

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Erich Entschew Junior

**Análise econômica do HBio como biocombustível em substituição
parcial no diesel mineral**

**São Paulo
2008**

Erich Entschew Junior

Análise econômica do HBio como biocombustível em substituição parcial no diesel mineral

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Processos Industriais.

Data de Aprovação _____ / _____ / _____

Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. João Guilherme Rocha Poço
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Mário Antonio Margarido
IEA – Instituto de Economia Agrícola

Erich Entschew Junior

Análise econômica do HBio como biocombustível em substituição parcial no diesel mineral

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Processos Industriais.

Área de Concentração: Otimização e desenvolvimento de processos

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado

São Paulo
Dezembro/2008

Ficha Catalográfica

Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

E61a Entschew Junior, Erich

Análise econômica do HBio como biocombustível em substituição parcial no diesel mineral. / Erich Entschew Junior. São Paulo, 2008.
106p.

Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Desenvolvimento e Otimização de Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado

1. Biocombustível 2. Biodiesel 3. Viabilidade econômica 4. Fonte alternativa de energia 5. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Ensino Tecnológico II. Título

09-02

CDU 662.6/.9.003.12(043)

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Vanessa, pelo apoio, incentivo e ajuda em toda essa jornada e aos meus pais, Erich e Cecília, pois sem eles nada disso teria sido possível.

Agradecimentos

Agradeço especialmente ao meu orientador, Dr. Eduardo Luiz Machado (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), por toda ajuda, discussões e análises que permitiram concluir este trabalho, buscando sempre fazer o melhor em cada etapa.

Também gostaria de agradecer ao Dr. João Guilherme Rocha Poço (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e ao Dr. Mário Antonio Margarido (Instituto de Economia Agrícola) pelas sugestões, suporte e enriquecimento deste trabalho.

RESUMO

Os biocombustíveis têm-se apresentado como uma alternativa energética renovável amplamente pesquisada no mundo para reduzir a demanda por combustíveis fósseis, devido a sua grande variação de preços e potencial poluidor. Embora existam inúmeros estudos técnicos sobre os biocombustíveis, ainda são escassas na literatura avaliações econômicas de processos. O trabalho buscou, utilizando os conceitos econômicos básicos de receita, preço e custo, simular os custos do processo de produção do HBio e compará-los aos preços do diesel mineral e do biodiesel. As análises usam como base o óleo de soja como insumo principal na produção dos combustíveis de origem vegetal. Foram analisados os preços de janeiro de 2002 até junho de 2008 para o óleo diesel mineral e para o óleo de soja, período em que a busca de combustíveis renováveis voltaram a apresentar grande importância, devido aos sucessivos aumentos do petróleo. Foi possível avaliar momentos em que os combustíveis vegetais poderiam ter sido economicamente viáveis e estabelecer para o HBio e o biodiesel o preço máximo do óleo vegetal que torna o processo viável.

Palavras-chave: HBio, biocombustível, diesel, hidrotratamento.

ABSTRACT

Economic analysis of HBio as biofuel to partial substitute in mineral diesel

Biofuels has been presented as an alternative renewable energy highly researched worldwide, to reduce fossil fuel demand because their price variations and you high pollution potential. Although there are many technical studies about biofuels, but economic process evaluations are hard to find in the literature. This study sought, using the basic economic concepts of revenue, price and cost, simulate the production process cost of HBio and compare them to mineral diesel and biodiesel prices. The analyses based on the soybean oil as a primary raw material in the production of vegetable fuels. There are analyzed the prices from January 2002 to June 2008 for the mineral diesel oil and soybean oil, period which renewable fuels back to show great importance because the high oil prices. It was possible to show the moments when the vegetable fuels could have been economically viable and establish the maximum price of vegetable oil to make the HBio and biodiesel became viable.

Keywords: HBio, biofuel, diesel, hidrotreating.

Lista de Figuras

Figura 1: Transesterificação de ácidos graxos (triglicérides) com álcool.	21
Figura 2: Esquema simplificado da produção de biodiesel.	22
Figura 3: Processos comuns de hidrogenação em processo de hidrotreatamento.	28
Figura 4: Exemplo de uma corrente de diesel padrão de refinaria.	29
Figura 5: Rotas de produção do diesel vegetal.	31
Figura 6: Processo simplificado da produção do HBio.	32
Figura 7: Etapas elementares do processo de HBio.	33
Figura 8: Caminhos de reação dos óleos vegetais.	34
Figura 9: Percentagem de máximo rendimento de n-C ₁₅ a n-C ₁₈ de misturas de hidrotreatamento de óleo de alto vácuo (HVO) e óleo de girassol com catalisador NiMo/Al ₂ O ₃ à velocidade espacial de 5,2h ⁻¹ e 50 atm de H ₂	36
Figura 10: Diagrama do Processo de HBio.	37
Figura 11: Índice de cetano em relação à adição de óleo vegetal. 1 – Óleo de mamona a 350° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C; 3 – Óleo de soja a 350° C; 4 – Óleo de soja a 370° C.	39
Figura 12: Temperatura de entupimento. 1 – Óleo de mamona a 350° C e óleo de soja a 350° C e 370° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C.	40
Figura 13: Resíduo insolúvel. 1 – Óleo de mamona a 350° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C; 3 – Óleo de soja a 350° C; 4 – Óleo de soja a 370° C.	41
Figura 14: Insumos e alternativas de processo para a produção de hidrogênio.	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valor dos tributos e índices de preço incidentes no óleo diesel no Brasil, em dezembro de 2007	61
Tabela 2: Participação das matérias primas oleaginosas utilizadas no Brasil para produção de biodiesel nos meses de janeiro e maio de 2008.	70

Lista de Quadros

Quadro 1: Características físicas do biodiesel e do diesel de petróleo.....	23
Quadro 2: Composições típicas em destilações fracionadas de petróleo.....	26
Quadro 3: Estrutura química de ácidos graxos comuns encontrados em óleos vegetais.....	43
Quadro 4: Composição química de óleos vegetais.....	44
Quadro 5: Processos, insumos químicos e energéticos para produção de hidrogênio no Brasil.....	48
Quadro 6: Rendimento volumétrico do HBio.....	49
Quadro 7: Propriedades de compostos no hidrotratamento.....	50
Quadro 8: Custos do processo produtivo do biodiesel.....	59
Quadro 9: Composição do custo do óleo diesel desde o produtor.....	60
Quadro 10: Preços de custos de hidrogênio em relação a forma de produção e armazenamento.....	71
Quadro 11: Custos de produção de hidrogênio através de insumos mais comuns.....	72
Quadro 12: Preços de custos de hidrogênio em relação a forma de produção e armazenamento.....	72
Quadro 13: Definição de custos constantes para as simulações.....	75
Quadro 14: Valor máximo do óleo de soja em relação ao diesel mineral.....	81

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Evolução dos preços do óleo diesel	61
Gráfico 2: Preço do petróleo Brent entre Janeiro de 2002 a Junho de 2008.....	63
Gráfico 3: Correlação entre o preço do barril de petróleo e o preço do litro do diesel	64
Gráfico 4: Estimativa de preço futuro do petróleo	65
Gráfico 5: Distribuição da produção de oleaginosas no mundo.....	66
Gráfico 6: Distribuição da produção de óleos vegetais no mundo.....	66
Gráfico 7: Evolução dos preços do óleo de soja	68
Gráfico 8: Evolução e estimativa da produção mundial de soja – 1961/2020	69
Gráfico 9: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço mínimo.....	77
Gráfico 10: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço médio.....	78
Gráfico 11: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço máximo.....	79
Gráfico 12: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço máximo + 20% do preço	80
Gráfico 13: Preço máximo do óleo vegetal em função do tipo do biocombustível e do preço do diesel mineral.....	83
Gráfico 14: Preço do hidrogênio para o equilíbrio dos preços do HBio x biodiesel	84
Gráfico 15: Projeção histórica da viabilidade econômica dos biocombustíveis no Brasil entre janeiro de 2002 a junho de 2008.....	86
Gráfico 16: Ampliação da projeção do histórico de preços de janeiro/05 a dezembro/06.....	87

Lista de Abreviaturas e Siglas

°C	Graus Celsius
%m	Percentual em massa
φ	Custo de processo
ANP	Agência Nacional de Petróleo
B2	Mistura de 2% de biodiesel no diesel mineral
B5	Mistura de 5% de biodiesel no diesel mineral
Bar	Pressão em bar
Biod.	Biodiesel
cm ³	Centímetro cúbico
Cp	Capacidade Calorífica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DCN	Derivated Cetane Number
DM	Diesel mineral
EC	Entalpia de Combustão
EN	Energia
EtOH	Etanol
g	Gramma
Glic.	Glicerina
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H2	Gás Hidrogênio
H10	Mistura de 10% de HBio no diesel mineral
H18	Mistura de 18% de HBio no diesel mineral
H10+B3	Mistura de 10% de HBio no diesel mineral com adição posterior de 3% de biodiesel
H10+B5	Mistura de 10% de HBio no diesel mineral com adição posterior de 5% de biodiesel
H10+B10	Mistura de 10% de HBio no diesel mineral com adição posterior de 10% de biodiesel
HBio	Biocombustível de origem de hidrotratamento
Hidrot.	Hidrotratamento
IEA	International Energy Agency
IQT	Ignition Quality Tester
J	Joule
K	Graus Kelvin
L	Litro
M	Massa
MET	Metano
NL	Normal litro
OSoja	Óleo de Soja
P	Preço
ppm	Partes por milhão
PROP	Propano
Q	Quantidade de Energia
T	Tempo
T	Temperatura
V	Volume
X	Fração volumétrica

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA	15
1.3	METODOLOGIA	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	19
2.1.1	<i>Biodiesel</i>	21
2.2	PROCESSO HBIO	25
2.2.1	<i>Petróleo Mineral</i>	25
2.2.2	<i>Hidroprocessamento / Hidrotratamento</i>	26
2.2.3	<i>O HBio</i>	30
2.2.3.1	<i>Descrição do Processo Produtivo do HBio</i>	37
2.2.3.2	<i>Propriedades do HBio</i>	39
2.3	ÓLEOS VEGETAIS	42
2.4	HIDROGÊNIO	46
2.4.1	<i>Reforma de Gás Natural</i>	48
3.	ESTRUTURAÇÃO DOS CUSTOS DOS COMBUSTÍVEIS	49
3.1	MODELAGEM DE CUSTOS DO HBIO	49
3.2	MODELAGEM DE CUSTOS DO BIODIESEL	54
3.3	COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS DE DIESEL	56
3.4	CUSTO DO PROCESSO DE HIDROTRATAMENTO.....	58
3.5	CUSTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO BIODIESEL.....	59
3.6	AVALIAÇÃO DOS PREÇOS DOS PRINCIPAIS INSUMOS.....	60
3.6.1	<i>Evolução dos preços do diesel puro</i>	60
3.6.2	<i>Evolução dos preços do óleo de soja bruto</i>	66
3.6.3	<i>Avaliação dos preços do Hidrogênio</i>	71
4.	ANÁLISE DE PREÇOS DAS MISTURAS COMBUSTÍVEIS.....	74
4.1	DELIMITAÇÃO DAS CONSTANTES E VARIÁVEIS DE SIMULAÇÃO	74
4.2	COMPOSIÇÃO DAS SIMULAÇÕES	76
4.3	AVALIAÇÃO DOS PREÇOS DAS MISTURAS	77
4.3.1	<i>Cenário 1: Preço mínimo do óleo diesel: R\$ 0,432 / L.....</i>	<i>77</i>
4.3.2	<i>Cenário 2: Preço médio do óleo diesel: R\$ 1,021 / L</i>	<i>78</i>
4.3.3	<i>Cenário 3: Preço máximo do óleo diesel: R\$ 1,393 / L.....</i>	<i>79</i>
4.3.4	<i>Cenário 4: Preço máximo do óleo diesel + 20%: R\$ 1,672 / L</i>	<i>80</i>
4.4	SÍNTESE DOS CENÁRIOS	81
4.5	PROJEÇÃO DA VIABILIDADE HISTÓRICA DO PERÍODO	86
5.	ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	89
6.	CONCLUSÕES	93
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
8.	ANEXOS	102

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade energética mundial e o aumento da escassez de combustíveis fósseis, aliados aos crescentes preços mundiais do petróleo e seu alto potencial poluente, principalmente pela emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, é necessário o estudo e a avaliação de novas fontes renováveis e menos poluidoras.

Segundo Léo (2006), nas próximas décadas inúmeros combustíveis irão surgir em substituição ao petróleo devido ao seu crescente preço. Porém apenas alguns serão escolhidos, para que gradativamente, modifiquem as matrizes energéticas. Cabe ao Brasil incentivar suas opções tecnológicas para que se tornem padrões mundiais, senão, outras fontes de energia ocuparão este lugar.

O Brasil é um país em desenvolvimento com necessidades crescentes de combustível de origem mineral. Por uma questão de planejamento estratégico ocorrido no passado, a matriz logística do país baseia-se no transporte rodoviário sendo o caminhão com motor a ciclo diesel o mais comum. Dessa forma o óleo diesel é vital para o funcionamento da economia e sem este o país entraria em colapso.

O petróleo brasileiro é tipicamente originado por óleo pesado que quando fracionado nas refinarias produz em grande quantidade nafta, gasolina e óleo combustível e, em menor proporção, óleo diesel. Para suprir a demanda de diesel, o país ainda depende da importação de petróleo.

Devido às suas grandes extensões de terra, o país tem a agricultura como um fator de grande importância para o seu desenvolvimento socioeconômico, assim podendo se tornar um potencial produtor de combustíveis renováveis, reduzindo sua dependência de combustíveis fósseis e gerando empregos na agroindústria.

O Brasil vem utilizando há várias décadas com sucesso o etanol, produzido em larga escala como substituto parcial da gasolina, porém não foi possível até o momento implantar um programa semelhante para o diesel.

Atualmente existe um grande esforço no sentido de viabilizar o chamado biodiesel, transester de ácido graxo com álcool (metanol ou etanol), porém a produção local desse

combustível ainda demanda desenvolvimento de uma tecnologia simples e de baixo custo, para que possa ser empregada pelo pequeno produtor agrícola.

Em escala industrial, é possível incorporar uma corrente de óleo vegetal na etapa de hidrotratamento presente em algumas das refinarias atuais, produzindo uma corrente mista entre óleo diesel mineral e um biocombustível, denominado HBio. Este processo, patenteado pela Petrobrás, não requer a implementação de uma nova tecnologia de produção e apresenta baixos investimentos nas unidades de processamento de petróleo.

Com este processo é possível adicionar uma corrente de óleo vegetal que é hidrogenado juntamente com as moléculas de diesel, gerando assim hidrocarbonetos na faixa de 16 e 18 carbonos, que é idêntica à fração mais comum do diesel de petróleo, tornando-se complementar no processamento e reduzindo a dependência do país.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação da potencialidade do mercado presente e futuro do HBio, sua viabilização econômica frente ao diesel puro de origem mineral e as composições de diesel mineral juntamente biodiesel, do seguinte modo:

- Estimar os preços finais de combustíveis baseados em misturas entre o diesel mineral, o HBio e o biodiesel, a partir de suas cadeias produtivas principais;
- Estabelecer o preço máximo do óleo vegetal utilizado possível para a viabilização da utilização do HBio;
- Avaliar no histórico recente a existência de momentos onde as misturas se tornariam mais favoráveis que a utilização do diesel puro;
- Verificar a influência que o custo do hidrogênio pode causar no custo de produção do HBio comparado ao custo do biodiesel.

1.2 Justificativa

A procura por novas fontes de energia ganhou novamente destaque nos últimos anos, devido aos sucessivos aumentos do preço do petróleo, inclusive acima das projeções mais pessimistas. No mundo todo, diversas fontes de energia alternativas tem sido estudadas, mas para que seja possível a substituição em curto prazo destes combustíveis baseados no petróleo sem ocasionar grande impacto na infra-estrutura atual, as formas e funcionamento dos motores e equipamentos devem ser conservadas. Deste modo, os biocombustíveis principalmente de origem vegetal processados através de transesterificação ou do hidrotreatamento têm se mostrado como fontes interessantes.

O governo federal há alguns anos tem incentivado a produção do biocombustível de transesterificação, biodiesel, principalmente por também ser visto como um combustível social, pois sua produção poderia ser feita por pequenos produtores, por meio do plantio da mamona em um primeiro momento. Por questões técnicas, o governo recua na utilização da mamona e considera que este óleo não pode ser utilizado sozinho na produção do biodiesel e a soja desponta como principal matéria prima (BOUÇAS, BUENO, 2007; MEDINA, 2008).

Com estas incertezas e dúvidas sobre o aspecto da produção social de biocombustíveis de transesterificação, a produção através da rota de hidrogenação, HBio, tem ganhado destaque, por ser uma fonte de fácil produção nas refinarias atuais que possuem unidades de hidrotreatamento. Este trabalho busca comparar aos custos de produção do diesel mineral e da mistura entre biodiesel e diesel mineral.

Entre as diversas oleaginosas produzidas no mundo, a soja representa 59% do total, seguido pelo algodão e pela colza, com 11% cada. Porém, na produção de óleo vegetal, a soja continua sendo a primeira com 32% do total seguido pelo óleo de palma, com 28% (LOVATELLI, 2005). No Brasil ainda a produção de óleo de palma é muito pequena, representando menos de 0,5% da produção mundial deste óleo em 1999. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2000).

Mesmo com o crescimento da produção de óleo de palma, em 2005 o foram produzidos aproximados 180 mil metros cúbicos deste óleo, contra mais de 6100 mil

metros cúbicos de soja, ou menos de 3% da produção de nacional do óleo de soja (NAPPO, 2006).

Outra alternativa ao óleo vegetal é a utilização de sebo bovino, que ganhou espaço na produção de biocombustíveis, como no caso do biodiesel, que já representou quase 22% da produção do mês de maio de 2008 (MEDINA, 2008).

Devido à falta de dados de conversão das reações químicas na literatura sobre a utilização do sebo bovino e outros óleos vegetais menos produzidos e, sendo o óleo de soja o único produzido no país em escala suficiente capaz de uma utilização imediata da produção das refinarias, este foi escolhido como base para as avaliações deste trabalho.

Embora não existam grandes custos adicionais no processamento do óleo vegetal na refinaria, estas ainda não possuem estrutura adequada para receber o óleo e nem se conhecem os custos de transporte e armazenamento envolvidos (BOUÇAS, 2006). De modo a minimizar as divergências de custos acarretadas pela logística do óleo de soja, foi considerado o seu preço praticado em São Paulo, devido a localização geográfica das refinarias que possuem unidades de hidrotratamento, que se concentram no eixo sul-sudeste.

1.3 Metodologia

O estudo proposto foi dividido em três etapas:

1ª Etapa: Pesquisa bibliográfica

Foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema, focando a situação atual de produção do HBio no Brasil, suas características técnicas e produtivas, as cadeias de suprimento envolvidas, bem como as características comparáveis ao biodiesel.

Foram utilizadas como fonte de informação bases de dados eletrônicos disponíveis na internet, tais como Periódicos Capes, bancos de patentes e bibliotecas virtuais. Também foram efetuadas buscas em artigos técnico-científicos, livros, anais para um estudo mais completo e atualizado.

2ª Etapa: Estruturação econômico-financeira

Nesta etapa foi efetuada a modelagem da estrutura de custos para a produção do HBio e do biodiesel mineral, a partir da sua cadeia de suprimentos principais, tomando-se como base conceitos econômicos básicos de receita, preço e custo.

Também foram avaliadas as fontes e custos das matérias primas disponíveis em escala produtiva compatível com a disponibilidade de demanda, sua legislação tributária, dentre outros dados relevantes, elaborando consultas em bases de dados de instituições públicas e privadas, podendo-se citar: Agência Nacional de Petróleo, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística dentre outras.

3ª Etapa: Análise Econômica dos Processos

A análise econômica efetuada baseou-se na simulação dos processos considerados, através da variação de preços de alguns dos insumos principais, como o preço do óleo vegetal e do diesel mineral.

Foram utilizadas planilhas do software *Excel* para o cálculo dos modelos propostos e geração dos gráficos comparativos entre os produtos, buscando encontrar os limites de viabilidade para cada produto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fontes de Energia Renovável

Uma grande variedade de alternativas tecnológicas são apresentadas como resposta aos desafios atuais da indústria. Esses desafios são habitualmente sintetizados em três fatores: fatores ambientais, em particular a resposta ao aquecimento global, fatores ligados à garantia e segurança do abastecimento energético e fatores relacionados à perspectiva de esgotamento do petróleo (INSTITUTO DE ECONOMIA UFRJ, 2006).

Dentre as fontes renováveis de energia, algumas podem se considerar como mais importantes, tanto pelo fato de seu aumento de utilização atual bem como pelos inúmeros trabalhos de pesquisa, onde é possível citar:

- Biodiesel
- Células a combustível (hidrogênio via renováveis)
- Energia de marés e ondas
- Eólica
- Etanol
- Gaseificação de Biomassa
- HBio
- Solar

No aspecto logístico, algumas formas de energia renovável possuem maior facilidade em sua utilização, pois se apresentam no estado líquido ou gasoso durante o processo de estocagem e transporte, tais como o biodiesel, o hidrogênio, os gases provenientes da gaseificação da biomassa, o etanol e o HBio. Por outro lado, a energia gerada através das marés, a eólica e a solar necessitam de sistemas geradores e, através de acumuladores de energia (baterias) poderiam ser transportadas ou transmitidas por redes elétricas de transmissão.

Entre todas as estas alternativas, apenas o Biodiesel e o HBio se mostram prontos para uma substituição imediata e pouco onerosa para o sistema atual de transporte de

cargas brasileiro, sem a necessidade de profundas adaptações nos veículos ou mesmo na rede de abastecimento, pois seu processo produtivo, apresenta características muito similares às do diesel mineral.

2.1.1 Biodiesel

A idéia da utilização de óleos vegetais para a geração de energia não é recente, pois Rudolf Diesel já havia testado esta utilização em seus desenvolvimentos. Durante a exposição de Paris em 1900, a companhia francesa Otto demonstrou o funcionamento de um pequeno motor diesel com óleo de amendoim (KNOTHE et al., 2006).

Como os óleos vegetais e gorduras de origem animal são formados principalmente por triglicerídeos e apresentam viscosidade cinemática muito superior ao do diesel de petróleo, a simples substituição entre os combustíveis seria difícil, devido à formação de incrustações nos cilindros e sistemas de injeção. Para minimizar este problema, esses óleos e gorduras são submetidos a processos de transesterificação, onde são produzidos ésteres, que apresentam viscosidade muito mais próxima ao diesel de petróleo e miscibilidade em qualquer proporção, ao que comumente passou a ser conhecido como biodiesel (POUSA, SANTOS, SUAREZ, 2007).

O processo de transesterificação é conhecido desde 1864, quando Rochleder descreveu a preparação de glicerol através da etanólise de óleo de mamona (ALI, HANNA, 1994).

A estequiometria da transesterificação requer três mols de álcool para cada mol de triglicerídeo, formando três mols do éster respectivo e um de glicerol, conforme a figura 1:

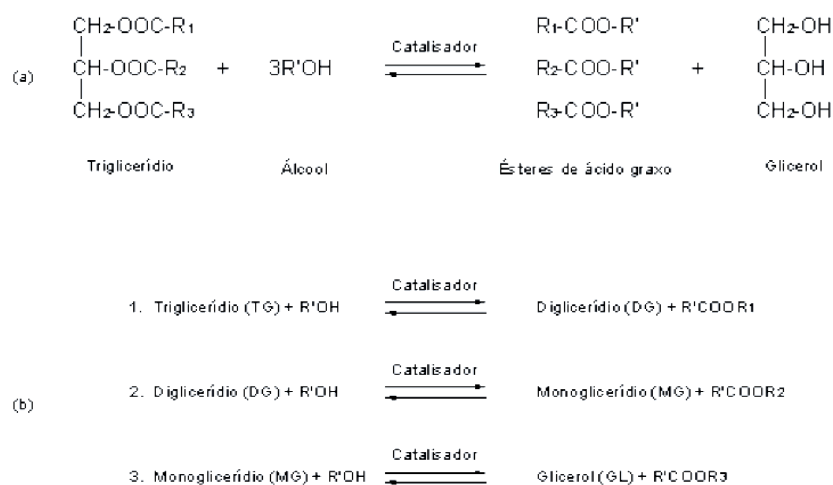


Figura 1: Transesterificação de ácidos graxos (triglicerídeos) com álcool.

(a) Equação geral; (b) Etapas de reação.

Fonte: MACEDO, MACEDO, 2004

Entre os diversos caminhos de produção de biodiesel, alguns processos de transesterificação se destacam: catalisada por ácidos *in situ*, catalisada por álcalis, utilização de fluidos supercríticos, enzimática de óleos vegetais e utilizando lípases extracelulares.

A catálise por álcalis é o processo de transesterificação que se tornou mais comum, utilizando bases como NaOH, KOH, carbonatos e alcóxidos. Como ela ocorre em velocidade 4000 vezes mais rápida que a ácida, tornou-se o padrão comercial (MACEDO, MACEDO, 2004).

Industrialmente a catálise por álcalis requer diversas operações unitárias. O óleo vegetal juntamente com o catalisador (por exemplo, NaOH ou KOH) entram em contato com a corrente de álcool, ocorrendo a reação de transesterificação. O produto desta reação é separado, onde a fase pesada é rica em glicerina e álcool. O álcool é recuperado em uma destilação prévia e a glicerina é redestilada. Na fase leve, a corrente é rica em éster e álcool. Novamente o álcool é recuperado e o éster enviado para a purificação, onde então se obtém o biodiesel.

O processo de produção industrial do biodiesel segue o fluxograma simplificado demonstrado na figura 2:

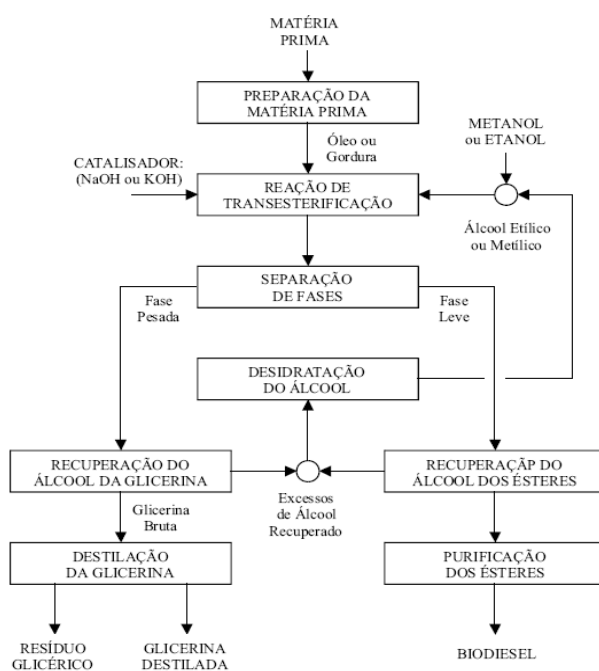


Figura 2: Esquema simplificado da produção de biodiesel.

Fonte: PARENTE, 2003.

Diversos estudos mostram que o biodiesel pode funcionar em um motor diesel convencional por longo tempo, em qualquer proporção entre o biodiesel e o diesel de petróleo (BOZBAS, 2008), principalmente devido às suas propriedades similares, que podem ser vistas no quadro 1. No Brasil, a partir de janeiro de 2008 entrou em vigor a obrigatoriedade de utilização da mistura B2, composta por 2% de biodiesel à mistura de diesel de petróleo, que foi alterada pela resolução nº2/08 do CNPE para 3% a partir de julho de 2008. Em 2013 a obrigatoriedade passará a 5% de adição, porém já foi autorizada a possibilidade da utilização de até 10% de substituição, caso seja necessário.

Propriedade	Biodiesel	Diesel de Petróleo
Massa específica (kg/L)	0,87-0,89	0,84-0,86
Número de Cetano	46-70	47-55
Ponto de Névoa (K)	262-289	256-265
Ponto de Empobrecimento (K)	258-286	237-243
Ponto de Flash (K)	408-423	325-350
Enxofre (%massa)	0,0000-0,0024	0,04-0,01
Cinzas (%massa)	0,002-0,01	0,06-0,01
Número de Iodo	60-135	-
Viscosidade Cinemática, 313K	3,7-5,8	1,9-3,8
Densidade energética, MJ/kg	39,3-39,8	45,3-46,7

Quadro 1: Características físicas do biodiesel e do diesel de petróleo.

Fonte: Adaptado de BOZBAS, 2008.

Os principais problemas do biodiesel consistem no congelamento em regiões frias, na mais baixa densidade energética e na degradação do combustível em estocagens em longo período (BOZBAS, 2008).

Em relação à matriz energética brasileira, a aparente simplicidade do processo de produção e a existência de enorme variedade de plantas oleaginosas em países como o Brasil, aliadas à garantia de mercado pela utilização compulsória do produto em mistura ao diesel mineral, têm atraído enorme interesse por essa indústria. Entretanto, parece que no momento convivem diversas alternativas de estruturação do negócio, tanto do ponto de vista tecnológico quanto mercadológico (INSTITUTO DE ECONOMIA UFRJ, 2006).

Por outro lado, a dependência de álcool na produção do biodiesel e a alta produção de glicerina (consequentemente com sua queda de preço no mercado) são fatores prejudiciais à viabilidade técnico-econômica.

2.2 Processo HBio

2.2.1 Petróleo Mineral

O petróleo mineral é uma substância oleosa, formada por uma complexa mistura de hidrocarbonetos, podendo conter quantidades de oxigênio, nitrogênio, enxofre e alguns íons metálicos, principalmente níquel e vanádio. Comumente pode ser chamado de petróleo leve (que contém quantidades menores de compostos parafínicos) e petróleo pesado (com grande presença de compostos parafínicos e aromáticos).

Diversos são os compostos derivados do petróleo, sejam eles com finalidade energética, tais como a gasolina, o óleo diesel, o querosene, o gás natural, o GLP, ou com outras finalidades, sejam fontes para indústrias petroquímicas na produção de polímeros plásticos ou de utilização final, como as parafinas e os asfaltos.

Das frações de petróleo a que mais interessa neste trabalho é a do óleo diesel. O diesel é composto por aproximadamente 75% de hidrocarbonetos saturados (parafinas primárias incluindo as configurações espaciais n, iso e cicloparafinas) e 25% de compostos aromáticos (incluindo naftalenos e alquilbenzenos). A fórmula química média para o diesel comum é $C_{12}H_{23}$, variando aproximadamente de $C_{10}H_{20}$ a $C_{15}H_{28}$ e sua temperatura de destilação atmosférica está na faixa de 250 a 350°C (NELSON, 1958).

A refinaria de petróleo é responsável principalmente pela destilação fracionada do petróleo, para a obtenção de seus derivados. A destilação fracionada (ou atmosférica) é um processo de separação térmica dos compostos presentes no petróleo. Algumas composições gerais podem ser vistas no quadro 02:

Faixa de temperatura (°C)	Composição Típica
20 a 60	Gás Natural, Éter de Petróleo
60 a 90	Benzina
90 a 120	Nafta
40 a 200	Gasolina
150 a 300	Querosene
250 a 350	Diesel, Gasóleo
300 a 400	Óleos Lubrificantes
Acima de 400	Resíduos – Asfalto, piche, coque Subprodutos – Parafina, vaselina

Quadro 2: Composições típicas em destilações fracionadas de petróleo

Fonte: Elaboração própria com base em NELSON, 1958.

A destilação fracionada é o principal processo e etapa mais elementar para a obtenção dos derivados de petróleo, porém não é o processo mais importante para a melhoria da qualidade dos derivados em uma moderna refinaria de petróleo. Alguns processos são possíveis destacar:

- Dessalgação;
- Destilação atmosférica (ou destilação fracionada);
- Destilação à vácuo;
- Hidrotratamento;
- Reforma catalítica;
- Craqueamento catalítico;
- Craqueamento térmico;
- Alquilação.

Dos processos descritos, o hidrotratamento possui um papel importante, pois é a etapa fundamental para o processo do HBio, como será mostrado subitem 2.2.2..

2.2.2 Hidroprocessamento / Hidrotratamento

O hidroprocessamento iniciou através do hidrorrefino (HDR), que foi introduzido nos Estados Unidos em 1960 para converter o excesso de óleo combustível em

combustíveis mais leves, como gasolina e querosene de aviação. Atualmente, o hidroprocessamento descreve diferentes processos em que os hidrocarbonetos reagem com hidrogênio. Pode-se dividir o hidroprocessamento em dois processos: hidrocraqueamento ou hidrorrefino (HDR) e hidrotratamento (HDT).

O HDR é utilizado na conversão de combustíveis mais pesados em combustíveis mais leves, por meio do craqueamento das moléculas com a saturação das olefinas, enquanto o hidrotratamento é utilizado na remoção de impurezas da corrente de alimentação, como por exemplo a remoção de enxofre (MEYERS, 2004).

O HDT representa uma vasta gama de processos, com a finalidade de remover contaminantes e, dependendo do material a ser removido, ganha um nome característico. Entre estes processos existem a hidrodessulfurização (HDS), hidrodesnitrificação (HDN), hidrodesaromatização (HDA) e hidrodessoxigenação (HDO). Em alguns casos, esses tratamentos fazem parte de diferentes unidades industriais, otimizadas para oferecer maior seletividade e rendimento das reações.

No Brasil, a Petrobrás inaugurou sua primeira unidade de HDT em 1998, na Refinaria Presidente Bernardes, Cubatão-SP. Atualmente, existem unidades de HDT na REDUC-RJ, REPLAN-SP, REVAP-SP, REPAR-PR, REFAP-RS e REGAP-MG. A atual capacidade instalada de HDT no Brasil corresponde a 36% do diesel consumido no Brasil, ou seja, cerca de 64% da produção não passa pelo processo HDT. Como o HDT é extremamente eficiente, um produto de HDT bastante puro é misturado com o diesel bruto, de modo a melhorar a especificação (PRATES, 2006).

Não se processa todo o diesel através do HDT por uma questão econômica, pois uma unidade completa de HDT custa entre R\$ 200 e 250 milhões, e produz entre 3 a 5 milhões de litros de diesel/dia. Mesmo em alguns países que processam grande parte do seu diesel através do HDT, como o caso dos Estados Unidos, apenas 73% é processado pelo hidrotratamento (PRATES, 2006).

Algumas reações principais de hidrogenação que ocorrem nos processos de hidrotratamento podem ser vistos na figura 03:

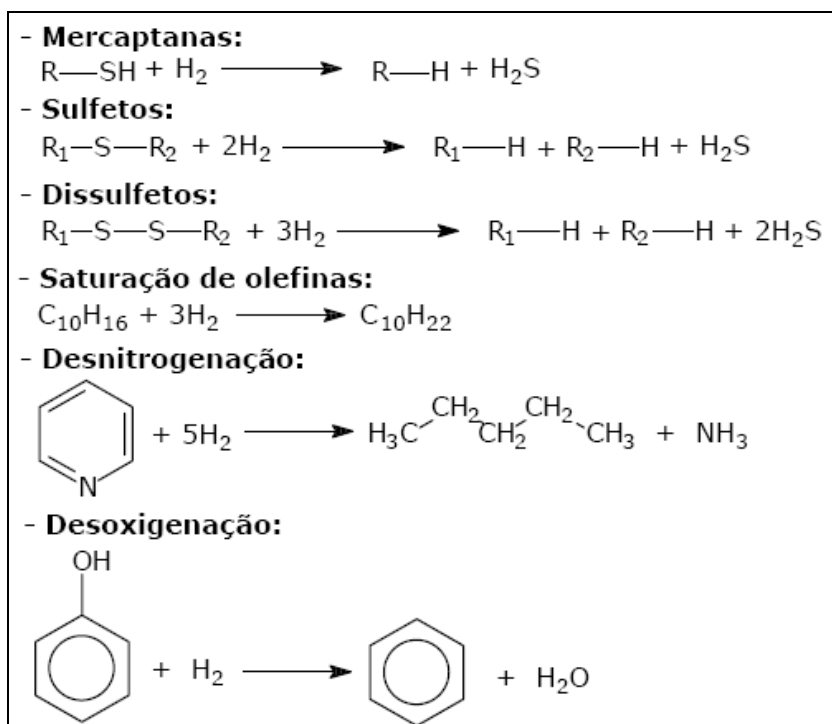


Figura 3: Processos comuns de hidrogenação em processo de hidrotratamento

Fonte: Elaboração própria com base em NELSON, 1958.

A corrente do diesel de petróleo possui em sua composição básica naftênicos, aromáticos, parafinas e olefinas, além dos contaminantes que são principalmente os compostos nitrogenados e sulfurados. No hidrotratamento, são rompidas parte das cadeias aromáticas, aumentando assim a concentração de naftênicos no produto final. Do mesmo modo, as insaturações das olefinas são eliminadas, se tornando quase na totalidade, parafinas (PALOMBO, 2007).

O hidrotratamento também proporciona a remoção de parte dos contaminantes nitrogenados e sulfurados, melhorando a especificação do diesel e favorecendo a redução posterior das emissões (PALOMBO, 2007).

Esquemáticamente, o hidrotratamento em uma corrente de diesel padrão de refinaria, é representado na figura 04:

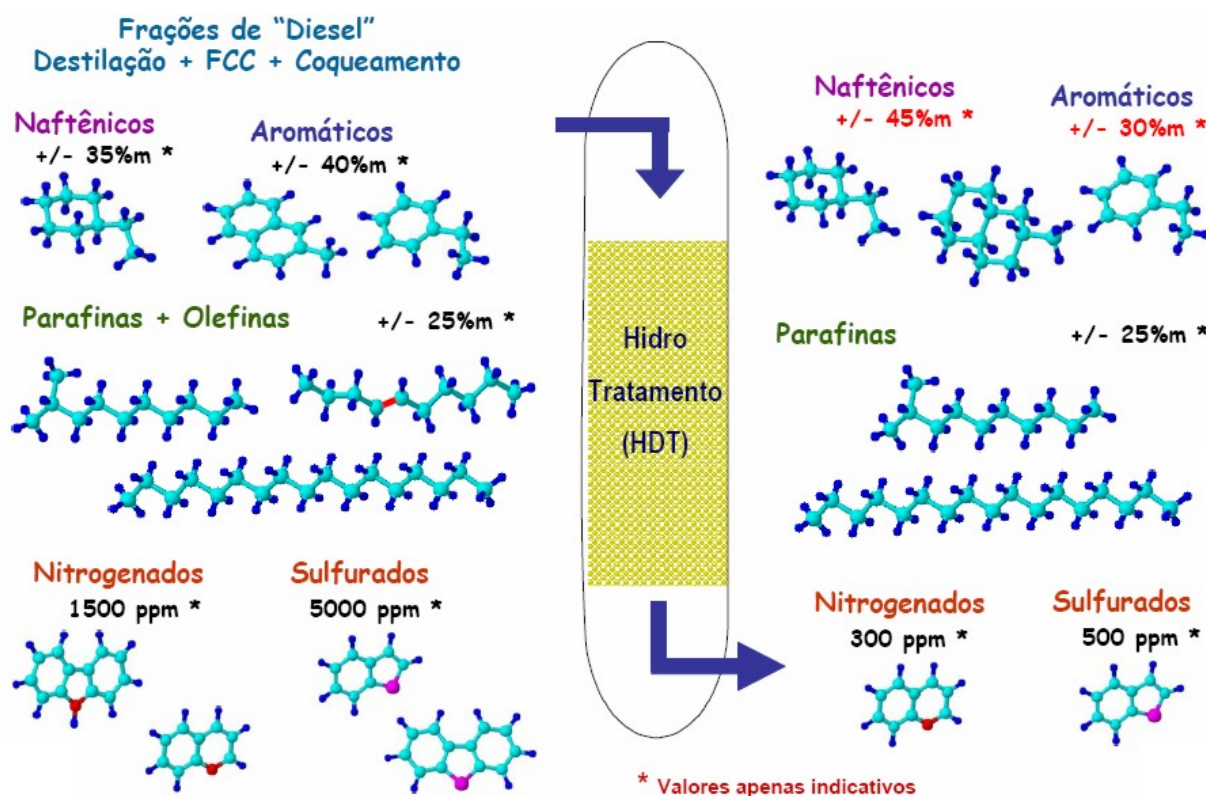


Figura 4: Exemplo de uma corrente de diesel padrão de refinaria

Fonte: PALOMBO, 2007

De um modo geral, é possível resumir a importância do hidrotreato do diesel em:

- Hidrogenação das duplas ligações das olefinas, transformando praticamente todas em cadeias parafínicas;
- Hidrogenação dos anéis aromáticos, convertendo parcialmente os compostos aromáticos em naftênicos;
- Redução dos contaminantes nitrogenados e sulfurados (PALOMBO, 2007).

Assim pelo hidrotreato é possível enriquecer a fração de diesel, pois se aumenta a presença de parafínicos e naftênicos (melhorando o índice de cetano) e, ao mesmo tempo, se reduz a presença de contaminantes.

2.2.3 O HBio

O processo de produção conhecido como biodiesel, atual forma de produção de diesel renovável através de óleos e gorduras vegetais ou animais, é obtido pela rota conhecida como transesterificação, descrita por:



A semente é esmagada e o óleo vegetal vai para uma unidade de transesterificação, onde o biodiesel a 100% (chamado também de B100) é produzido, juntamente com a glicerina em grande quantidade. A glicerina é revendida e o biodiesel enviado para refinarias, onde é adicionado à corrente de diesel de petróleo.

A nova proposta de produção, conhecida como HBio, possui uma rota diferente, através da hidrogenação do óleo ou gordura, descrita por:



Neste novo processo, a semente é esmagada e o óleo vegetal vai diretamente para a refinaria, onde é adicionada à corrente de diesel de petróleo, antes da etapa de hidrotreatamento. No hidrotreatamento, o óleo vegetal transforma-se em HBio, com propriedades muito próximas ao do diesel de petróleo. De mesmo modo, nesse processo ainda pode ser incorporado o biodiesel.

Segundo a patente industrial 0500591-4A (GOMES, 2006), a invenção do processo de HBio prevê na etapa de hidrotreatamento do diesel mineral uma adição de óleos vegetais e/ou gorduras naturais, que são hidrogenadas simultaneamente para se obter óleo diesel, resultando em um óleo de índice de cetano melhorado em relação ao hidrotreatamento de óleo mineral sem adição.

Outra vantagem significativa desse processo é a redução das impurezas finais do produto, principalmente do enxofre, através da hidrodessulfurização (HDS), pois o acréscimo de óleo vegetal ocasiona um efeito de diluição na corrente mineral alimentada,

aumentando assim o rendimento do processo de remoção (HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007).

Quanto à produção, é possível verificar esquematicamente rotas do biodiesel e do HBio desde o agronegócio até a distribuição através da figura 05:

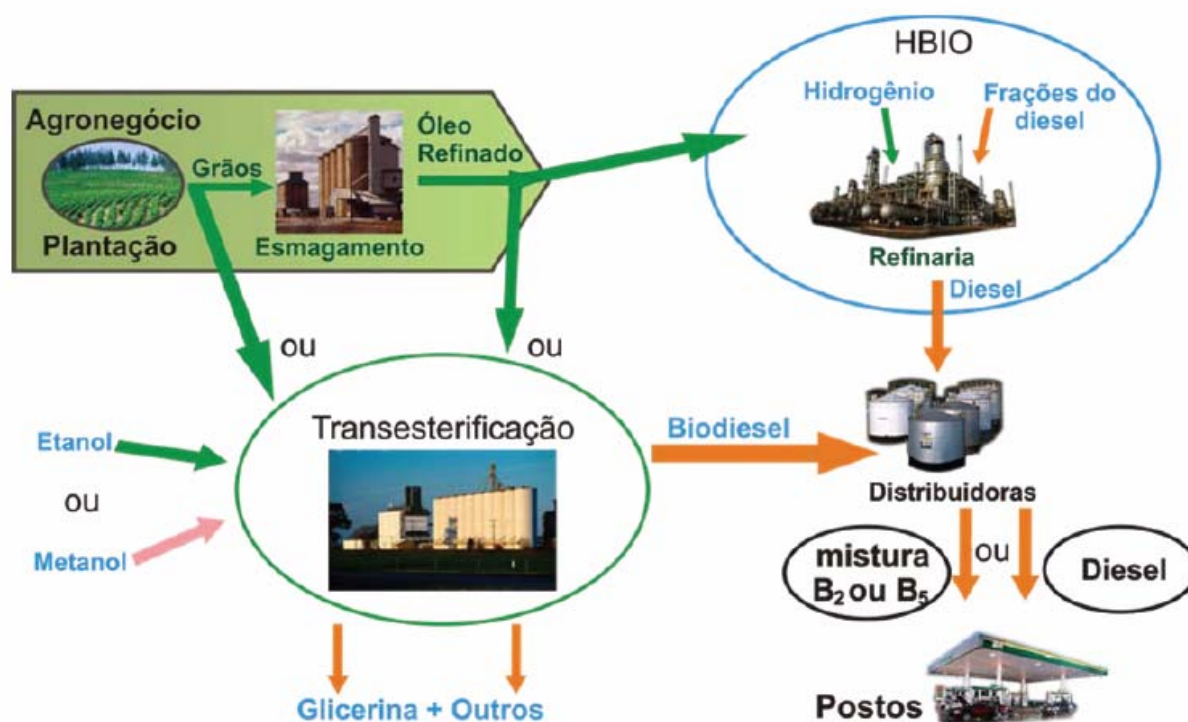


Figura 5: Rotas de produção do diesel vegetal

Fonte: MANTA, 2007.

Para a produção em escala do HBio nas refinarias atuais, embora não existam grandes custos adicionais no processamento do óleo vegetal, as unidades de refino ainda não possuem estrutura adequada para receber o óleo nem se conhecem os custos de transporte e armazenamento envolvidos, portanto a Petrobrás optou pela substituição de 10% em algumas refinarias, assim podendo analisar melhor estes valores. Nem todas as refinarias possuem unidades de hidrotreatamento, devido aos altos custos de investimento, portanto, apenas algumas estão aptas a este processo (BOUÇAS, 2006).

Quanto ao processamento, o petróleo entra pela coluna de destilação atmosférica, onde são retiradas diversas frações, inclusive o diesel (diesel de destilação). O resíduo dessa coluna é enviado para uma coluna de destilação a vácuo, onde se retira o gasóleo

(um pouco mais pesado que o diesel), que entra em um reator de reforma catalítica (FCC), produzindo uma nova fração de diesel (diesel de craqueamento). O resíduo remanescente da coluna de destilação a vácuo é enviado para uma etapa de coqueamento retardado, produzindo uma nova fração de diesel (diesel de coque). Todas as frações de diesel são misturadas e entram no processo de hidrotratamento, juntamente com a fração de óleo vegetal, produzindo o HBio. Finalmente, mais diesel não tratado pelo hidrotratamento é adicionado, formando o diesel para a venda. O processo pode ser visto na figura 06:

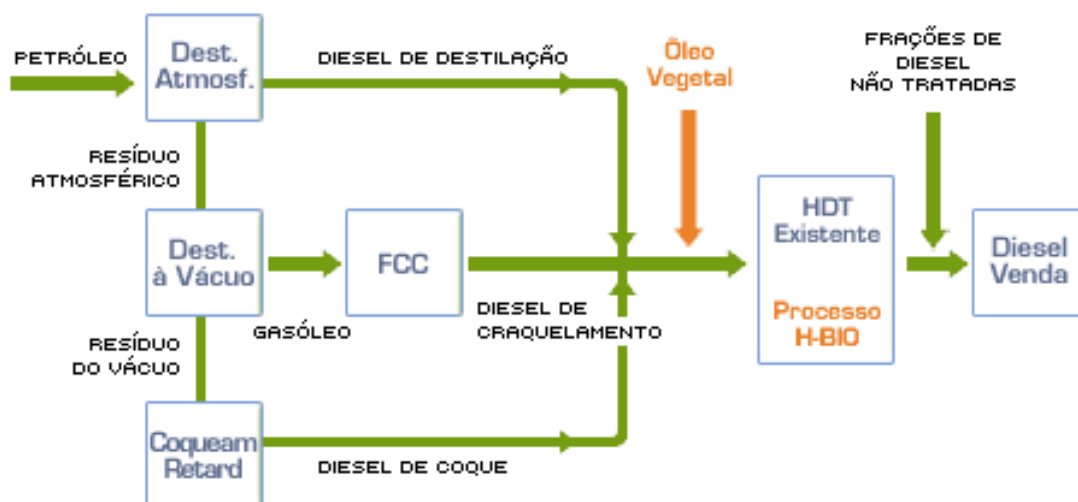


Figura 6: Processo simplificado da produção do HBio

Fonte: PETROBRÁS, 2007.

A etapa de hidrotratamento consiste na compressão e aquecimento do óleo vegetal à mesma condição do diesel bruto, que são enviados ao forno de aquecimento, com a adição de hidrogênio. A corrente é recebida pelo reator de hidrotratamento e, após o processamento, resfriado, possibilitando a separação da fase líquida e gasosa. O hidrogênio remanescente do processo é recuperado, as impurezas e gases combustíveis removidos e, na fase líquida, retirado o HBio. O fluxograma é visualizado na figura 07:

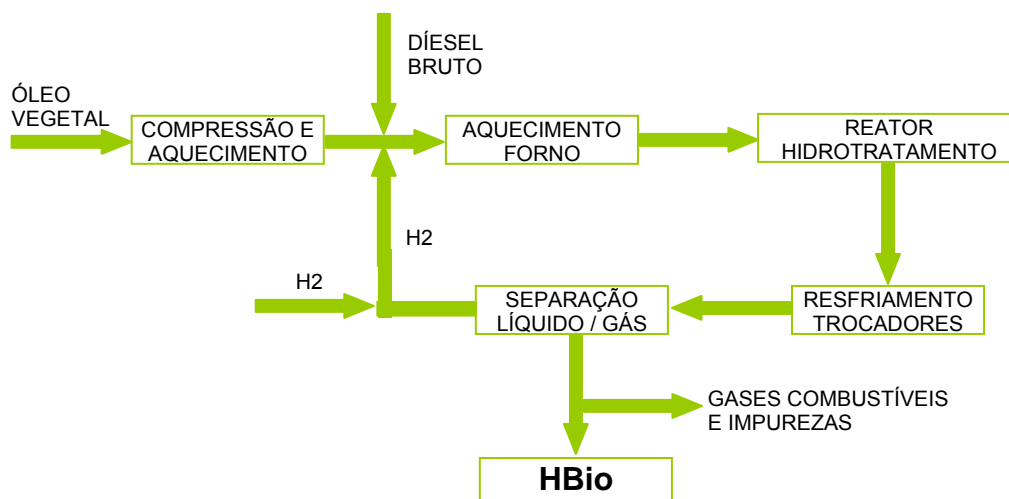


Figura 7: Etapas elementares do processo de HBio

Fonte: Elaboração própria com base em PETROBRÁS, 2007.

A patente industrial da Petrobrás (GOMES, 2006) abrange uma substituição entre 1 e 75% em massa do diesel mineral pela fração vegetal, embora se tenha testado industrialmente misturas até 18% de substituição.

A conversão do óleo vegetal em diesel de especificação aceita foi desenvolvida no processo HDT, baseada na tecnologia já conhecida utilizando catalisadores comerciais já existentes. Diversos óleos vegetais podem ser usados, os quais já foram testados os de canola, de soja, de mamona e residual da produção de celulose a partir de pinheiros (ou qualquer outra planta resinosa). Os óleos utilizados são de baixa qualidade, ou seja, não sofreram nenhum tipo de tratamento, exceto filtração. Pelo estudo de processamento no HDT, resultou no desenvolvimento de um novo processo de hidrotreamento de óleos vegetais puros, produzindo assim hidrocarbonetos de elevado número de cetano (ROCHA FILHO, BRODZKY, DJEGA-MARIADASSOU, 1993).

Através das reações de hidrocrackeamento ocorre a redução do número de átomos de carbono na cadeia, o hidrotreamento auxilia na remoção de compostos oxigenados e hidrogenação de insaturações para a remoção das duplas ligações. As reações para a conversão dos triglicerídeos em alcanos podem ser vistas na figura 08:

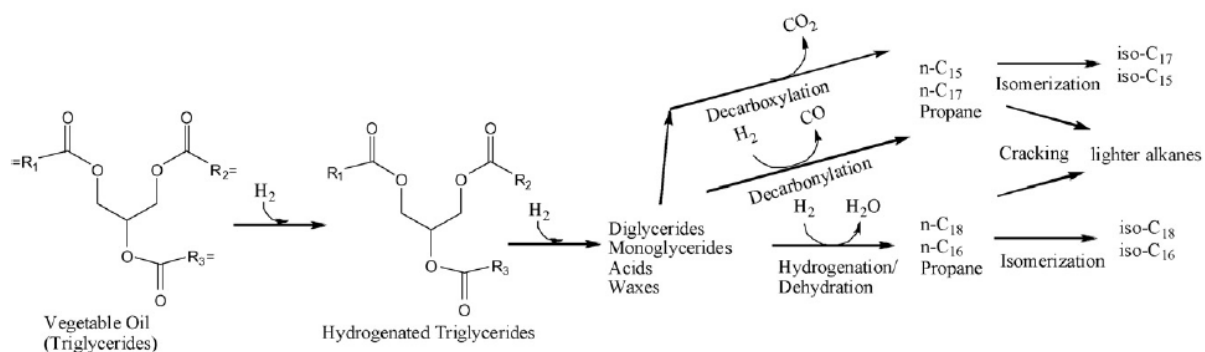
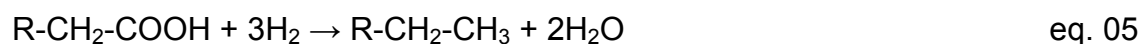
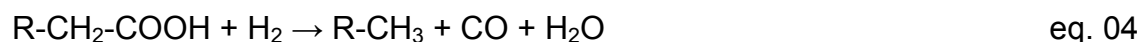


Figura 8: Caminhos de reação dos óleos vegetais.

Fonte: HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007.

Existem três diferentes caminhos para obter alcanos através de ácidos carboxílicos como reagentes. Nas equações 1 a 3 são representadas as alimentações do processo usando ácidos carboxílicos, mas equações similares podem ser escritas nas produções de alcanos através de mono, di e triglicerídeos (HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007).



Na equação 03, a conversão através de descarboxilação do ácido carboxílico produz um grupo metil e CO₂, sem a necessidade de hidrogênio. Pela equação 04, o ácido carboxílico reage com uma molécula de gás hidrogênio através da decarbonilação, gerando um grupo metil, monóxido de carbono e água. Já na equação 05, a hidredesoxigenação converte o ácido carboxílico com hidrogênio produzindo um alcano (grupo etil), com geração de água. Na prática, as três reações ocorrem simultaneamente, pois tanto CO, CO₂ e água são encontrados nas correntes. É possível avaliar, para cada processo e alimentação, as reações predominantes, utilizando os balanços dessas três reações (HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007).

De acordo com Huber, O'Connor e Corma (2007), o hidrotratamento de óleos vegetais com alimentações de petróleo, como o óleo de alto vácuo, aumentam o rendimento de produção. A diluição de óleos vegetais com óleo de alto vácuo aumenta a conversão de cadeias lineares, e para uma adição de 5% em massa de óleo de girassol com 95% de óleo de alto vácuo o rendimento é de 87% de rendimento, enquanto para o óleo de girassol puro o rendimento é de 75%. Este efeito é causado provavelmente pela diluição dos ácidos graxos livres, que podem ocasionar reações de polimerização e craqueamento.

A conversão depende da mistura entre o óleo vegetal e o óleo mineral, além da temperatura e pressão do processamento, bem como dos leitos catalíticos utilizados. Deste modo, a estimativa teórica de dados de conversão das reações químicas se tornam extremamente complexas.

A escassez de dados experimentais para as diversas fontes de óleo vegetal e animal, seja pela ausência de estudos ou pela confidencialidade de centros de pesquisa limita a avaliação econômica entre diferentes fontes de matérias primas.

Na figura 09, é possível ver a conversão de misturas de óleo de alto vácuo com óleo de girassol em alcanos variando de $n\text{-C}_{15}$ e $n\text{-C}_{18}$, considerando a temperatura de processamento (HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007).

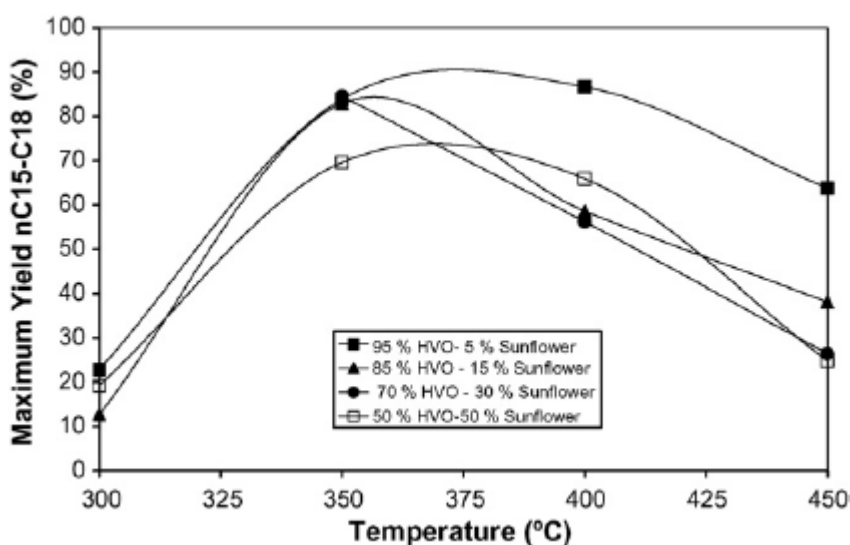


Figura 9: Percentagem de máximo rendimento de n-C₁₅ a n-C₁₈ de misturas de hidrotratamento de óleo de alto vácuo (HVO) e óleo de girassol com catalisador NiMo/Al₂O₃ à velocidade espacial de 5,2h⁻¹ e 50 atm de H₂.

Fonte: HUBER, O'CONNOR, CORMA, 2007.

Os catalisadores comerciais utilizados são os sulfetados de NiMo e CoMo, ambos suportados em gama-alumina. O produto obtido produz em grande quantidade, compostos de número de carbono entre C16 a C18, com subprodutos de gás C1 a C5, CO₂ e água. O produto líquido é miscível em todas as proporções na corrente de diesel mineral e, portanto, pode ser adicionado ao *pool* de diesel da refinaria melhorando o número de cetano, mas prejudicando as especificações a baixa temperatura do produto final.

2.2.3.1 Descrição do Processo Produtivo do HBio

A etapa de produção do HBio na planta de hidrotratamento de uma refinaria convencional é dada através da simples incorporação de uma corrente de óleo vegetal à corrente de óleo mineral, antes da entrada do forno de aquecimento e coluna de hidrotratamento. Este processo pode ser visto na figura 10:

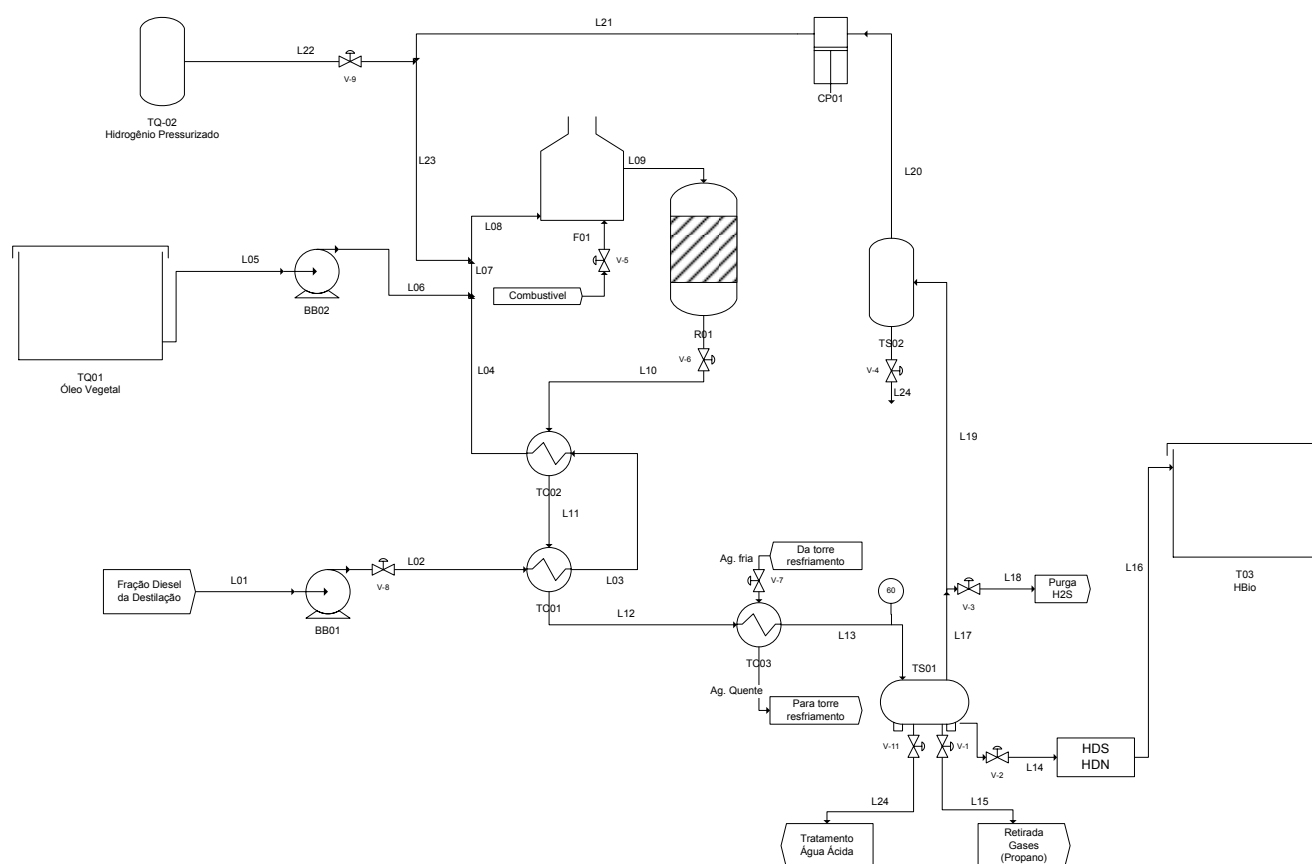


Figura 10: Diagrama do Processo de HBio

Fonte: Elaboração própria com base em GOMES, 2006

Conforme mostra a figura 10, o óleo mineral (L01) é bombeado à pressão de operação do hidroprocessamento, e então encaminhado para a bateria de trocadores de calor (TC 01 e 02), que aquecem o óleo recuperando calor dos produtos do processo. O produto aquecido é pressurizado e encaminhado pela linha (L04). O óleo vegetal (L05) é bombeado pressurizando a corrente até pressão de operação. Posteriormente a corrente (L06), é misturada com a corrente (L04), dando origem à corrente (L07), que por sua vez é misturada com a corrente de gás de reciclo (L23) rica em hidrogênio, dando origem à

corrente (L08). A corrente (L08) é encaminhada para o forno onde é aquecida, formando a corrente (L09) até a temperatura de entrada do reator. As reações são exotérmicas e dessa forma ocorre o aumento da temperatura ao longo do leito catalítico e, portanto, o produto de saída se encontra a uma temperatura superior à da entrada, dando origem á corrente (L10), onde parte do calor é recuperado através dos trocadores (TC 01 e 02) que aquecem a carga de óleo mineral (L02). A corrente (L12) passa por um outro resfriamento, desta vez com água de refrigeração, para a condensação dos produtos leves formados, que são separados da corrente gasosa no tanque de separação (TS01), onde também é separada uma corrente (L24) de água produzida pelo processo que é enviada pelo sistema de água ácida da refinaria para tratamento (GOMES, 2006).

A corrente de hidrocarboneto (L14) contendo o produto do craqueamento do óleo vegetal é encaminhada para uma torre retificadora onde o gás sulfídrico e amônia produzidos pelas reações de HDS e HDN respectivamente são removidos. O propano é recuperado (L15) e o diesel especificado (L16) é encaminhado para a estocagem. A corrente gasosa (L17) oriunda do tanque separador é rica em hidrogênio não reagido, mas também pode conter teores elevados de gás sulfídrico que podem prejudicar as reações, dessa forma o teor de gás sulfídrico é mantido abaixo de um patamar mínimo, através de uma corrente (L18) que purga. A corrente purgada (L19) passa pelo tanque separador (TS02) para a retenção de qualquer composto liquido que tenha sido arrastado dando origem á corrente (L20) que é comprimida pelo compressor (CP01), até a pressão da entrada do forno originando a corrente (L21). A corrente (L21) é misturada com a corrente (L22) que contém hidrogênio puro, para compensar o hidrogênio consumido. A corrente rica em hidrogênio (L23) é então misturada com a corrente (L07) na entrada do forno (GOMES, 2006).

As condições de operação para a hidroconversão de acordo com a patente industrial devem ser: pressão de operação do reator de 4 MPa a 10 MPa, temperatura média do leito catalítico entre 320 °C a 400 °C, velocidade espacial de 0,5h⁻¹ a 2h⁻¹, catalisador NiMo ou CoMo, a relação entre hidrogênio / litro de carga variando de 2000 NL a 1000 NL (GOMES, 2006).

2.2.3.2 Propriedades do HBio

Para ser possível a utilização do HBio nos motores atuais sem a necessidade de alterações construtivas, algumas propriedades devem ser respeitadas para que exista segurança na substituição. Através desta busca, alguns parâmetros foram avaliados.

O IQT (*ignition quality tester*) permite determinar a qualidade de ignição de um combustível conforme a norma ASTM D 6890-03 e IP 498-03, assim obtendo o DCN (*derived cetane number*) que é equivalente ao CN (*cetane number*), obtido em um motor do ciclo diesel, conforme a norma ASTM D613.

Além do IQT/DCN, também outros importantes parâmetros são levados em consideração, como o ponto de entupimento do motor diesel, a densidade do produto e a estabilidade à oxidação, através do método conhecido como LPR (*low pressure reactor*).

As características do HBio variam de acordo com a composição da mistura (corrente padrão do diesel, tipo de óleo vegetal) e condições de processo. Pela figura 11, é possível notar que a adição de óleo vegetal melhora o índice de cetano, através do IQT e DCN, melhorando assim a qualidade final do produto, tanto para adições com óleo de mamona quanto de soja, melhorando ainda mais em processos com temperaturas mais altas.

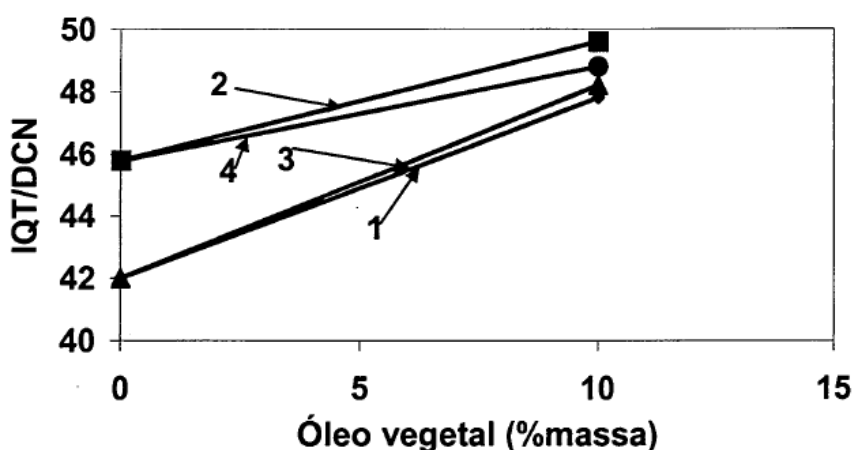


Figura 11: Índice de cetano em relação à adição de óleo vegetal. 1 – Óleo de mamona a 350° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C; 3 – Óleo de soja a 350° C; 4 – Óleo de soja a 370° C.

Fonte: GOMES, 2006.

Para a temperatura de entupimento, a figura 12 mostra que quanto maior a adição de óleo vegetal, menor é a temperatura de entupimento, sendo um ponto a se tomar cuidado, principalmente para combustíveis em regiões frias. Para o processo utilizando óleo de soja, houve pequena diminuição do ponto de entupimento. Para o óleo de mamona, em temperaturas de processo menores o ponto de entupimento é menos prejudicado, enquanto para o processo à temperatura de 370° C e uma adição de 10% de óleo, o ponto de entupimento chegou à 0° C.

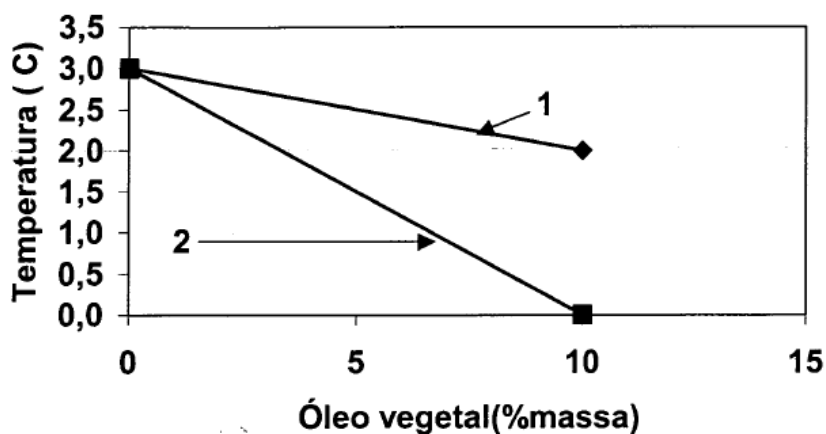


Figura 12: Temperatura de entupimento. 1 – Óleo de mamona a 350° C e óleo de soja a 350° C e 370° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C.

Fonte: GOMES, 2006.

Quanto à oxidação, o hidrotratamento melhora a estabilidade do combustível, pois há remoção de heteroátomos de oxigênio e a hidrogenação das insaturações. A redução de compostos insolúveis é mostrada na figura 13:

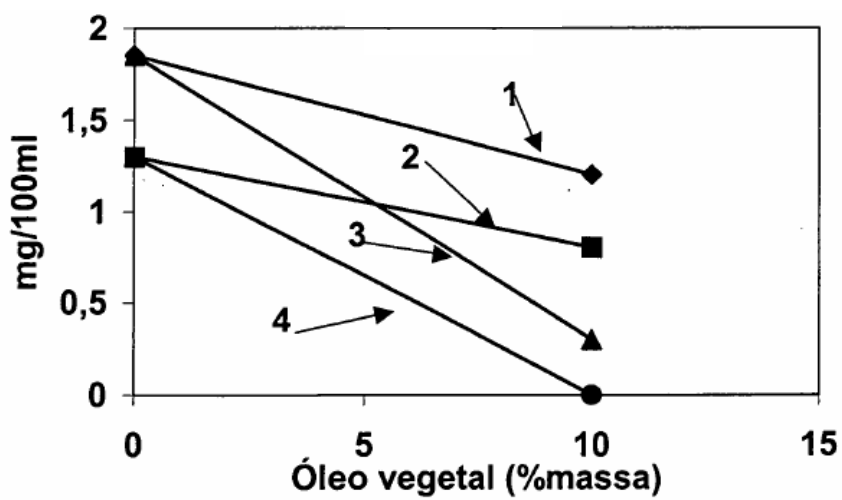


Figura 13: Resíduo insolúvel. 1 – Óleo de mamona a 350° C; 2 – Óleo de mamona a 370° C; 3 – Óleo de soja a 350° C; 4 – Óleo de soja a 370° C.

Fonte: GOMES, 2006.

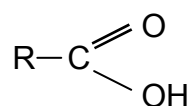
2.3 Óleos Vegetais

Muitas publicações consideradas históricas demonstraram que os óleos vegetais apresentam um comportamento satisfatório como combustível ou como fonte de combustíveis, embora tenha sido muitas vezes observado que a disseminação de seu uso é comprometida pelo seu custo, quando comparado aos combustíveis derivados de petróleo (KNOTHE et al., 2006).

Combustíveis diesel baseados em petróleo possuem estrutura química diferente dos óleos vegetais. A estrutura química do diesel contém apenas átomos de carbono e hidrogênio que são arranjados em cadeias lineares ou ramificadas, assim como em estruturas aromáticas. As cadeias lineares são preferidas pela melhor qualidade de ignição. Os combustíveis diesel podem conter hidrocarbonetos saturados e insaturados, mas os insaturados não são presentes em grandes quantidades a ponto de tornar a oxidação do combustível um problema. Por outro lado, no caso dos óleos vegetais, a resistência à oxidação é fortemente afetada pela composição dos ácidos graxos. O grande tamanho das moléculas de óleo vegetal (tipicamente três ou mais vezes maior que as moléculas combustíveis de hidrocarbonetos), e a presença de oxigênio nas moléculas sugerem que algumas propriedades dos óleos vegetais podem diferir dos combustíveis de hidrocarbonetos (ALI, HANNA, 1994).

Os óleos vegetais não possuem nitrogênio, enxofre e aromáticos, mas possuem dois átomos de oxigênio em cada molécula de ácido graxo presente. A alimentação dos óleos vegetais em contato com hidrogênio no processo HDO, remove os átomos de oxigênio sob a forma de água, gerando hidrocarbonetos que, dependendo do tipo de óleo vegetal, podendo estar na faixa de tamanho dos hidrocarbonetos do diesel, como por exemplo, o hexadecano e o octadecano (PRATES, 2006).

Por se tratarem de ácidos carboxílicos (ácidos graxos), os óleos vegetais podem ser representados por:



onde o R é o radical que contém apenas carbono e hidrogênio, podendo ou não conter duplas ligações.

Os ácidos graxos mais comuns encontrados nos óleos vegetais podem ser vistos no quadro 03.

Ácido Graxo	Nomenclatura oficial	Estrutura ^a	Fórmula Química
Láurico	Dodecanóico	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Mirístico	Tetradecanóico	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmítico	Hexadecanóico	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Estearico	Octadecanóico	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Araquídico	Eicosanóico	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behênico	Docosanóico	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignocérico	Tetracosanóico	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oléico	Cis-9-octadecanóico	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Ricinoleico	12-hidroxi-9-cis-octadecenóico	18:1 ^b	$C_{18}H_{34}O_3$
Erúico	Cis-13-docosenóico	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$
Linoleico	Cis-9-cis-12-octadecadienóico	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolênico	Cis-9-cis-12-cis-15-octadecatrienóico	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$

Quadro 3: Estrutura química de ácidos graxos comuns encontrados em óleos vegetais

^axx:y indicam xx carbonos na cadeia do ácido graxo com y ligações duplas

^bO Ricinoléico é o único ácido graxo que contém uma hidroxila no seu radical

Fonte: GOERING et al., 1982 e AGARWAL, 2007

Os diversos óleos vegetais podem ser distinguidos por sua composição de ácidos graxos, conforme o quadro 04:

Óleo Vegetal	Composição do ácido graxo (% massa)									
	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Milho	0	12	2	Traço	0	0	25	0	61	Traço
Algodão	0	28	1	0	0	0	13	0	58	0
Crambe	0	2	1	2	1	1	19	58	9	7
Amendoim	0	11	3	1	3	1	48	0	32	1
Canola	0	4	1	0	0	0	65	0	22	8
Soja	0	12	3	0	0	0	23	0	56	6
Girassol	0	6	3	0	0	0	17	0	74	0
Mamona	0	1	1	0	0	0	94 ^a	0	4	Traço

Quadro 4: Composição química de óleos vegetais

^a90% de ácido ricinoléico e 4% de oléico. Para os demais, predominantemente oléico.

Fonte: AGARWAL, 2007.

As cargas vegetais úteis para o processo de hidroconversão podem ser de qualquer origem vegetal, sem necessidade de purificação, à exceção de materiais particulados, água e sais dissolvidos (GOMES, 2006).

Segundo a patente industrial da Petrobrás (GOMES, 2006), os óleos vegetais úteis para o processo da invenção, compreendem óleo de soja (*Glicina max*), óleo de mamona (*Ricinus communis*), óleo de dendê/palma (*Elaeis guineensis*), óleo de amendoim (*Arachis hypogea*). Dentre esses, o óleo de mamona é o preferido.

A obtenção do óleo de mamona é feita através da prensagem das sementes da planta *Ricinus Communis*, encontrada em praticamente todos os países de clima tropical ou subtropical, propagando-se através das sementes. Este óleo destaca-se devido à baixa variabilidade da quantidade de óleo por semente madura como da composição do óleo. A produção varia de 45 a 49% por unidade de massa de semente (GOMES, 2006).

O processo de recuperação empregado funciona basicamente em duas etapas, uma prensagem da semente e a extração com solvente e, quando a prensagem é feita a temperatura elevada, necessita de uma etapa de purificação para a remoção de proteínas tóxicas (ricina) (GOMES, 2006).

O óleo de soja também é obtido através do esmagamento da semente de soja, produzindo essencialmente o óleo e o farelo de soja. A utilização do óleo de soja se mostra interessante pois não necessita da etapa de remoção de proteínas, como no caso da mamona, pois através de processos físicos elementares como a filtração e decantação são possíveis a remoção dos sólidos e separação da água, podendo então ser utilizado diretamente na alimentação do processo de hidrotreamento das refinarias. Outra utilização possível é a de óleo de soja reciclado proveniente do uso alimentar, porém são necessárias análises para remoção dos possíveis contaminantes (GOMES, 2006).

2.4 Hidrogênio

O hidrogênio é o mais leve e mais abundante elemento encontrado no universo, existente em grande quantidade nas estrelas. Aparece também, em um grande número de substâncias, como na água e nos componentes orgânicos.

Na atmosfera terrestre, praticamente não existe em seu estado elementar nem em quantidade significativa, em forma de gás hidrogênio, porém é encontrado combinado e, para ser utilizado industrialmente em geral, deve-se obter sua forma gasosa, através de processos físico-químicos.

Por ser altamente inflamável, o gás hidrogênio exige rigorosos controles quanto à sua utilização. O célebre caso da explosão do balão Hindenburg, mostra a velocidade e violência da combustão deste gás.

Devido à sua molécula apresentar um tamanho muito pequeno, o gás é permeável a praticamente todos os materiais, exigindo em sua estocagem e transporte, espessas paredes metálicas, dificultando assim, a velocidade em vencer a porosidade do material.

Inúmeros são os processos industriais que utilizam o hidrogênio como insumo, desde processos de produção de amoníaco, hidrogenação de óleos vegetais, para a produção de gorduras hidrogenadas, até na obtenção de combustíveis para foguetes.

O hidrogênio pode ser produzido a partir de uma variedade de insumos. Elas incluem recursos fósseis, como gás natural e o carvão, tanto quanto recursos renováveis, como biomassa e hidrólise da água, através de recursos energéticos renováveis (energia solar, energia eólica, energia geotérmica). Uma variedade de tecnologias de processo podem ser usadas, incluindo químico, biológico, eletrolítico, fotolítica e termoquímica. Cada tecnologia está em diferente estágio de desenvolvimento, e cada uma oferece oportunidades, benefícios e desafios. A disponibilidade local de insumos, a maturidade da tecnologia, demandas de mercado, políticas de insumos e custos, influenciam na escolha e na variedade de opções. Alguns dos processos e tecnologias são apresentados na figura 14 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006).

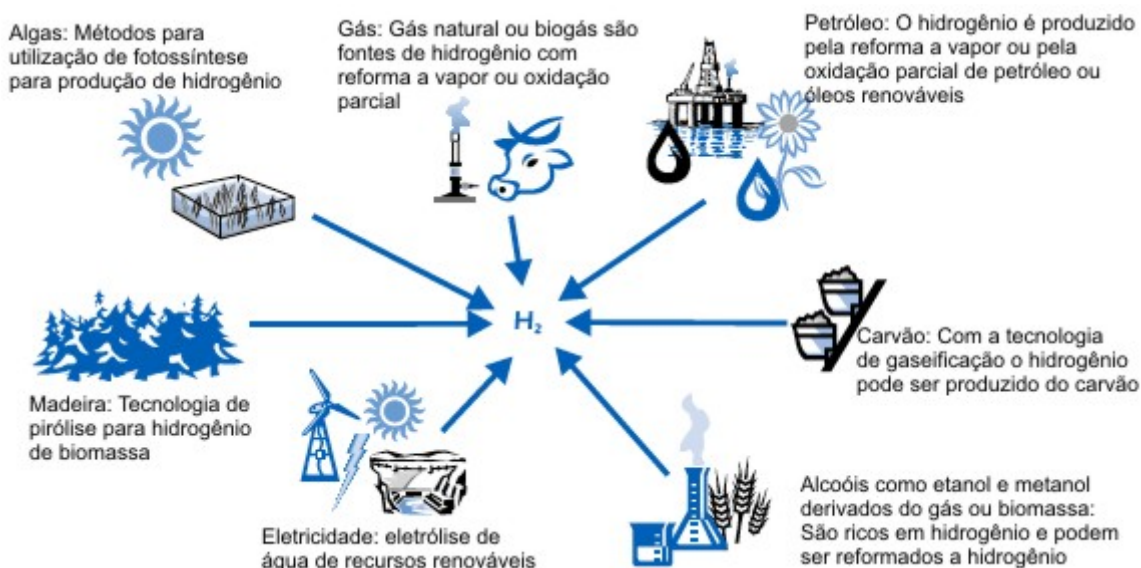


Figura 14: Insumos e alternativas de processo para a produção de hidrogênio.

Fonte: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006

Diversas tecnologias estão disponíveis para a produção industrial do hidrogênio. A primeira tecnologia comercial, datada de 1920, foi a eletrólise da água, para produzir hidrogênio puro. Nos anos 60, a produção industrial de hidrogênio mudou para a produção através de combustíveis fósseis, principalmente de gás natural, que permanece até hoje como principal forma de produção (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006).

O processo de produção do hidrogênio demanda a utilização de dois insumos básicos: o químico e o energético. De forma geral, os compostos orgânicos considerados como insumos químicos nos processos de produção de hidrogênio, são também utilizados como insumos energéticos, como é o caso do etanol, das biomassas e do gás natural. A água, por sua vez, requer a adição de energia para produzir hidrogênio, que pode ser gerada por fonte hidráulica, solar, eólica ou térmica (MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2005).

No quadro 05 é possível ver alguns dos processos e insumos utilizados na produção de hidrogênio:

Processo	Insumo Químico	Insumo energético
Reforma do gás natural	Gás natural	Gás natural
Reforma do etanol	Etanol	Etanol
Eletrólise	Água	Eletricidade
Gaseificação de biomassa	Biomassa	Biomassa
Biológico (biogás)	Biomassa	Calor
Alternativos	Água e biomassa	Calor ou luz

Quadro 5: Processos, insumos químicos e energéticos para produção de hidrogênio no Brasil

Fonte: Elaboração própria com base em INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2005

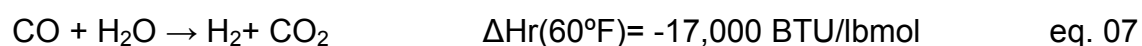
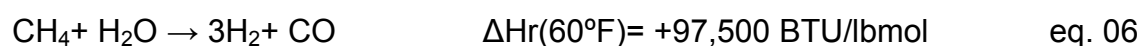
O processo HDT depende do hidrogênio, pois, ao romper as ligações saturadas e os anéis aromáticos, o hidrogênio ocupa a ligação livre, proporcionando a saturação destes compostos.

2.4.1 Reforma de Gás Natural

Atualmente, a maior parte do hidrogênio produzido vem da reforma a vapor do gás natural (de origem fóssil, não renovável), embora existam estudos que utilizam operação similar de reforma, com outros insumos base, como o etanol.

A reforma a vapor do gás natural envolve uma conversão endotérmica do metano e do vapor de água em hidrogênio e monóxido de carbono. O calor é utilizado para a combustão do metano de alimentação. Este processo ocorre tipicamente a temperaturas de 700 a 850 °C e em pressões variando de 3 a 25 bar. O produto contém aproximadamente 12% de CO, que pode ser convertido em CO₂ em uma reação secundária exotérmica, onde o CO reage com a água produzindo mais uma fração de hidrogênio (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006).

As reações que ocorrem para a formação do hidrogênio e do CO₂ podem ser vistos abaixo:



3. ESTRUTURAÇÃO DOS CUSTOS DOS COMBUSTÍVEIS

3.1 Modelagem de Custos do HBio

Para que seja possível uma análise dos preços do HBio, é preciso conhecer o impacto causado no processo de hidrotratamento e as variáveis que definem o processo produtivo. De forma simplificada, o óleo vegetal adicionado ao processo demanda energia para ser aquecido até a temperatura de operação, hidrogênio para a saturação das cadeias, gerando o óleo diesel de origem vegetal (HBio), água e gases combustíveis como o metano e o propano.

Assim, o HBio produzido na etapa de hidrotratamento de uma refinaria apresenta o seguinte rendimento volumétrico:

Alimentação	Água (L)	Metano (NL)	Propano (NL)	Diesel (L)
1 L de óleo de mamona	0,14	18	20	1
1 L de óleo de soja	0,09	15	20	1

Quadro 6: Rendimento volumétrico do HBio

Fonte: GOMES, 2006.

O rendimento de 1 litro de óleo diesel por litro de óleo vegetal utilizado é devido à densidade do óleo vegetal ser maior à densidade do óleo diesel produzido.

Como ainda não existe volume suficiente de óleo de mamona para atender a demanda deste biocombustível, optou-se a utilização de óleo de soja, que é amplamente produzido no Brasil, para fins principalmente alimentares (óleo de soja, margarina) e também podendo utilizar de óleos usados em restaurantes e similares, portanto produzido em grande escala.

Algumas propriedades são importantes na avaliação do preço do HBio, mostradas no quadro 07:

Propriedade	Valor	Unidade
Densidade – óleo de soja (25°C)	0,92	g/cm ³
Capacidade Calorífica – óleo de soja	1,97	KJ/kgK
Entalpia de Combustão – metano	39,75	KJ/NL
Entalpia de Combustão – propano	98,39	KJ/NL
Massa Molar – Propano	44,0	g/gmol

Quadro 7: Propriedades de compostos no hidrotreatamento

Fonte: ENGINEERING TOOLBOX, 2008.

Portanto, para determinar o valor do HBio, existe a dependência das seguintes variáveis de custo e receita:

Variáveis de custo do processo:

- Preços (P_O) e quantidades (x_O) consumidas do óleo vegetal;
- Preços (P_{H_2}) e quantidades (x_{H_2}) consumidas de hidrogênio;
- Preços (P_{EN}) e quantidades (Q) requeridas de energia pelo processo;
- Custos efetivos (φ_{hidrot}) da operação do processo de hidrotreatamento;

Variáveis de receita do processo:

- Preços (P_{met} , P_{prop}) e quantidades (V_{met} , V_{prop}) de gases combustíveis gerados.

Assim, o preço do HBio pode ser escrito da seguinte forma:

$$\text{Preço} = \text{Custos} - \text{Receitas} \quad \text{eq. 08}$$

Para determinar o preço de 1 litro de HBio teórico a 100%, é possível reescrever a equação 08 da seguinte forma:

$$P_{HBio} = \underbrace{(x_O P_O + x_{H_2} P_{H_2} + Q P_{EN} + \varphi_{hidrot})}_{\text{Custos}} - \underbrace{(V_{met} P_{met} + V_{prop} P_{prop})}_{\text{Receitas}} \quad \text{eq. 09}$$

O propano, por participar de cadeias importantes tanto no mercado petroquímico no ciclo de produção do polipropileno, bem como por ser um dos principais compostos presentes no gás liquefeito de petróleo (GLP), será considerado como uma variável de receita com preços estabelecidos pelo preço do GLP (P_{GLP}).

Considerando que 1 g/mol de propano equivale a 44g e volumetricamente representa 22,4 NL, para a geração de 20 NL, a quantidade em massa de propano gerada é de 0,0393 kg, que rearranjado na equação 06 resulta em:

$$P_{HBio} = (x_O P_O + x_{H_2} P_{H_2} + Q P_{EN} + \varphi_{hidrot}) - (V_{met} P_{met} + 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 10}$$

Como existe consumo energético para o aquecimento do óleo vegetal¹ (variável de custo) e também a produção do gás combustível metano (variável de receita), foi utilizado este insumo como fonte energética de aquecimento, diminuindo o consumo inicial. Para isto, o preço do metano é igual ao preço da energia (P_{EN}) multiplicado pela sua entalpia de combustão (EC_{met}), obtendo a equação 11:

$$P_{HBio} = (x_O P_O + x_{H_2} P_{H_2} + Q P_{EN} + \varphi_{hidrot}) - (V_{met} EC_{met} P_{EN} + 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 11}$$

Para o rendimento volumétrico da reação de produção do metano (V_{met}) e conhecendo as entalpias de combustão, tem-se:

$$V_{met} = 15 \text{ NL} \quad EC_{met} = 39,75 \text{ kJ/NL}$$

Obtendo a equação 08:

$$P_{HBio} = (x_O P_O + x_{H_2} P_{H_2} + Q P_{EN} + \varphi_{hidrot}) - (596,25 P_{EN} + 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 12}$$

Segundo a patente industrial 0500591-4A (GOMES, 2006), são consumidos 27 kg de hidrogênio por tonelada de óleo de soja que, considerando a densidade 0,92 g/cm³ para o óleo, o consumo é de 0,02484 kg por litro de óleo de soja.

¹ A equação pode ser generalizada para qualquer tipo de óleo vegetal, desde que a estequiometria da reação seja levada em conta. Neste estudo, utilizou-se óleo de soja para as análises de custo principais.

$$P_{HBio} = (x_O P_O + 0,02484 P_{H_2} + Q P_{EN} + \varphi_{hidrot}) - (596,25 P_{EN} + 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 13}$$

Como o calor necessário para a produção é definido por Q, sabe-se que:

$$Q = m_O \cdot c_{p-O} (T_{hidrot} - T_{ambiente}) \quad \text{eq. 14}$$

A massa do óleo (m_O) para a densidade dada é de 0,92kg e a capacidade calorífica (c_{p-O}) é de 1,97 kJ/kgK. As temperaturas consideradas são a ambiente ($T_{ambiente}$) de 25°C e a de hidrotreatamento (T_{hidrot}) considerando o processo ocorrer a 350°C, tem-se:

$$Q = 0,92 \cdot 1,97 \cdot (350 - 25)$$

$$Q = 589,03 \text{ kJ}$$

Então, a equação é exclusivamente dependente dos preços dos materiais e do custo de operação da unidade de hidrotreatamento:

$$P_{HBio} = (x_O P_O + 0,02484 P_{H_2} + 589,03 P_{EN} + \varphi_{hidrot}) - (596,25 P_{EN} + 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 15}$$

Como a energia gerada pelos gases residuais é maior do que a energia consumida pelo aquecimento obtém-se um excedente energético. De forma a simplificar a análise, esta energia pode ser considerada como energia revendida, fornecendo uma variável financeira de análise. Rearranjando na equação 16 obtem-se:

$$P_{HBio} = x_O P_O + 0,02484 P_{H_2} + \varphi_{hidrot} - 7,22 P_{EN} - 0,0393 P_{GLP} \quad \text{eq. 16}$$

Como os preços da energia elétrica são dados em kWh, efetuou-se a conversão da expressão de kJ para kWh:

$$P_{HBio} = x_O P_O + 0,02484 P_{H_2} + \varphi_{hidrot} - 0,0081 P_{EN} - 0,0393 P_{GLP} \quad \text{eq. 17}$$

Assim, o preço do HBio fica dependente exclusivamente do preço do óleo de soja, do preço do gás hidrogênio, do custo do processo de hidrotreatamento e do preço da energia gerada e do preço do GLP. Para o caso específico do óleo de soja em relação a sua estequiometria, $x_0 = 1$, pois para a produção de um litro de HBio é necessário 1 litro de óleo de soja.

3.2 Modelagem de Custos do Biodiesel

Analogamente à projeção do preço do HBio, o preço do biodiesel pode ser analisado através do custo dos insumos como o óleo vegetal, o álcool combustível, do custo do processo do biodiesel e pela produção da glicerina.

Assim, são definidos os parâmetros para a análise do preço, através dos seguintes custos e receitas:

Variáveis de custo do processo:

- Preços (P_O) e quantidades (x_O) consumidas do óleo vegetal;
- Preços (P_{EtOH}) e quantidades (x_{EtOH}) consumidas de álcool etílico;
- Custos efetivos (φ_{Biod}) da operação do processo de produção do biodiesel.

Variáveis de receita do processo:

- Preços (P_{glic}) e quantidades (x_{glic}) de glicerina produzida.

O preço do biodiesel (P_{Biod}), então, pode ser dado por:

$$P_{Biod} = \underbrace{(x_O P_O + x_{EtOH} P_{EtOH} + \varphi_{Biod})}_{\text{Custos}} - \underbrace{(x_{glic} P_{glic})}_{\text{Receitas}} \quad \text{eq. 18}$$

Para a produção de um litro de biodiesel pela rota etílica consome 0,993kg de óleo de soja que em volume representa 1,08L, para a densidade segundo o quadro 02. Além do óleo, são consumidos 0,13kg de álcool etílico e como produto também são obtidos 0,117kg de glicerina (DEL VECCHIO, 2006).

Então, a equação 18 pode ser reescrita utilizando o óleo de soja como insumo, obtendo-se:

$$P_{Biod} = 1,08P_O + 0,13P_{EtOH} + \varphi_{Biod} - 0,117P_{glic} \quad \text{eq. 19}$$

Assim, o preço do biodiesel pode ser definido pelo preço do óleo de soja, do álcool etílico, do custo do processo de biodiesel e do preço da glicerina.

3.3 Composição das Misturas de Diesel

A utilização dos combustíveis renováveis preconiza inicialmente uma utilização parcial destas novas fontes, em mistura com o diesel de petróleo.

Utilizando o diesel de petróleo com HBio e biodiesel a análise será feita em quatro configurações de combustíveis do seguinte modo:

- Diesel de petróleo puro;
- Diesel de petróleo com mistura de HBio (M1);
- Diesel de petróleo com mistura de biodiesel (M2);
- Diesel de petróleo com mistura de HBio e de biodiesel (M3).

Para a avaliação comparativa das misturas, são conhecidos os preços comerciais do diesel (P_{DM}), podendo estabelecer seu custo de produção estimado. Para a mistura composta com HBio, é estabelecida a seguinte relação de preço:

$$P_{M1} = x_{DM} P_{DM} + x_{HBio} P_{HBio} \quad \text{eq. 20}$$

Onde x_{DM} é a fração de diesel mineral na mistura, x_{HBio} e P_{HBio} são a fração e o preço do HBio na mistura, respectivamente.

Conhecendo o preço do HBio dado pelas suas receitas e despesas principais, obtém-se:

$$P_{M1} = x_{DM} P_{DM} + x_{HBio} (P_O + 0,02484 P_{H2} + \varphi_{hidrot} - 0,0081 P_{EN} - 0,0393 P_{GLP}) \quad \text{eq. 21}$$

De forma análoga, é possível determinar o preço da mistura 2, contendo biodiesel e diesel mineral:

$$P_{M2} = x_{DM} P_{DM} + x_{Biod} P_{Biod} \quad \text{eq. 22}$$

Onde x_{Biod} e P_{Biod} são a fração e o preço do Biodiesel na mistura, respectivamente.

Utilizando o preço do biodiesel através dos seus insumos, tem-se:

$$P_{M2} = x_{DM} P_{DM} + x_{Biod} (1,08P_O + 0,13P_{EtOH} - 0,117P_{glic} + \varphi_{Biod}) \quad \text{eq. 23}$$

Finalizando, a mistura composta por diesel mineral, HBio e biodiesel pode ser composta pelo custo do diesel mineral na mistura acrescido dos custos do HBio e do biodiesel, conforme a equação 24:

$$P_{M3} = x_{DM} P_{DM} + x_{HBio} P_{HBio} + x_{Biod} P_{Biod} \quad \text{eq. 24}$$

E, abrindo pelos componentes, é obtida a equação global da mistura entre o petróleo mineral, o HBio e o biodiesel, onde foi chamada de preço do combustível ($P_{Comb.}$) e é dada por:

$$P_{Comb.} = x_{DM} P_{DM} + x_{HBio} (P_O + 0,02484P_{H2} + \varphi_{hidrot} - 0,0081P_{EN} - 0,0393P_{GLP}) + \\ + x_{Biod} (1,08P_O + 0,13P_{EtOH} - 0,117P_{glic} + \varphi_{Biod}) \quad \text{eq. 25}$$

Desta forma, conhecendo as frações de cada mistura, é possível estabelecer o preço final do combustível, através das variáveis simplificadas de processo.

3.4 Custo do Processo de Hidrotratamento

O processo de hidrotratamento, por se tratar de uma etapa importante e estratégica do processo de produção de diesel, não possui informações facilmente disponíveis ao público divulgadas através das companhias produtoras de petróleo, inclusive pela Petrobrás.

Segundo a consultoria Enstrat International (ENSTRAT INTERNATIONAL LTD., 2003), nas plantas de hidrotratamento e de hidrodessulfurização asiáticas, este custo varia entre 8 a 14% do custo total de produção de diesel.

Assim sendo, é possível considerar o custo da etapa produtiva do hidrotratamento como uma fração (y) do preço final de custo do diesel mineral, ou seja:

$$\varphi_{hidrot} = y \cdot P_{DM} \quad \text{eq. 26}$$

Desta forma, o custo de processamento da corrente de HBio se torna função do custo de produção do diesel mineral.

3.5 Custo do Processo de Produção Biodiesel

Segundo DEL VECCHIO (2006), são conhecidos os custos de produção do biodiesel, para diferentes capacidades de plantas produtivas, no quadro 08:

	R\$/t de Biodiesel		
	100.000 t/ano	200.000 t/ano	300.000 t/ano
Custos variáveis (insumos exceto etanol)	108,94	108,94	108,94
Custos semivariáveis (mão de obra e manutenção)	206,42	202,30	202,20
Custos fixos (depreciação)	32,00	22,50	23,67
Custo total	347,36	333,74	334,81
Custo por litro, densidade 0,88 g/cm³ (R\$/L)	0,306	0,294	0,294

Quadro 8: Custos do processo produtivo do biodiesel

Fonte: DEL VECCHIO, 2006

Assim, como praticamente não existem diferenças nos custos de produção para volumes de 200.000 e 300.000 t/ano, foi assumido o valor de R\$ 0,294/L de biodiesel como custo do processo de produção.

3.6 Avaliação dos preços dos principais insumos

3.6.1 Evolução dos preços do diesel puro

Os preços do diesel foram levantados no período de janeiro de 2002 a junho de 2008, representando a evolução em 5 anos e meio. Os dados disponíveis na literatura devem ser tratados, pois os preços divulgados dos produtores de petróleo incluem diversos tributos, como PIS/PASEP, COFINS, além da contribuição de intervenção no domínio econômico, conhecida como CIDE. Os impostos são retirados do preço, pois está sendo considerada a viabilidade através do custo de produção direta, com recuperação tributária.

O quadro 9 demonstra a metodologia de cálculo utilizada para a determinação do preço de realização, que é o preço de produção menos os tributos acrescidos.

A. PREÇO DE REALIZAÇÃO (1)	
B. CONTRIBUIÇÃO DE INTERVENÇÃO NO DOMÍNIO ECONÔMICO – CIDE (2)	
C. PIS/PASEP E COFINS (3)	$C = (PIS + COFINS) \times (1 - \text{ÍNDICE DE REDUÇÃO (4)})$
D. PREÇO DE FATURAMENTO SEM ICMS	$D = A + B + C$
(1) Valores não-sujeitos a tabelamento	
(2) Decreto nº5.060, de 30/04/04	
(3) Lei nº 10.865, de 30/04/04	
(4) Decreto nº5.059, de 30/04/04	
(5) Alíquotas estabelecidas pelos governos estaduais	

Quadro 9: Composição do custo do óleo diesel desde o produtor

Fonte: ANP, 2008b

Os valores dos tributos e índices incidentes sobre o preço do diesel no Brasil são dados na tabela 01:

Tabela 1: Valor dos tributos e índices de preço incidentes no óleo diesel no Brasil, em dezembro de 2007

	Valor	Unidade
Índice de Redução	0,6793	-
PIS/PASEP	0,02636	R\$/L
COFINS	0,12164	R\$/L
CIDE	0,07	R\$/L

Fonte: BRASIL - Decreto 5059, 2004; BRASIL - Decreto 5060, 2004

Sendo assim, o preço de realização é dado por:

$$\text{PreçoRealização} = \text{PreçoFaturamento} - (\text{CIDE} + ((\text{PIS} + \text{COFINS}) \times (1 - \text{ÍndiceRedução})))$$

Os valores do preço de produção na refinaria do diesel entre janeiro de 2002 e junho de 2008 são representados no gráfico 01:

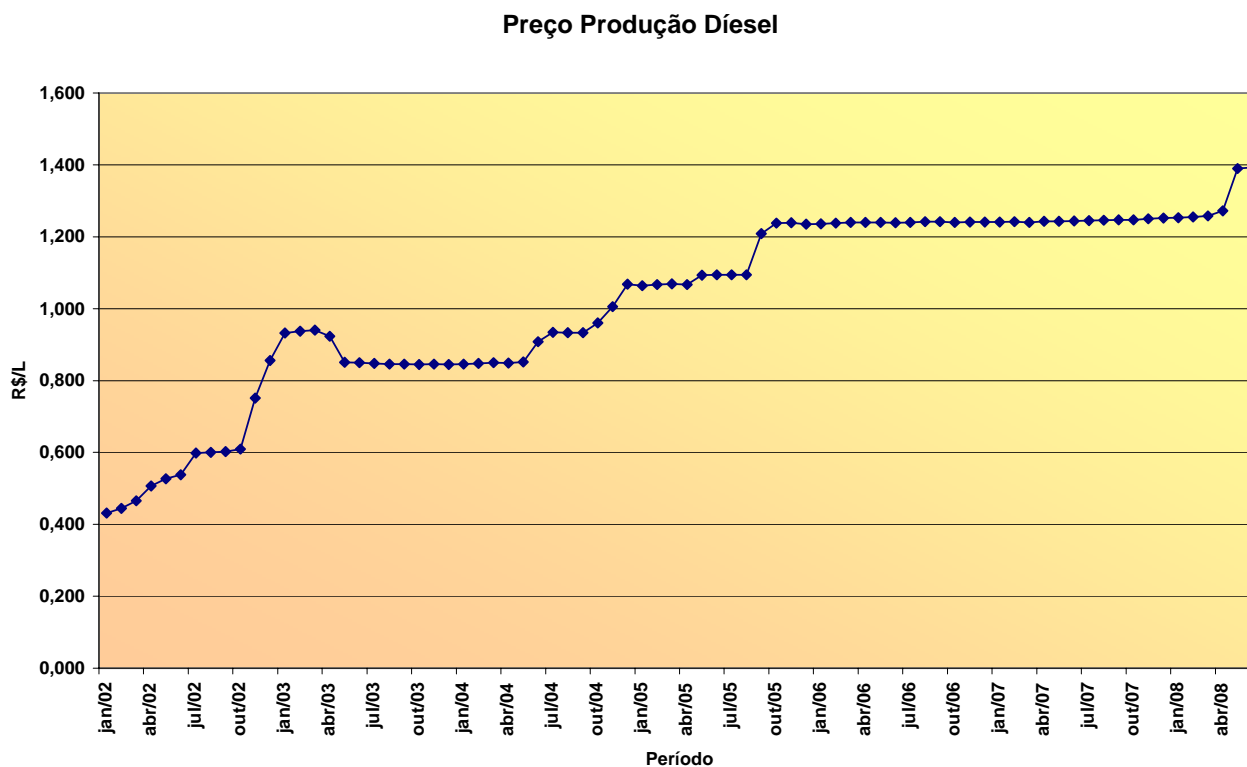


Gráfico 1: Evolução dos preços do óleo diesel

Fonte: Anexo A, com base em ANP, 2008

Neste período, o valor mínimo do diesel foi de R\$ 0,432 por litro em janeiro de 2002, o valor máximo foi de R\$ 1,393 por litro, enquanto a média ficou em R\$ 1,021 por litro de diesel produzido.

É possível verificar que o diesel apresentou forte crescimento de preços no período considerado, porém em alguns momentos apresentou patamares estáveis de preço. Em 2002, entre julho e outubro, o preço do diesel se manteve próximo a R\$ 0,600 por litro. Já entre maio de 2003 até maio de 2004, o preço se manteve estável em aproximadamente R\$ 0,850 por litro. Entre novembro de 2004 e agosto de 2005, o patamar do diesel ficou levemente abaixo de R\$ 1,100 por litro e, a partir de fevereiro de 2006 até abril de 2008, o preço se fixou em torno de R\$ 1,250 por litro do combustível, voltando a subir em maio e junho chegando a R\$ 1,393 por litro.

O preço do diesel é fortemente influenciado pela política econômica do Brasil, não seguindo diretamente a influência instantânea das variações do preço do petróleo e da taxa de câmbio. Este controle econômico é o responsável pela presença dos patamares estáveis de preços apresentados no gráfico 1.

Devido à presença dominante da Petrobras, empresa estatal, a existência de uma definição clara de regras de preços é condição necessária à entrada de novas opções de oferta de combustíveis, as quais são inibidas pelas intervenções discricionárias do governo sobre os preços domésticos (SILVA, 2004).

Segundo Silva (2004), regras claras possibilitariam a implementação de um mecanismo transparente de proteção dos preços domésticos em relação a volatilidade dos preços de petróleo e derivados no mercado internacional, a qual, no caso brasileiro ainda é adicionada do fator cambial. Na ausência destas regras, face a situação fiscal do Estado brasileiro, a “tentação” pelo caminho mais fácil da interferência nos preços da Petrobrás tende a se tornar a regra na elaboração de preços.

Para a avaliação do mercado do petróleo, a evolução dos preços do petróleo Brent podem ser vistas no gráfico 2.

Evolução do preço do petróleo Brent

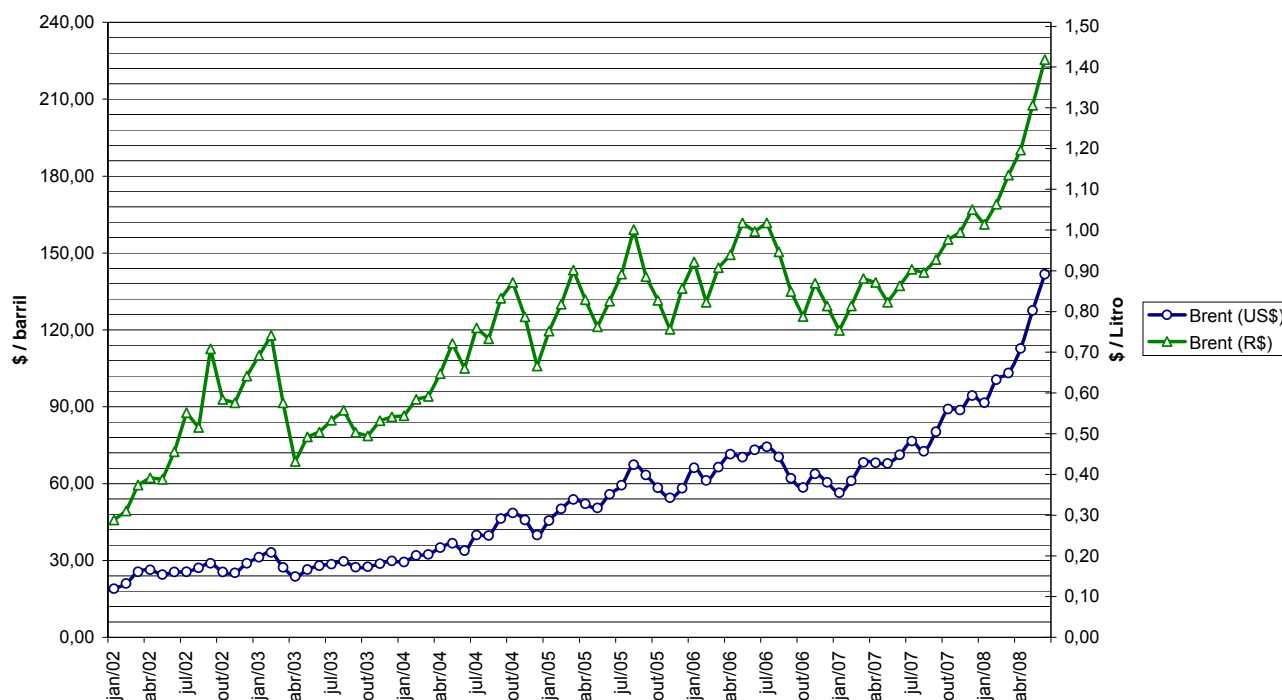


Gráfico 2: Preço do petróleo Brent entre Janeiro de 2002 a Junho de 2008

Fonte: Elaboração própria baseada em FINANSITE, 2008 e BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008

Comparando os gráficos 1 e 2, ambos apresentam aumentos significativos de preços no período histórico analisado. O diesel produzido no Brasil teve seu preço aumentado em aproximadamente 3,5 vezes neste período enquanto o petróleo teve uma alta próxima de 7,5 vezes em relação ao preço em dólares ou pouco mais de 4,9 vezes em relação à variação do preço em reais².

Existe uma correlação teórica entre o preço do diesel mineral no mercado internacional em relação ao preço do barril de petróleo, conforme mostrado no gráfico 3.

² A estimativa dos preços do petróleo Brent levou em conta o preço do fechamento da cotação em cada mês, em dólares. Quanto ao preço em reais, foi efetuada a conversão de moeda através do preço de fechamento do câmbio do dólar comercial, relativo ao mesmo dia de fechamento do preço do petróleo Brent.

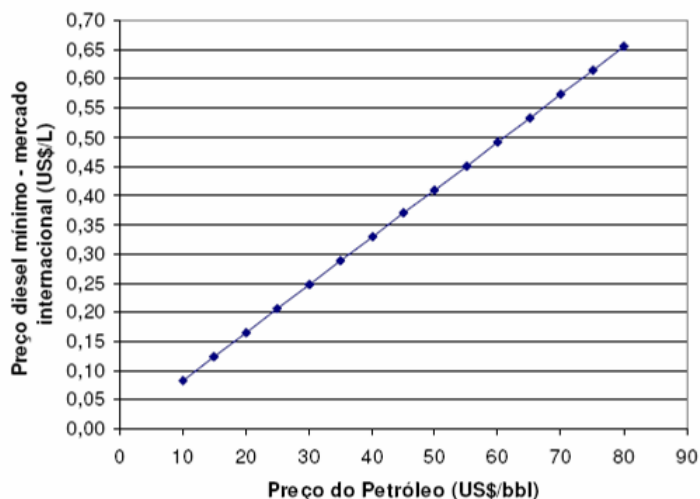


Gráfico 3: Correlação entre o preço do barril de petróleo e o preço do litro do diesel

Fonte: CARRAMENHA, 2007.

Se não houvesse interferência do governo sobre os preços do diesel no mercado nacional, o preço final de produção sofreria em curto prazo influências diretas da variação do preço internacional do petróleo e da taxa de câmbio. Deste modo, a influência direta do governo sobre a política de preços da matriz energética deve ser levada em conta para as estimativas de custo, não apenas baseando nos preços internacionais do petróleo.

Outro fator a ser levado em conta é a projeção de preços do petróleo internacional. Em 2005, a International Energy Agency (IEA), publicou projeções do preço futuro do petróleo, conforme pode ser visto no gráfico 4. Em um cenário pessimista de preço alto do petróleo, o litro deveria chegar a um preço de US\$ 0,80 em aproximadamente 2030. Porém, já em 2008 o preço superou estas expectativas, aproximando-se dos US\$ 0,90 por litro, conforme o gráfico 2. Estas tendências deixam clara a necessidade da busca de fontes alternativas de combustível, seja para substituição total ou parcial da dependência do petróleo, favorecendo a viabilização dos biocombustíveis.

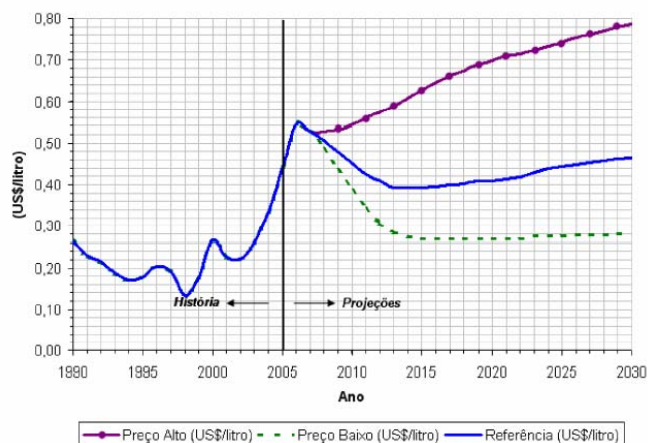


Gráfico 4: Estimativa de preço futuro do petróleo

Fonte: CARRAMENHA, 2007

Devido à recentes crises internacionais ocorridas após o segundo semestre de 2008, o petróleo novamente volta a ter queda em seu preço, sendo cotado abaixo de US\$ 65,00 o barril (US\$ 0,41 / L) em outubro de 2008 (FINANSITE, 2008), de modo que a as projeções futuras se tornam novamente incertas.

3.6.2 Evolução dos preços do óleo de soja bruto

O óleo de soja foi a opção escolhida para a análise de preços para os biocombustíveis, devido à disponibilidade imediata em volumes suficientes para a substituição nos processos de hidrotreatamento.

A soja representa 59 por cento da produção mundial de oleaginosas. No gráfico 5, é possível ver a produção distribuída por tipo de grão.

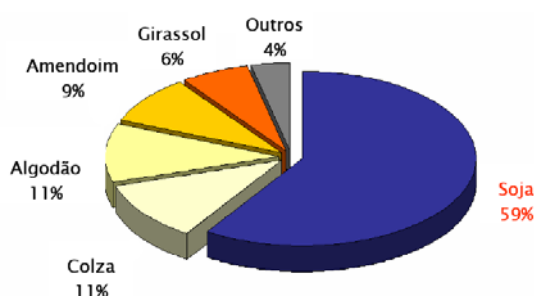


Gráfico 5: Distribuição da produção de oleaginosas no mundo

Fonte: LOVATELLI, 2005

Já, quanto à produção de óleos vegetais, a soja permanece como o mais produzido, com 32 por cento da produção total, porém é acompanhada diretamente pelo óleo de palma, que representa 28 por cento da produção. No gráfico 6 é possível ver a distribuição mundial na produção de óleos vegetais.

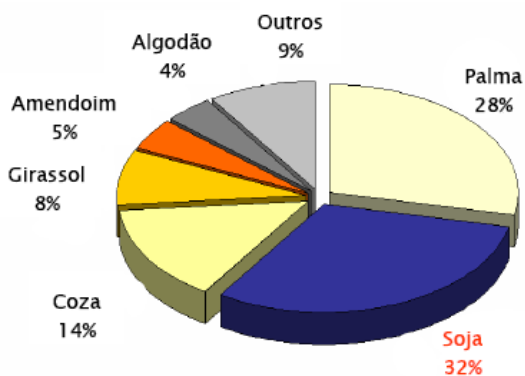


Gráfico 6: Distribuição da produção de óleos vegetais no mundo.

Fonte: LOVATELLI, 2005

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2000), a produção brasileira de óleo de palma em 1999 (cerca de 90 mil toneladas) representa menos de 0,5% da produção mundial. Esta produção está longe de atender à demanda potencial do mercado interno, estimada entre 300 e 400 mil toneladas/ano.

Mesmo com os aumentos ocorridos na produção do óleo de palma, a produção em 2005 (aproximadamente 140 mil toneladas), ela representou menos de 3% da produção total de óleo de soja (NAPPO, 2006).

Assim, embora a soja sofra grande concorrência na demanda com a indústria alimentícia mundial, é a única alternativa produzida em escala suficiente no Brasil para atender imediatamente o consumo estimado para a produção dos biocombustíveis e com projeções de crescimento para o abastecimento de mercado. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006)

Para o óleo utilizado para a avaliação das projeções dos custos, serão considerados os preços nacionais do óleo de soja bruto. De forma a minimizar o impacto de fretes do óleo vegetal, os preços considerados foram os praticados em São Paulo, já que as unidades de hidrotratamento se concentram nas regiões sul e sudeste.³

De forma análoga a apresentada para a avaliação do preço do diesel mineral, o período considerado foi entre janeiro de 2002 a junho de 2008, representando um período de 5 anos e meio de avaliação.

A evolução do preço do óleo vegetal é dada no gráfico 07:

³ Atualmente, grande parte das empresas esmagadoras de soja se concentram na região do Paraná. Já existe uma migração destas esmagadoras para o Centro-Oeste do Brasil, o que pode no futuro encarecer os custos com o frete do óleo vegetal até as unidades de hidrotratamento.

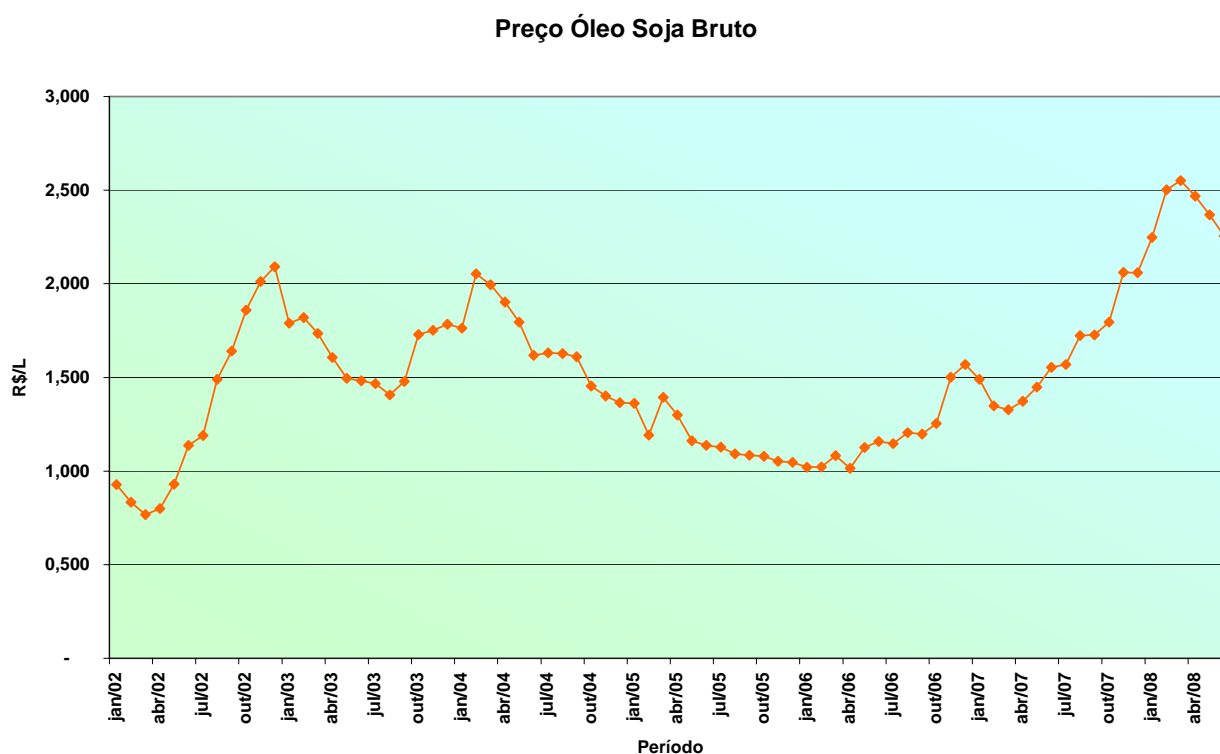


Gráfico 7: Evolução dos preços do óleo de soja

Fonte: Anexo B, com base em ABIOVE, 2008

Neste período, o valor mínimo do óleo de soja foi de R\$ 0,706 por litro em março de 2002, o valor máximo foi de R\$ 2,347 por litro em março de 2008, e a média ficou em R\$ 1,378 por litro.

Devido ao preço sofrer as flutuações de mercado, não apresenta patamares definidos e, analisando somente este período de tempo, é possível notar uma perspectiva de crescimento dos preços a longo prazo.

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (2004), a estimativa da produção mundial foi de que a área colhida e a produtividade crescerão a taxas iguais às médias do período entre 1990 e 2003 (5,64% ao ano e 3,03% ao ano, respectivamente) e que o preço médio mundial será igual à média do período de 1999 a 2003 (US\$ 192,12). De acordo com a estimativa realizada, a produção mundial de soja poderá ganhar um ritmo ainda mais rápido de crescimento nos próximos anos, chegando a superar a casa das 300 milhões de toneladas a partir de 2010 e de 500 milhões de toneladas antes de 2020. A área colhida deverá aproximar-se dos 200 milhões

de hectares e a produtividade média ficará próxima de 4 t/ha. Estas previsões podem ser vistas no gráfico 08.

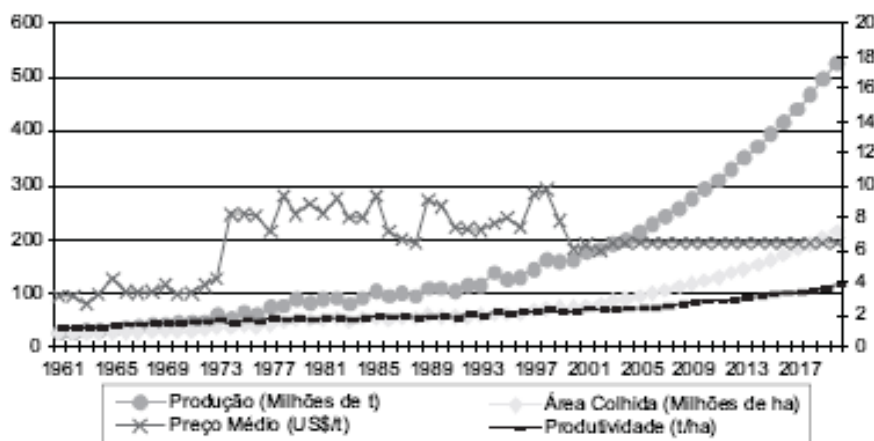


Gráfico 8: Evolução e estimativa da produção mundial de soja – 1961/2020

Fonte: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2004

De acordo com a previsão, os preços futuros não devem apresentar grandes variações de preço, tomando como base o preço em dólares, porém as variações cambiais podem modificar os preços a longo prazo, e, por se tratar de uma *commodity*, é difícil estabelecer projeções precisas. Entre as variáveis que podem influenciar o preço futuro da soja é o aumento do consumo do mercado de alimentos, como por exemplo, o aumento de consumo na China. A produção de soja mundial deve continuar crescente, podendo parte desta produção ser destinada como matéria prima para os biocombustíveis, o que também pode criar uma elevação nos preços.

Quanto à utilização de óleos vegetais para a produção o biodiesel no Brasil, o projeto inicial do governo federal se baseava principalmente no fomento da produção da mamona, mas desde março de 2008, a ANP através da resolução nº 07 de 2008, estabelece parâmetros técnicos onde a alta viscosidade do óleo de mamona inviabiliza a produção de biodiesel (MEDINA, 2008).

Em 2008, a distribuição da produção de biodiesel em relação ao tipo de matéria prima pode ser visto na tabela 02:

Tabela 2: Participação das matérias primas oleaginosas utilizadas no Brasil para produção de biodiesel nos meses de janeiro e maio de 2008.

Matéria Prima	Janeiro/08	Mai/08
Soja	68,41 %	77,35 %
Sebo Bovino	17,80 %	21,73 %
Algodão	0,34 %	0 %
Palma	0,22 %	0 %
Mamona	0,17 %	0 %
Outros	13,06 %	0,92 %

Fonte: MEDINA, 2008

Pode-se notar que a soja é a única oleaginosa vegetal que realmente está sendo utilizada em escala na produção de biodiesel. Além das oleaginosas vegetais, o sebo bovino ganhou uma participação significativa na produção, representando mais de 21 por cento do volume total utilizado no mês de maio de 2008.

3.6.3 Avaliação dos preços do Hidrogênio

Uma das grandes dificuldades para a identificação de parâmetros para a simulação dos preços dos biocombustíveis via hidrogenação consiste na definição adequada do preço do hidrogênio.

Apesar da vasta literatura encontrada sobre o tema, existe uma forte contradição quanto das estimativas reais de custo, pois variam muito em relação a escala de produção, a tecnologia empregada, as formas de estocagem e distribuição e da rota de produção.

Diversos estudos têm surgido na busca de estimativa de preços, principalmente motivados pela busca da viabilização de células a combustível via hidrogênio.

Segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2006), normalmente trabalha-se com o preço do hidrogênio em US\$ 2.500 / tonelada.

No quadro 10, podem ser vistas algumas referências de preços estimadas pela SFA Pacific e a Air Products, para processo via reforma do gás natural e do metanol, com diferentes formas finais de estocagem e entrega (SIMBECK, CHANG, 2002).

Alimentação	Capacidade de H ₂ (t/d)	Armazenamento do H ₂	Custo Hidrogênio (US\$/kg)	
			SFA Pacific	Air Products
Gás Natural	27	Líquido	4,34	3,35
Gás Natural	27	Por tubulação	3,08	2,91
Gás Natural	2,7	Gás sob pressão	3,30	3,57
Metanol	2,7	Gás sob pressão	3,46	3,76

Quadro 10: Preços de custos de hidrogênio em relação a forma de produção e armazenamento.

Fonte: Elaboração própria baseada em SIMBECK, CHANG, 2002.

Segundo o *Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use* (2004), um estudo mais detalhado avalia uma condição de custo presente e estima um custo para um futuro otimista na produção de hidrogênio. Este estudo simula as condições de produção, estocagem e estocagem do hidrogênio para

diversas rotas de produção. No quadro 11 podem ser vistas as simulações para a rota através do gás natural e carvão.

Custo H ₂	Gás natural		Carvão	
	Custo Presente	Custo Futuro	Custo Presente	Custo Futuro
Produção	1,03	0,92	0,96	0,71
Distribuição	0,42	0,31	0,42	0,31
Estocagem	0,54	0,39	0,54	0,39
Taxa emissão carbono	0,13	0,12	0,26	0,23
Custo Total H₂ (US\$/kg)	2,11	1,73	2,17	1,63

Quadro 11: Custos de produção de hidrogênio através de insumos mais comuns

Fonte: Adaptado de COMMITTEE ON ALTERNATIVES AND STRATEGIES FOR FUTURE HYDROGEN PRODUCTION AND USE, 2004

Embora o processo de produção através da reforma do gás natural possa apresentar menores custos de distribuição e dispensação nas refinarias em relação ao estudo proposto, foi considerado o custo total da operação presente do quadro 11, de forma tornar a análise mais restritiva para a avaliação dos custos do hidrogênio.

Outra referência quanto ao preço de hidrogênio pode ser vista no quadro 12:

Fonte de Geração	Custo do Hidrogênio	
	US\$ / GJ	US\$ / kg ⁴
Carvão / Gás / Petróleo	1 – 5	0,14 – 0,71
Gás Natural, sem emissões de CO ₂	8 – 10	1,14 – 1,42
Carvão, sem emissões de CO ₂	10 – 13	1,42 – 1,86
Biomassa	12 – 18	1,71 – 2,57
Nuclear	15 – 20	2,14 – 2,86
Eólica, <i>onshore</i>	15 – 25	2,14 – 3,57
Eólica, <i>offshore</i>	20 – 30	2,86 – 4,29
Energia solar	25 – 50	3,57 – 7,14

Quadro 12: Preços de custos de hidrogênio em relação a forma de produção e armazenamento.

Fonte: Elaboração própria baseada em REIS, SABA, 2008.

⁴ 1 GJ equivale a aproximadamente 7kg de hidrogênio

As referências apresentadas no quadro 12 mostram diversas fontes de energia com seus custos estimados para a produção de hidrogênio, porém comparativamente aos preços mostrados nos quadros 10 e 11, para a geração através do gás natural, o preço é relativamente inferior do que nas outras fontes apresentadas.

Para as simulações, optou-se pelo preço apresentado para a geração de gás natural efetuada pelo *Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use* apresentado no quadro 11, com o valor de US\$ 2,11 / kg.

Outra dificuldade na estimativa de custos no Brasil é a vinculação do preço de produção com a cotação do dólar. A cotação média do dólar apresentou nos últimos anos grandes variações cambiais, apresentando como valor mais alto em 2003, atingindo um valor médio de R\$ 3,07, enquanto no período de janeiro de 2001 a julho de 2008 a cotação mais baixa atingida foi de R\$ 1,56⁵.

Devido a crise imobiliária desencadeada nos Estados Unidos iniciada em 2006, no segundo semestre de 2008 diversas instituições financeiras mundiais entraram em colapso, reduzindo a confiança do mercado, gerando efeitos inclusive no Brasil, com a queda da Bolsa de Valores de São Paulo e grandes altas no preço do dólar, atingindo R\$ 2,39, em 8 de outubro. As variações do dólar se mantiveram então, variando entre R\$ 2,10 a R\$ 2,20, até o início de novembro do ano corrente.

Com base no ano de referência 2007, a cotação média do dólar foi de R\$2,08, que será usada como base cambial para as simulações, que mostra ser um valor aparentemente coerente como taxa de câmbio para o dólar.

De acordo com as considerações de custos de produção do hidrogênio e taxas cambiais, o custo final do hidrogênio presente considerado nas simulações será de R\$ 4,39 / kg de H₂.

⁵ O valor da cotação citada é referente ao preço de compra do dólar comercial no dia 31 de julho de 2008.

4. ANÁLISE DE PREÇOS DAS MISTURAS COMBUSTÍVEIS

4.1 Delimitação das constantes e variáveis de simulação

Para realizar a simulação das misturas analisadas neste trabalho, é essencial conhecer as constantes e variáveis utilizadas.

As simulações buscam encontrar o preço final da mistura avaliada, onde serão consideradas como variáveis de simulação o preço do diesel mineral, do preço do óleo vegetal e as participações das diferentes frações entre o diesel mineral, o HBio e o Biodiesel.

Para a variável preço do diesel mineral, foram utilizadas as seguintes variações:

- Valor mínimo do diesel da série do gráfico 01 (R\$ 0,432/L);
- Valor médio do diesel da série do gráfico 01 (R\$ 1,021/L);
- Valor máximo do diesel da série do gráfico 01 (R\$ 1,393/L);
- Preço 20% maior do que o valor máximo do diesel do gráfico 01 (R\$ 1,672/L).

Já para o preço do óleo de soja bruto, serão consideradas as faixas delimitadas abaixo, variando em intervalos de R\$ 0,10.

- Preço do óleo de soja 20% menor que o valor mínimo da série do gráfico 7 (R\$ 0,50/L);
- Preço do óleo de soja 10% maior que o valor máximo da série do gráfico 7 (R\$ 2,50/L);

Os demais custos encontrados na equação 18 serão considerados como constantes que foram retiradas da literatura, conforme o quadro 13:

Custo	Preço	Unidade
Preço Energia (1)	0,09414	R\$/kWh
Preço Etanol (2)	1,01	R\$/kg
Preço GLP (3)	0,8716	R\$/kg
Preço Glicerina ⁶ (4)	1,60	R\$/kg
Hidrotratamento (5)	10% Custo Diesel Mineral	R\$/L
Processo Biodiesel (6)	0,294	R\$/L

Quadro 13: Definição de custos constantes para as simulações

Fonte: (1) CCEE, 2008 – Média de jan a dez 2007; (2) CEPEA, 2008 – Média jan a dez 2007 – Densidade 0,792 g/cm³ ; (3) ANP, 2008c – Média jan a dez 2007; (4) BOUÇAS, C. 2007; (5) ENSTRAT INTERNATIONAL LTD., 2003; (6) DEL VECCHIO, 2006.

⁶ O preço da glicerina tomada como base no ano de 2007. Nota-se, porém, que o custo tem caído constantemente, motivado principalmente pela maior produção de biodiesel que aumenta a oferta da glicerina no mercado.

4.2 Composição das Simulações

Foram simulados sete tipos diferentes de correntes de combustíveis, denominadas de composições, da seguinte forma:

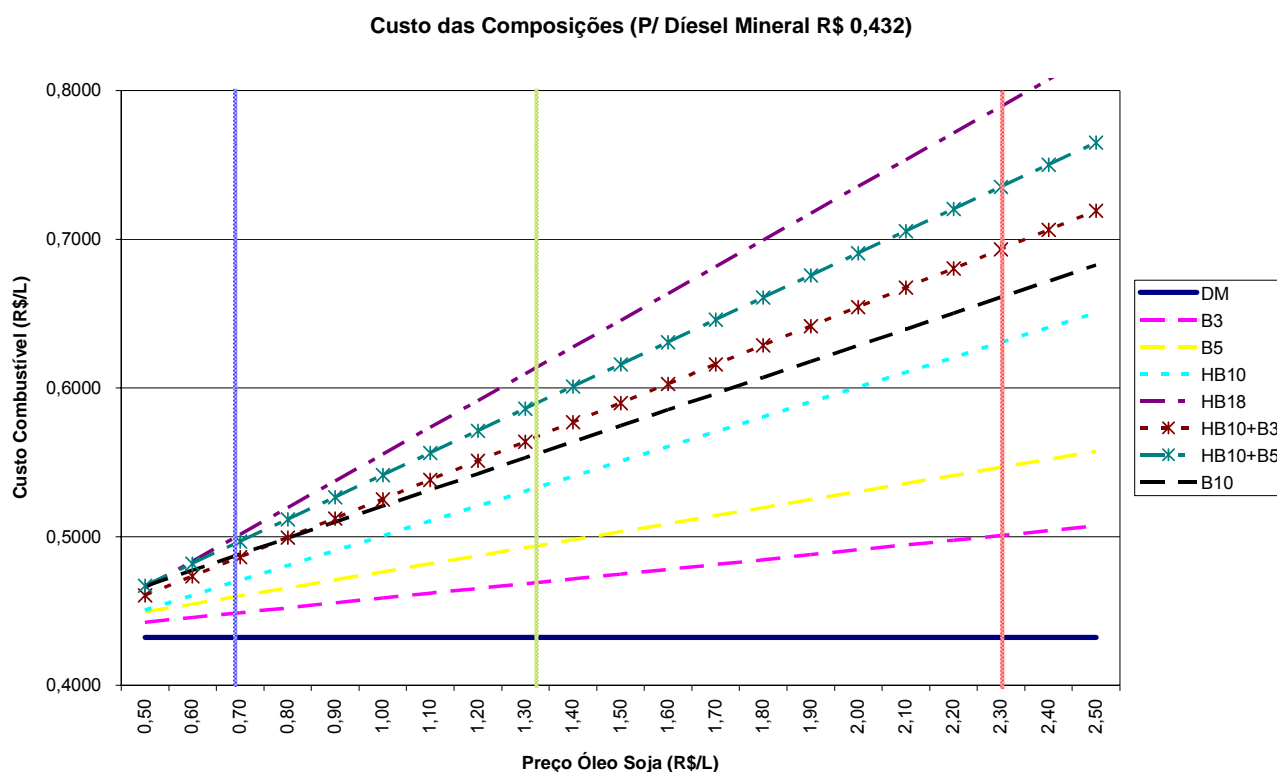
- DM – 100% de diesel mineral;
- B3 – 97% de diesel mineral e 3% de biodiesel;
- B5 – 95% de diesel mineral e 5% de biodiesel;
- B10 – 90% de diesel mineral e 10% de biodiesel;
- HB10 – 90% de diesel mineral e 10% de HBio;
- HB18 – 82% de diesel mineral e 18% de HBio;
- HB10+B3 – 87,3% de diesel mineral, 9,7% de HBio e 3% de biodiesel;
- HB10+B5 – 85,5% de diesel mineral, 9,5% de HBio e 5% de biodiesel;

A composição B3 representa o estado atual do diesel, com adição obrigatória de 3% de biodiesel sobre o diesel mineral produzido, enquanto a composição B5 representa a obrigatoriedade de biodiesel na corrente de diesel mineral que vigorará a partir de 2013. A composição HB10 representa o diesel com adição na corrente de hidrotreatamento de 10% de óleo vegetal, valor referência de início de produção real da Petrobrás. Quanto ao HB18, representa o teste industrial de maior substituição de diesel por óleo vegetal realizado pela Petrobrás, com 18% de substituição. As correntes HB10+B3 e HB10+B5 representam as substituições de 10% de óleo diesel mineral na corrente de hidrotreatamento por óleo vegetal, além das adições de 3% e 5% de biodiesel.

4.3 Avaliação dos preços das misturas

A avaliação dos cenários foi feita com base na variação do preço do óleo vegetal e em função dos preços do óleo diesel mineral considerando os períodos compreendidos entre janeiro de 2002 e junho de 2008, para o preço mínimo, preço médio, preço máximo e preço máximo acrescido de 20%. A elaboração das simulações foi feita com base no anexo C.

4.3.1 Cenário 1: Preço mínimo do óleo diesel: R\$ 0,432 / L



Neste cenário, é possível notar que todas as composições apresentaram-se inviáveis para o preço mínimo do diesel mineral delimitado pela linha azul horizontal, mesmo na faixa abaixo da linha vertical de preço mínimo do óleo vegetal (azul clara).

4.3.2 Cenário 2: Preço médio do óleo diesel: R\$ 1,021 / L

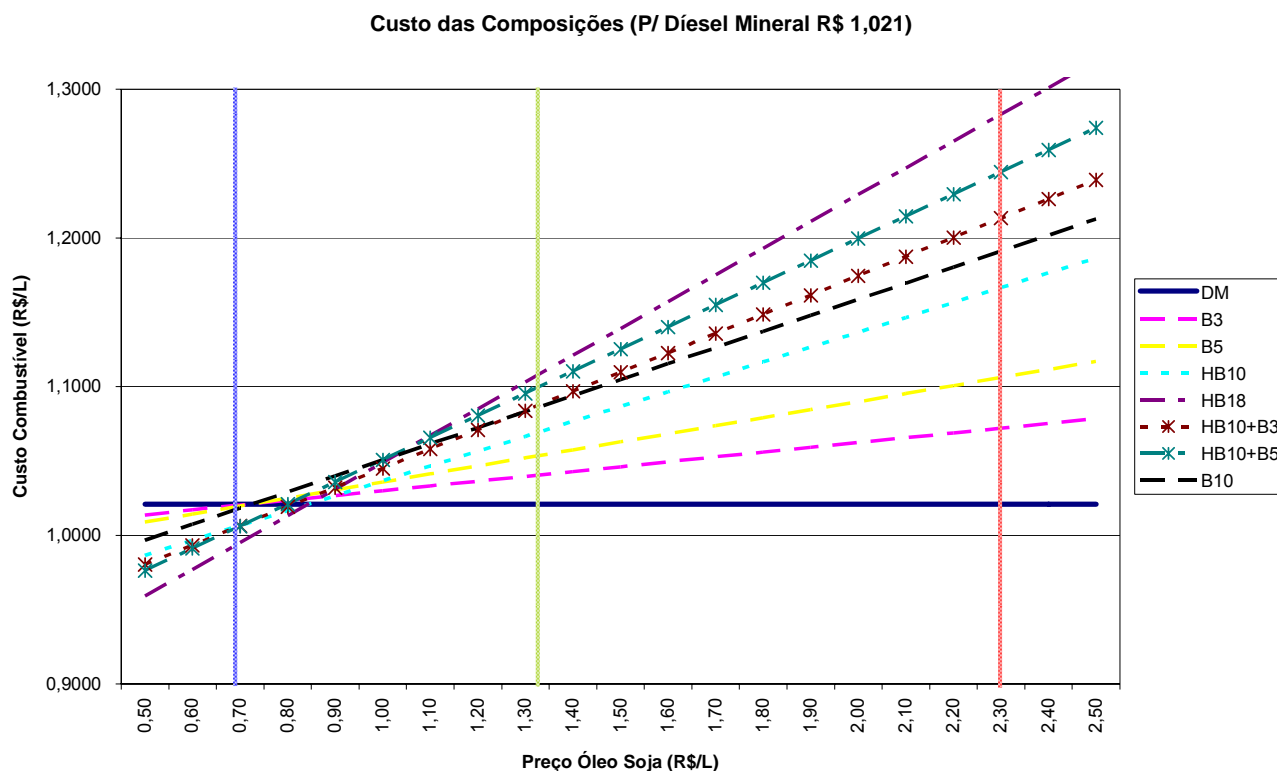


Gráfico 10: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço médio

Fonte: Elaboração própria, com base no Anexo D.

No cenário 2 todas as composições apresentam valores das misturas combustíveis com custos abaixo do custo final do diesel. No caso das composições B3, B5 e B10, o preço de viabilidade é para um preço máximo de óleo de soja em R\$ 0,707 / L, custo esse praticamente igual ao valor mínimo do preço do óleo vegetal no período analisado, delimitado pela linha vertical azul clara. As misturas HB10 e HB18 se tornam viáveis até o preço do óleo de soja de R\$ 0,845 / L, já a composição HB10+B3 é viável até R\$ 0,812 / L do preço do óleo de soja enquanto o HB10+B5 até R\$ 0,797 / L de óleo de soja. Estes valores estão compreendidos entre o preço mínimo do óleo no período (linha azul vertical) e o valor médio do óleo (linha verde vertical) caracterizando que em apenas momentos restritos, as composições tornam-se viáveis.

4.3.3 Cenário 3: Preço máximo do óleo diesel: R\$ 1,393 / L

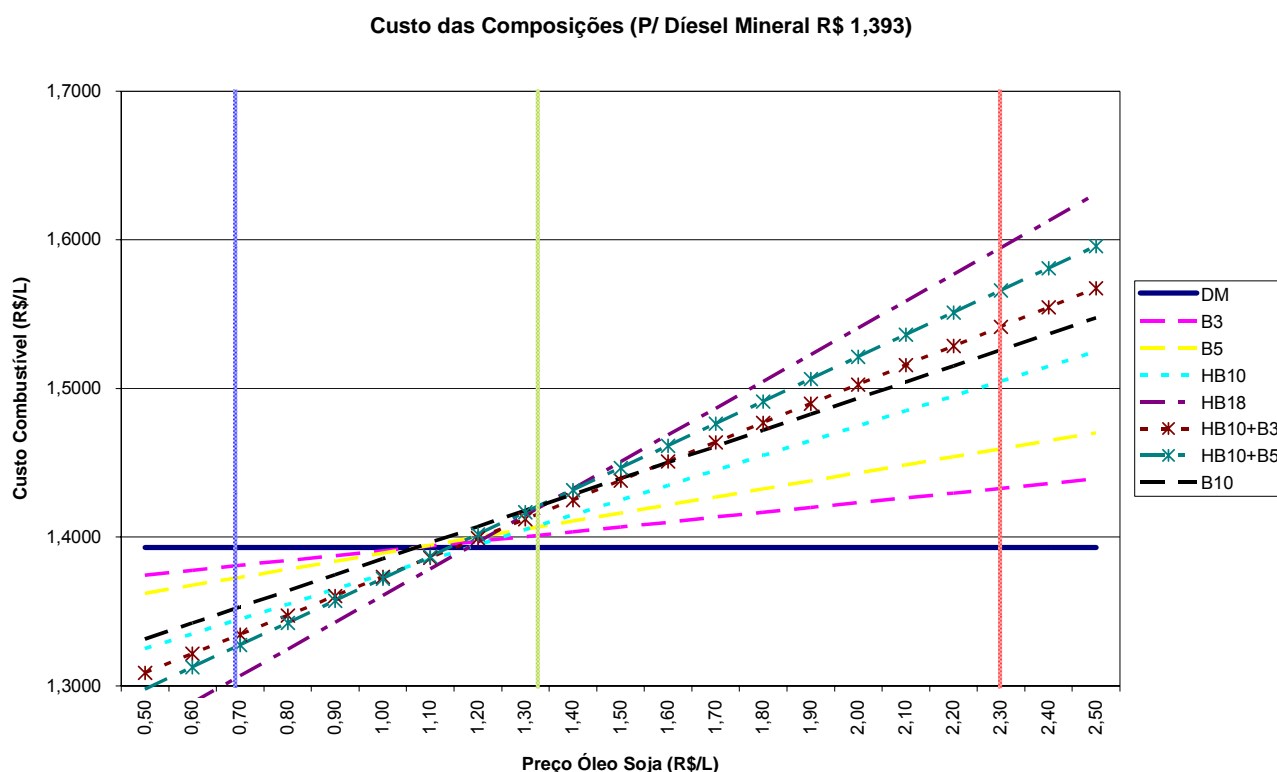


Gráfico 11: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço máximo

Fonte: Elaboração própria, com base no Anexo D.

Avaliando o cenário 3, com o preço do diesel mineral projetado ao patamar mais alto do período histórico, todas as composições apresentam pontos de viabilidade, embora as composições com apenas HBio aproximam-se dos valores médios do óleo diesel do período.

Os valores de B3, B5 e B10 apresentam custos de combustíveis mais baixos que o diesel mineral até o preço do óleo vegetal de R\$ 1,052 / L, situando-se abaixo do valor médio do óleo de soja e ainda com pouca viabilidade. Para o preço do HB10 e HB18, o valor de viabilidade é de até R\$ 1,180 / L de óleo de soja, estando próximo do valor médio do óleo vegetal, apresentando uma pequena melhoria de viabilidade em relação às misturas com biodiesel. Para o caso do HB10+B3, o valor de máximo do óleo de soja é de R\$ 1,149 / L, ainda também mantendo-se próximo ao preço médio do óleo vegetal. Para a composição HB10+B5, o valor de máximo fica em R\$ 1,136 /L. Todos os casos se aproximaram do preço médio do óleo de soja, porém ainda ficando abaixo.

4.3.4 Cenário 4: Preço máximo do óleo diesel + 20%: R\$ 1,672 / L

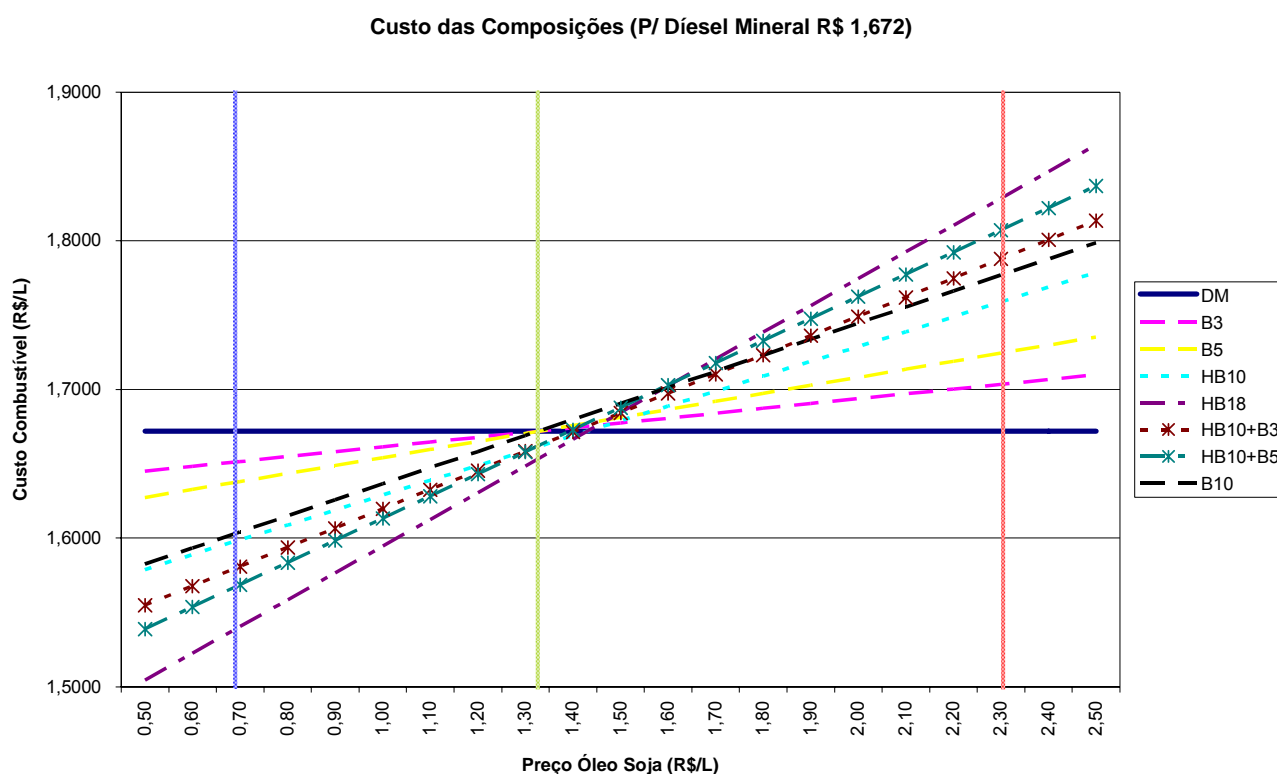


Gráfico 12: Preço dos combustíveis finais para o diesel mineral a preço máximo + 20% do preço

Fonte: Elaboração própria, com base no Anexo D.

Com o sobrepreço de 20% no preço do diesel, a viabilidade das composições aumenta significativamente, apresentando composições nas quais ultrapassam o valor médio do óleo de soja.

Para as composições B3, B5 e B10, o custo máximo do óleo vegetal para a viabilidade do processo fica em R\$ 1,310 / L, situando-se praticamente no valor médio do óleo de soja. No caso das composições HB10 e HB18, o valor de máximo é de até R\$ 1,431 / L de óleo de soja, estando situado entre o valor médio e o máximo preço do óleo vegetal, com viabilidade tendendo a ser mais favorável. Também, para a composição HB10+B3, o valor máximo do óleo vegetal para a viabilidade é de R\$ 1,402 / L, situado entre o preço médio e máximo do óleo vegetal, bem como para a composição HB10+B5, onde o valor do óleo vegetal é de R\$ 1,389 / L de custo máximo.

4.4 Síntese dos Cenários

Como síntese dos cenários, o quadro 14 apresenta os valores máximos do óleo vegetal para cada composição avaliada, em relação ao preço do diesel mineral (cenários), de modo a viabilizar o processo.

Cenários	Pdiesel	B2	B5	B10	HB10	HB18	HB10+B2	HB10+B5
1	0,432	0,162	0,162	0,162	0,320	0,320	0,283	0,265
2	1,021	0,707	0,707	0,707	0,850	0,850	0,816	0,801
3	1,393	1,052	1,052	1,052	1,185	1,185	1,153	1,139
4	1,672	1,310	1,310	1,310	1,436	1,436	1,406	1,392

Quadro 14: Valor máximo do óleo de soja em relação ao diesel mineral

Fonte: Elaboração própria

É possível notar que, em todos os casos, o HBio apresenta melhor viabilidade econômica que o biodiesel, pois os preços máximos aceitos de óleo de soja são maiores para as composições com HBio sem a presença de biodiesel. Quanto maior a fração de substituição de biodiesel no diesel mineral, menor deve ser o preço máximo do óleo de soja para tornar a adição viável.

Embora nos cenários 2, 3 e 4 o HBio possua condições de ser produzido sem aumentar o custo do diesel mineral, apenas a partir do preço máximo do diesel mineral do período é que o produto se torna efetivamente viável, pois o preço máximo admitido do óleo de soja aproxima-se do valor médio histórico realizado no período, assim como também as composições que apresentam HBio mais biodiesel. Assim, o diesel mineral mantendo-se patamar atual de preços, inicia o processo de viabilização do HBio, desde que o preço do óleo de soja não mantenha patamares altos, como tem se mantido nos últimos meses. O mesmo ocorre com o biodiesel, porém ainda apresenta uma faixa de viabilidade um pouco menor que o Hbio.

As composições que apresentam somente biodiesel ou somente HBio demonstram uma propriedade interessante. O preço máximo de viabilidade é independente da fração

presente na mistura, pois o valor de equilíbrio é o valor quando o preço da fração pura iguala-se ao preço do diesel mineral.

A fração presente de HBio ou biodiesel em cada mistura embora não altere o ponto de equilíbrio, altera a inclinação da reta, sendo que quanto maior for a fração presente, maior será o impacto no custo do combustível final, ou seja, maior será a inclinação da reta em relação ao preço do diesel mineral para cada cenário avaliado.

Deste modo, sabendo que o preço máximo viável economicamente para cada mistura se dá quando o preço do diesel mineral se igual ao do HBio ou do biodiesel, é possível equacionar o preço máximo do óleo de soja para cada um dos sistemas:

Para o HBio:

$$P_{HBio} = P_{DM} \quad \text{eq. 27}$$

$$P_{DM} = P_O + 0,02484P_{H_2} - 0,0081P_{EN} - 0,0393P_{GLP} + yP_{DM} \quad \text{eq. 28}$$

$$P_O = (1 - y)P_{DM} - 0,02484P_{H_2} + 0,0081P_{EN} + 0,0393P_{GLP} \quad \text{eq. 29}$$

Para o biodiesel:

$$P_{Biod} = P_{DM} \quad \text{eq. 30}$$

$$P_{DM} = 1,08P_O + 0,13P_{EtOH} - 0,117P_{Glic} + 0,294 \quad \text{eq. 31}$$

$$P_O = \frac{1}{1,08} P_{DM} - 0,13P_{EtOH} + 0,117P_{Glic} - 0,294 \quad \text{eq. 32}$$

Desta forma, foi determinado o preço máximo do óleo vegetal em função do processo utilizado e do preço do diesel mineral, que é mostrado no gráfico 12:

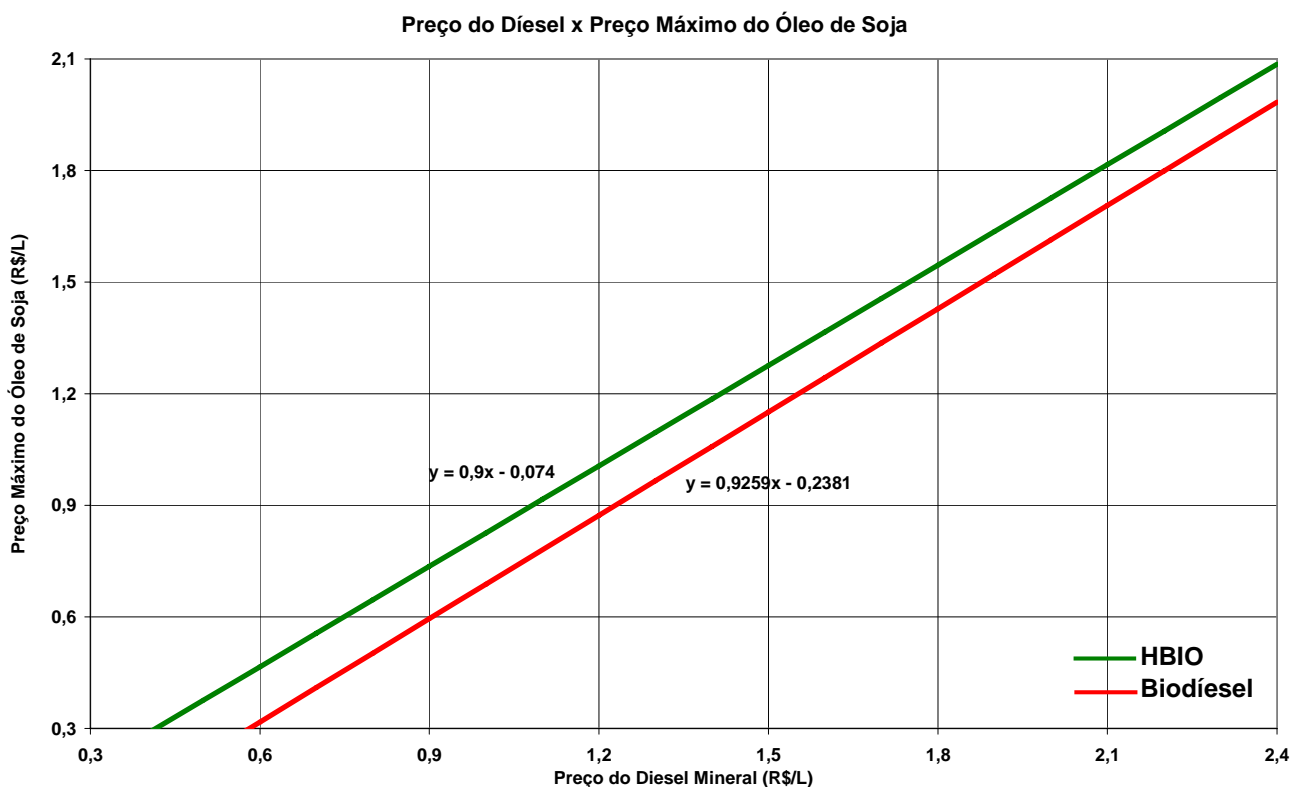


Gráfico 13: Preço máximo do óleo vegetal em função do tipo do biocombustível e do preço do diesel mineral.

Fonte: Elaboração própria

O HBio, conforme avaliado na projeção dos cenários, permite trabalhar com uma maior faixa de custo do óleo vegetal, viabilizando mais facilmente do que o biodiesel.

Em relação à influência do preço do hidrogênio no preço de viabilidade do processo de HBio, é possível estabelecer o preço onde é atingido o equilíbrio dos preços entre o HBio e o biodiesel, através da equação 33.

$$P_{HBio} = P_{Biod} \quad \text{eq. 33}$$

São conhecidos os preço do HBio e do Biodiesel, através das equações 34 e 35:

$$P_{HBio} = P_O + 0,02484P_{H2} - 0,0081P_{EN} - 0,0393P_{GLP} + yP_{DM} \quad \text{eq. 34}$$

$$P_{Biod} = 1,08P_O + 0,13P_{EtOH} - 0,117P_{glic} + 0,294 \quad \text{eq. 35}$$

Igualando as duas equações, obtém:

$$P_O + 0,02484P_{H_2} - 0,0081P_{EN} - 0,0393P_{GLP} + yP_{DM} = +1,08P_O + 0,13P_{EtOH} - 0,117P_{glic} + 0,294 \quad \text{eq. 36}$$

Rearranjando:

$$P_{H_2} = (0,08P_O + 0,0081P_{EN} + 0,0393P_{GLP} - yP_{DM} + 0,13P_{EtOH} + -0,117P_{Glic} + 0,294) / 0,02484 \quad \text{eq. 37}$$

É possível notar que o preço do hidrogênio tem forte influência dos preços do óleo de soja e do diesel mineral. Para tanto, é possível ver o gráfico 13 que mostra o comportamento do preço do hidrogênio para o equilíbrio de custos entre a produção de HBio e de Biodiesel.

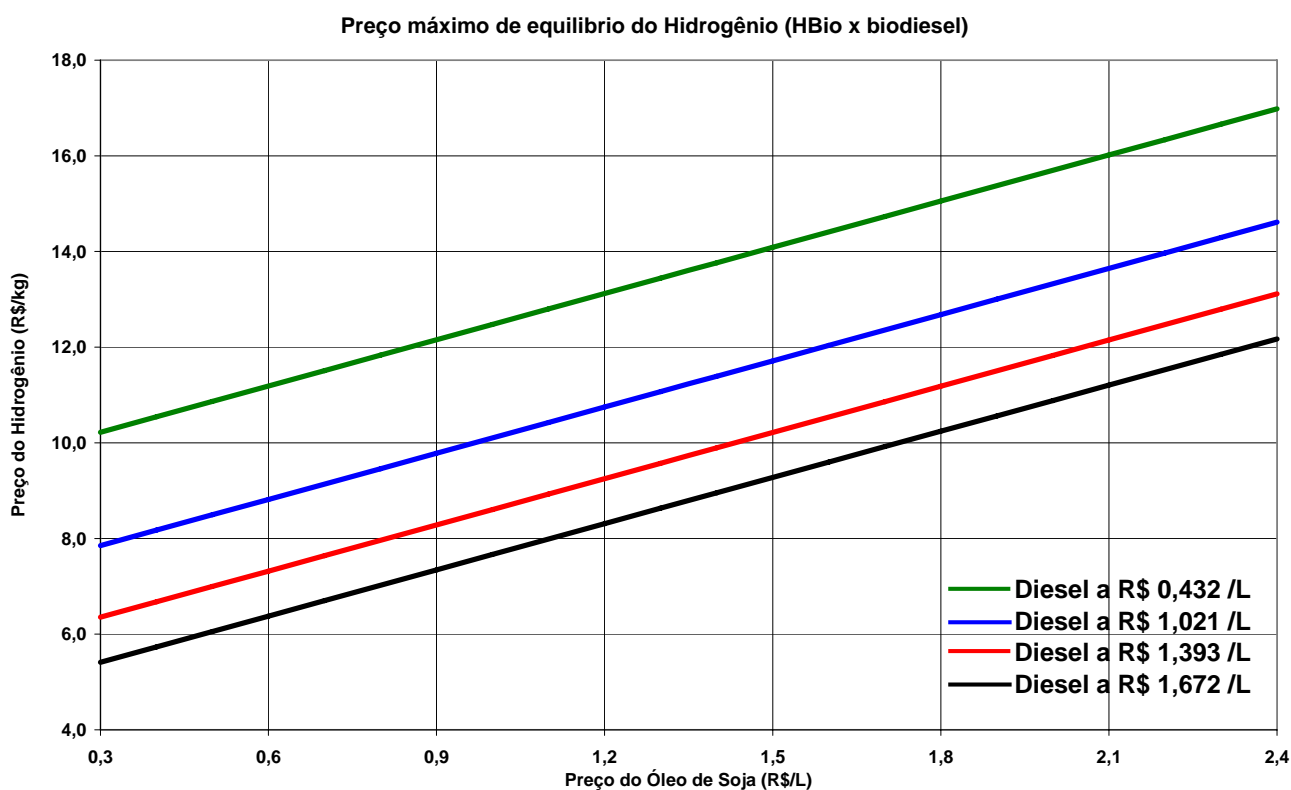


Gráfico 14: Preço do hidrogênio para o equilíbrio dos preços do HBio x biodiesel

Fonte: Elaboração própria

O preço do hidrogênio necessário para viabilizar o HBio em relação ao biodiesel cresce na medida em que o preço do óleo de soja cresce e o óleo diesel mineral reduz

seu preço. Embora, pelo gráfico 14, nota-se que nas faixas avaliadas, os preços de equilíbrio apresentados favorecem a produção do HBio. Segundo as previsões de mercado, o custo do hidrogênio deve cair no futuro, com a evolução dos processos de produção (COMMITTEE ON ALTERNATIVES AND STRATEGIES FOR FUTURE HYDROGEN PRODUCTION AND USE, 2004).

Mesmo na pior situação apresentada no gráfico 14, considerando o diesel mineral com custo de R\$ 1,6272/L e o preço do óleo de soja a R\$ 0,30/L, ainda assim seria mais vantajosa a produção do HBio em relação ao biodiesel, pois o preço mínimo do hidrogênio é maior que seu custo de produção a R\$ 4,39 / kg H₂.

4.5 Projeção da viabilidade histórica do Período

Como existem variações independentes do preço do óleo de soja e do preço do diesel mineral, foi traçado um gráfico avaliando o período histórico, mantendo fixos os preços do hidrogênio, da energia elétrica, da glicerina e do etanol, com base na média do ano de 2007. Nos gráficos 15 e 16, é possível avaliar o resultado desta projeção:

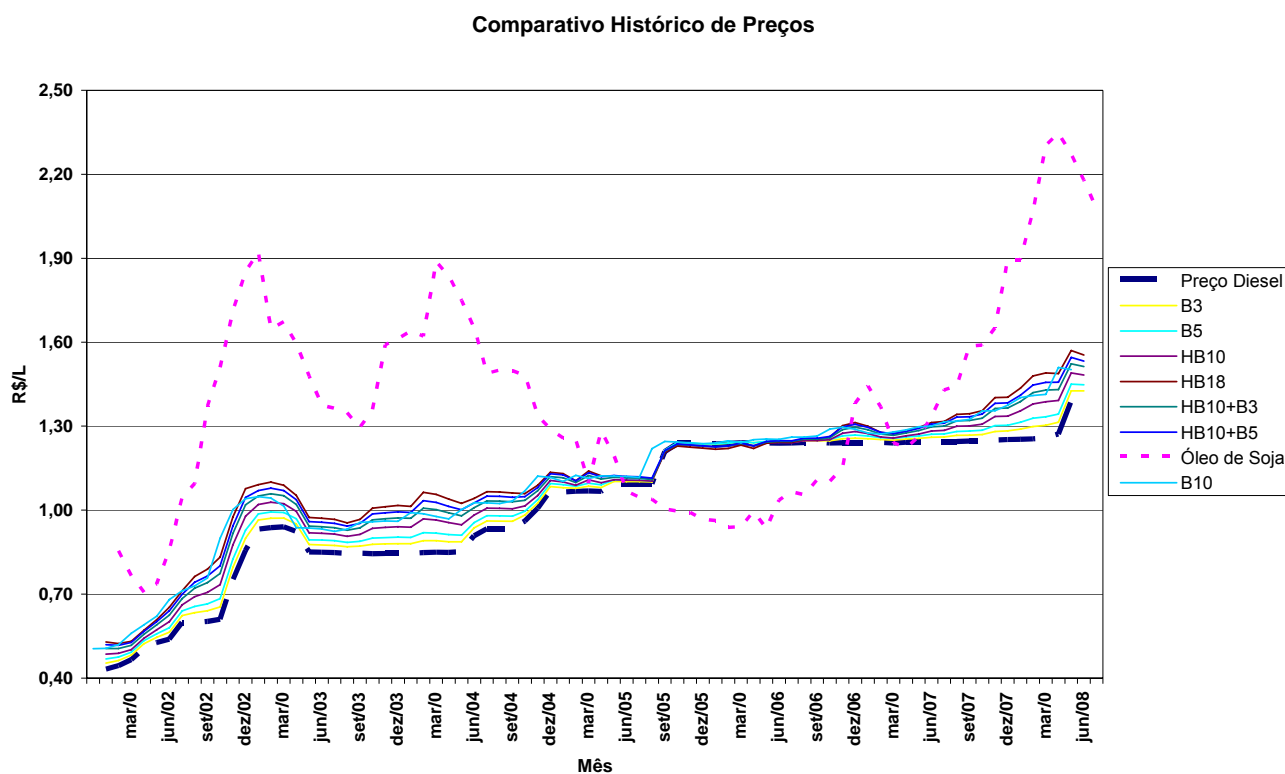


Gráfico 15: Projeção histórica da viabilidade econômica dos biocombustíveis no Brasil entre janeiro de 2002 a junho de 2008

Fonte: Elaboração Própria

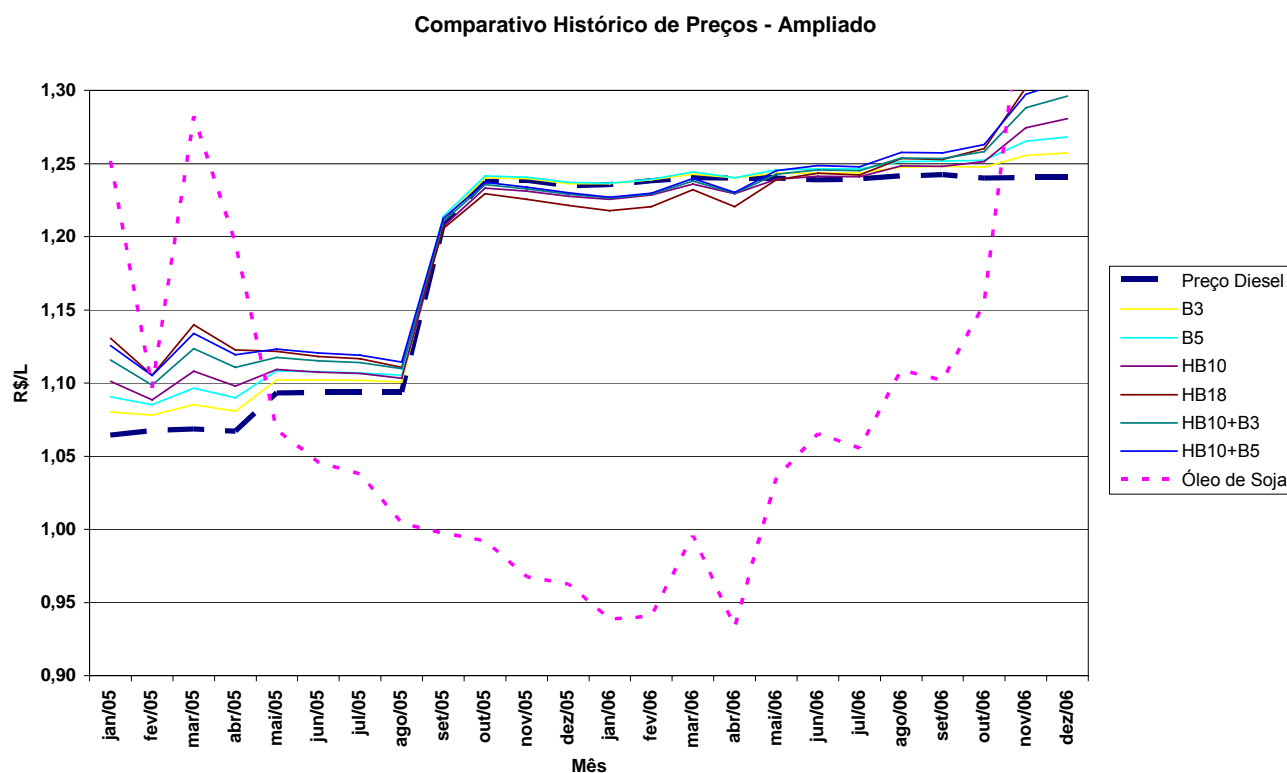


Gráfico 16: Ampliação da projeção do histórico de preços de janeiro/05 a dezembro/06

Fonte: Elaboração Própria

É possível notar que não existe aparentemente uma relação entre a variação do preço do óleo de soja e do diesel mineral. O diesel mineral, apesar de apresentar alguns períodos de patamares estáveis, mantém em todo período considerado uma tendência de crescimento do preço, principalmente devido à intervenção governamental dos preços. No caso do óleo de soja, entre 2002 e 2003 foram atingidos patamares altos de preço, com início de queda a partir de 2004, onde manteve a queda até o meio do ano de 2006, voltando a apresentar crescimento. No final de 2007 e início de 2008, os preços do óleo vegetal dispararam, podendo, neste caso, também ter sido influenciado pelo mercado do diesel, pois em 2008 iