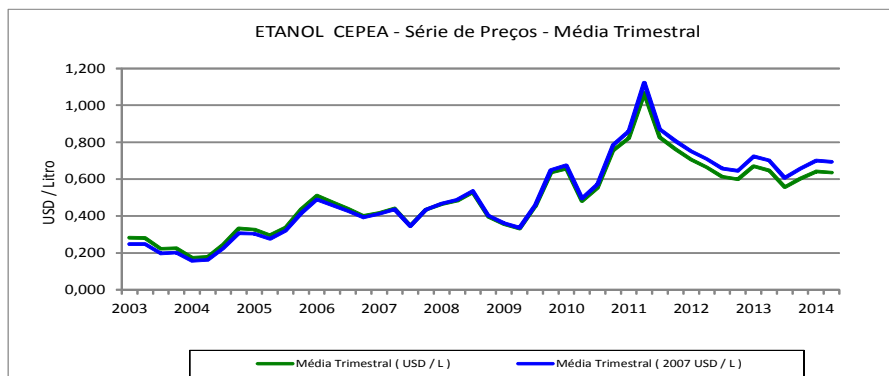


Figura (5.1) – Série Histórica de Preços no Produtor para o Etanol Anidro (2003 – 2014)

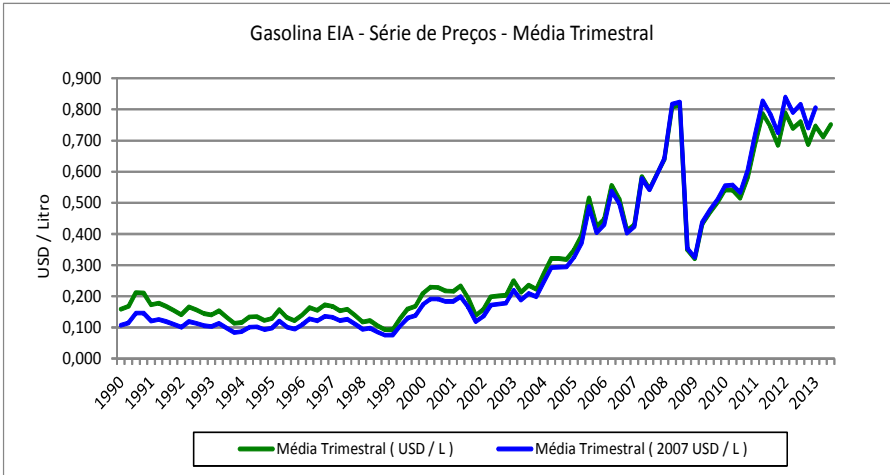


Figura (5.2) – Série Histórica de Preços FOB – Base USGC – para Gasolina Comum (1990 – 2013)

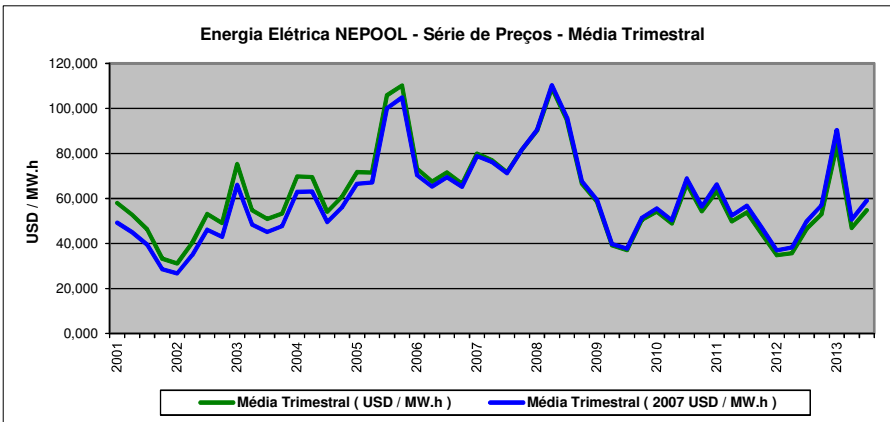


Figura (5.3) – Série Histórica de Preços– Base NEPOOL (New England) – para Energia Elétrica

Realizou-se a simulação de Monte Carlo para 300 diferentes cenários de trajetórias de preços para a biomassa bagaço de cana, para o etanol anidro e para os álcoois superiores, que são mostrados na Figura (5.4). Na Figura (5.5), são apresentadas as três trajetórias de preços correspondentes a um cenário particular, o cenário de número 252, que apresentou valor presente líquido (VPL) do projeto positivo.

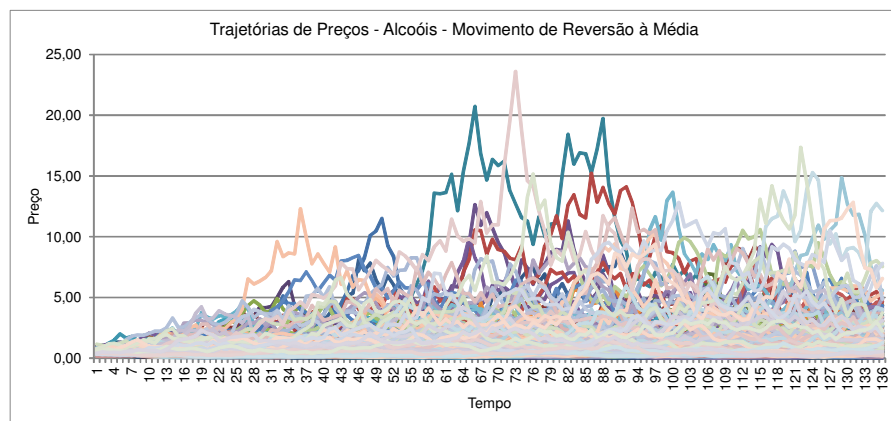
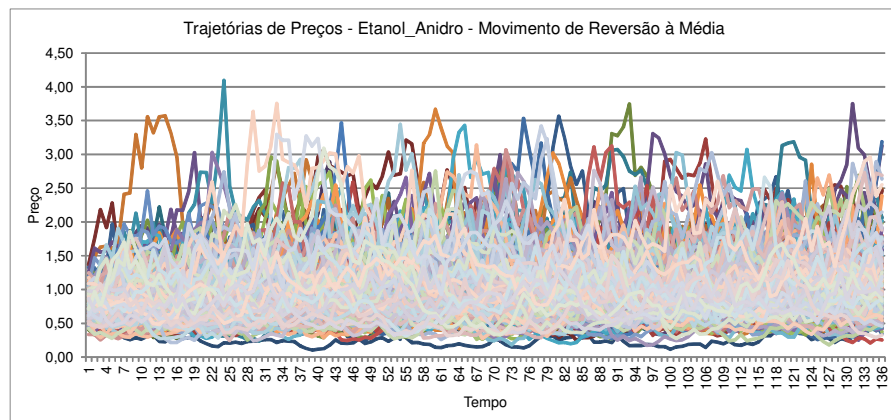
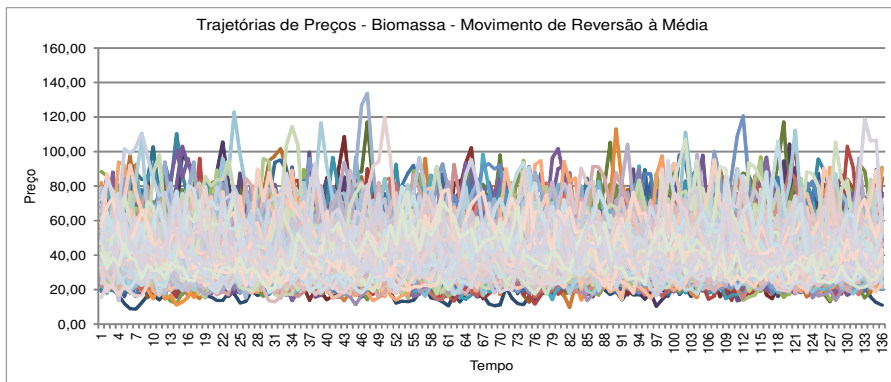


Figura (5.4) – Trajetórias de Preços para Biomassa, Etanol Anidro e Álcoois Superiores (300 Cenários)

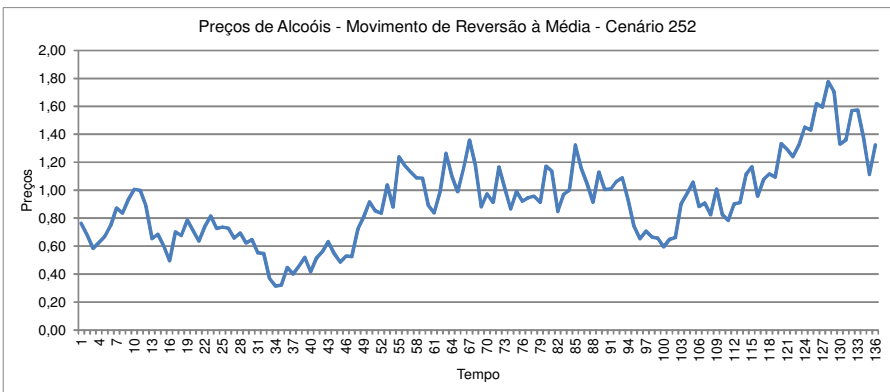
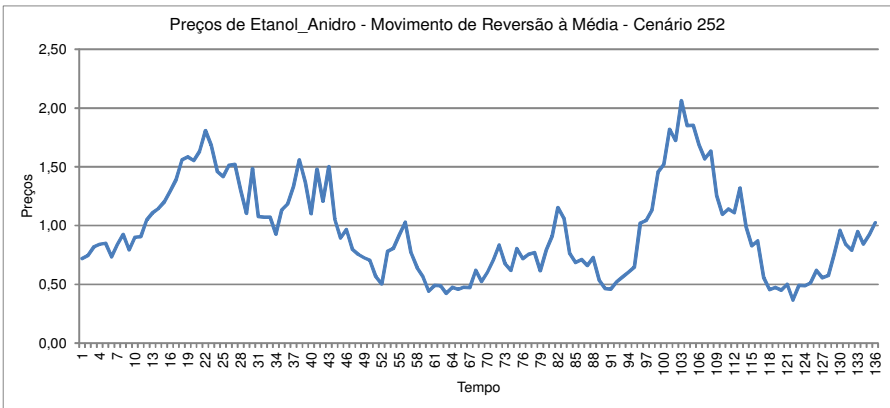
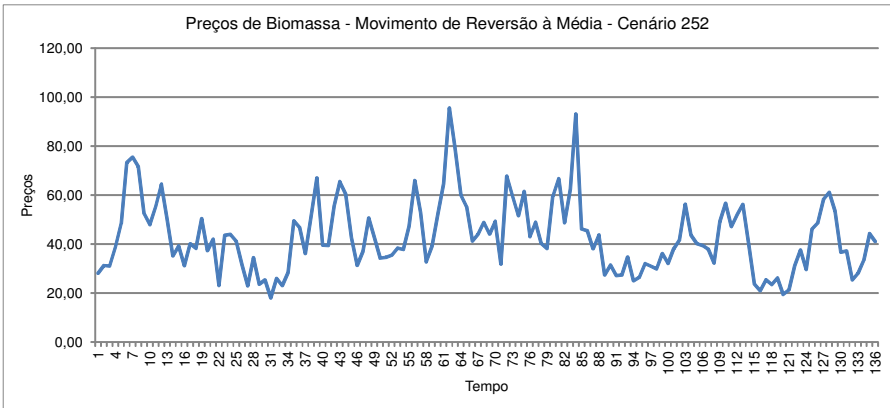


Figura (5.5) – Trajetórias de Preços para o 252º Cenário – Biomassa, Etanol Anidro e Alcoois Superiores

O resumo da simulação de Monte Carlo é mostrado na Tabela (5.2), onde são encontrados os valores máximos, mínimos e médios para receita bruta, custo fixo, custo variável, despesas outras, tributos, lucro líquido, investimento fixo de capital, assim como para o VPL do projeto. O resultado desta simulação indica um VPL médio positivo para o projeto, igual a US\$ 454 milhões, sem que tenha sido necessário considerar um prêmio sobre o preço de mercado do etanol anidro. Dos 300 cenários analisados, em 283 deles foram encontrados valores positivos para o VPL, o que significa um risco de apenas 5,7% de ser encontrado um VPL negativo. No sentido de ilustrar a distribuição de resultados obtidos nos diferentes cenários da simulação, a Figura (5.6) apresenta o histograma do VPL do projeto.

Tabela (5.2) – Simulação de Monte Carlo – Quadro Resumo – 300 Cenários

Cenário	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO POR SIMULAÇÃO (MM US\$)							Executar Análise Econômica	
	Receita Bruta	Custo Fixo	Custo Variável	Despesas Outras	Tributos (IR + CSLL)	Lucro Líquido	Investimento Fixo de Capital	VPL	Cenários Positivos
Mínimo	574	228	218	281	2	618	877	736	N.º Total 283
Máximo	4.951	228	461	348	899	1.686	877	1.567	
Média	2.752	228	364	314	346	573	877	454	
1	1.058	228	275	288	16	311	877	429	
2	2.355	228	278	308	256	429	877	310	1
3	2.573	228	357	312	304	485	877	366	1
4	2.679	228	338	313	329	555	877	437	1
5	2.227	228	355	306	238	290	877	172	1
297	3.150	228	346	320	440	794	877	676	1
298	1.964	228	347	302	167	169	877	50	1
299	2.141	228	321	305	205	285	877	166	1
300	574	228	218	281	2	618	877	736	0

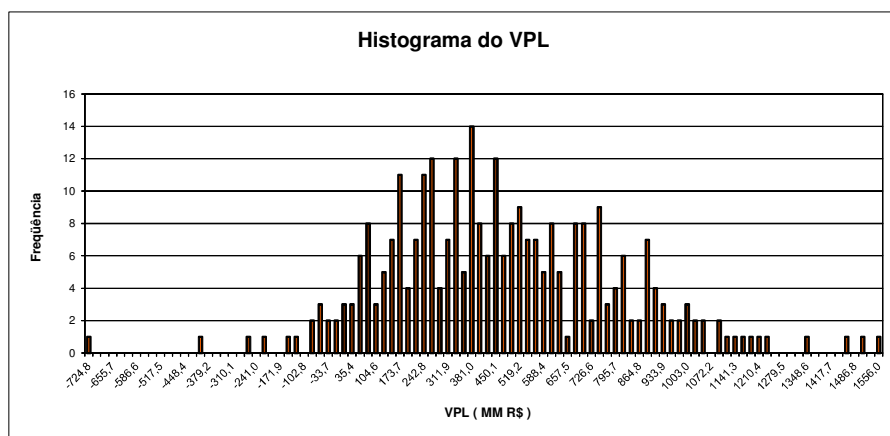


Figura (5.6) – Simulação de Monte Carlo – 300 Cenários – Histograma do VPL

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo registra os resultados dos trabalhos desenvolvidos durante o estágio de pós-doutorado do primeiro autor, R. L. N. Taylor-de-Lima, realizado no Programa de Planejamento Energético (PPE) da COPPE/UFRJ, sob a supervisão dos professores L. F. L. Legey e A. S. Szklo. O trabalho visou à realização de um estudo das metodologias para avaliações de viabilidade técnico-econômica das tecnologias em desenvolvimento para conversão de biomassa (especialmente bagaço de cana de açúcar) em biocombustíveis ou bioprodutos, como as que são utilizadas nas assim chamadas biorrefinarias

Inicialmente foi apresentada, na seção n.º 1, uma contextualização dos trabalhos desenvolvidos, descrevendo seus principais objetivos e as linhas de ação. Em seguida, na seção n.º 2, o texto apresentou um estudo da viabilidade técnica e econômica da rota tecnológica de produção de biocombustíveis via síntese de Fischer-Tropsch. Utilizando metodologia e exemplo de Swanson *et al.* (2010), registrados no relatório sobre o tema publicado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA, e discutidos em D'ÁVILA *et al.* (2014), o presente estudo analisou uma planta para produção de biocombustíveis localizada em um sítio de uma usina de açúcar e etanol de primeira geração no Estado de São Paulo, tendo como foco a produção de querosene de aviação, diesel e nafta de origem renovável (bioQAV, diesel verde e bionafta).

A planta considerada é capaz de aproveitar uma disponibilidade de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia, e convertê-las, por intermédio de gaseificação, síntese de Fischer-Tropsch e hidrobeneﬁciamento, em 2.284 barris por dia de combustíveis líquidos (C5+), vazão esta que corresponde a uma produção anual de 112.660.160 litros de combustíveis líquidos (ou 16.335.723

litros de bioQAV, 81.678.616 litros de diesel verde e 14.645.821 litros de bio nafta), quando se considera que a planta BTL opera durante 7446 horas ou 310,25 dias por ano. Os resultados deste estudo de viabilidade técnica e econômica com base na metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado mostraram que, apesar dos elevados custos de produção computados, o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é positivo e igual a US\$ 113.472.908, se for adicionado ao preço dos biocombustíveis o mesmo significativo prêmio de 84,9%, considerado no relatório do NREL. A Taxa Interna de Retorno (TIR) para o mesmo fluxo de caixa é de 10,8%, ou seja, maior do que a taxa mínima de atratividade considerada de 9,0%. Buscando-se, de outra forma, o percentual de prêmio que anula o VPL do projeto, chega-se a 59,2%, percentual bem inferior àquele adotado no cálculo anterior.

Na seção n.º 3, estendeu-se o estudo realizado na seção anterior, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do processo Biomass-To-Liquids (BTL) em condições de incerteza, partindo-se do princípio de que os preços de matérias primas, insumos e produtos de uma planta BTL oscilam no mercado internacional, devendo ser tratados por meio de processos estocásticos. Foram discutidos os fundamentos da modelagem estocástica por intermédio do movimento de reversão à média, com o qual foram gerados, para o caso em estudo, 300 diferentes cenários de trajetórias de preços para a biomassa de bagaço de cana, para os biocombustíveis e para a energia elétrica, de modo a que fossem realizadas simulações de Monte Carlo. Os resultados da modelagem estocástica demonstraram não ser necessário considerar um prêmio sobre os preços dos biocombustíveis. De fato, o resultado da simulação com prêmio nulo forneceu um VPL médio positivo para o projeto – desta feita igual a US\$ 210 milhões – num contexto em que 202 dos 300 cenários considerados apresentaram valores positivos para o VPL, ou seja: o risco de ocorrer um VPL negativo é de 32,7%.

Com relação à rota tecnológica de produção de etanol e álcoois superiores via síntese termoquímica catalítica — que concorre com a da síntese de Fischer-Tropsch pela mesma matéria prima, qual seja, o gás de síntese renovável ou, em última instância, a biomassa — o estudo apresentou a metodologia e o exemplo utilizados por Dutta, A., *et al.* (2011), registrados no relatório sobre o tema publicado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), do Departamento de Energia dos EUA. Foi analisada uma planta para produção de etanol e álcoois superiores pela rota termoquímica, considerada no relatório do NREL, neste

caso localizada em um sítio de uma usina de açúcar e etanol de primeira geração no Estado de São Paulo. Considerou-se que a planta de etanol aproveita uma disponibilidade de 2.000 toneladas de bagaço de cana (em base seca) por dia, que são convertidas, primeiramente, em 1.560 toneladas de gás de síntese por dia e, em seguida, por intermédio de síntese catalítica, em 699.000 litros/dia de etanol e 84.200 litros/dia de álcoois superiores. Os resultados obtidos com base na metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado mostraram que, como seria de se esperar, o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto BTL é negativo e igual em módulo a US\$ 63.353.976. A Taxa Interna de Retorno (TIR) para o mesmo fluxo de caixa é de 8,1%, ou seja, menor do que a taxa mínima de atratividade considerada de 9,0%. Considerando-se, de outra forma, o preço do etanol como uma variável livre, e buscando-se o preço que tornaria nulo o VPL do projeto BTL, encontrou-se o chamado Preço Mínimo de Venda do Etanol (PMVE), igual a US\$0,692 / litro, valor este 6,5% superior ao do preço do etanol no mercado interno (no produtor).

A introdução de incertezas na análise da viabilidade econômica do processo de produção de etanol e álcoois superiores apresentou, no entanto, resultados bem diferentes daqueles encontrados na análise determinística. A simulação de Monte Carlo, realizada a partir de 300 diferentes cenários de trajetórias de preços para a biomassa de bagaço de cana, para o etanol e para os álcoois superiores, indicou um VPL médio positivo para o projeto, igual a US\$ 454 milhões, o que indica não ser necessária a adição de um prêmio sobre o preço de mercado do etanol anidro. Dos 300 cenários analisados, em 283 deles foram encontrados valores positivos para o VPL do projeto, o que significa um risco de apenas 5,7% de se alcançar VPL negativo.

7. AGRADECIMENTOS

Pelo contínuo incentivo e apoio profissional, os autores gostariam de agradecer aos engenheiros André de Mello Fachetti e Isabela Brito dos Santos, da gerência de processos de conversão de biomassa do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES – da Petrobras, e ao professor Luiz Antônio d’Avila, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, responsáveis pela condução do contrato N.º 0050.0076486.12.2, entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Petrobras, no âmbito do qual o primeiro autor, R. L. N. Taylor-de-Lima, desenvolveu a pesquisa discutida neste artigo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIUBE, F. A. L., “Processos Estocásticos em Finanças”, Notas de aula, Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, 2007.

AIUBE, F. A. L., “Modelos Quantitativos em Finanças”, Bookman Companhia Editora Ltda., Rio de Janeiro, 2013.

BARROS, M., “Processos Estocásticos”, Papel Virtual Editora, Rio de Janeiro, 2004.

COSTA, L. A., “Avaliação Econômica do Projeto GTL: uma Aplicação da Teoria de Opções Reais com Processo de Reversão à Média”, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, 2007.

DA SILVA, A. J. G., “Avaliação da Rota Termoquímica de Produção de Etanol e Álcoois Superiores”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Rio de Janeiro, 2013.

D'AVILA, L.A., TAYLOR-DE-LIMA, R.L., MENEZES, A.C.G., SOUSA-AGUIAR, E.F., FRAGA, A.C., SANTOS, I.B., Relatório Final de Atividades, Contrato Cenpes N.º 050.0076486.12.2, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

D'AVILA, L.A., TAYLOR-DE-LIMA, R.L., MENEZES, A.C.G., SOUSA-AGUIAR, E.F., FRAGA, A.C., SANTOS, I.B., Relatório Final de Atividades, Contrato Cenpes N.º 050.0058228.10.2, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

DIAS, M.A.G., “Opções Reais Híbridas com Aplicações em Petróleo”, Tese de Doutorado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, 2005.

DIAS, M.A.G., “Investimento sob Incerteza em Exploração e Produção de Petróleo”, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, 1996.

DIXIT, A.K., PINDYCK, R.S., “Investment under Uncertainty”, Princeton University Press, 1994.

DUTTA, A., TALMADGE, M., HENSLEY, J., et al., “Process Design and Economics for Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol: Thermochemical Pathway by Indirect Gasification and Mixed Alcohol Synthesis”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-5100-51400, May 2011.

FRANCISCO, M. L., “A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta GTL”, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, 2007.

FRANCO, J.C.G., “Maximum likelihood estimation of mean reverting processes”, disponível em http://www.investmentscience.com/Content/howtoArticles/MLE_for_OR_mean_reverting.pdf , Onward Inc., 2013 .

HULL, J. C., “Options, Futures, and Other Derivatives Securities”, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 7th ed., 2009.

SCHWARTZ, E.S. The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging. *Journal of Finance*, vol.52(3), July, 1997, p.923-973.

SENNEJUNKER, K., “Sugar cane residues and eucalyptus wood - techno-economic analysis of availability and transport logistics for the supply of a Biomass-to-Liquid plant in southeast Brazil”, 2012. 81 f. Mestrado - Department of Economics and Business Engineering, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, 2012.

SOUSA-AGUIAR, E.F., SOUZA, S.S.A., OLIVEIRA, F.B., “BTL: a solution to increase energy efficiency in the Brazilian alcohol business”, 2007.

SWANSON, R. M., SATRIO, J. A., BROWN, R. C., PLATON, A., HSU, D. D., “Techno-Economic Analysis of Biofuels Production Based on Gasification”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-6A20-46587, November 2010. VIEIRA, E. F. L., “Avaliação de Projetos de Investimentos em Plantas XTL Utilizando a Teoria das Opções Reais”, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial (2007).

Esta edição do **Cadernos de Energia** contou com apoio financeiro do
PROEX/CAPES

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

**COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-
Graduação e Pesquisa de Engenharia**

PPE – Programa de Planejamento Energético

**Centro de Tecnologia, Bloco C, sala 211, Cidade
Universitária CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ**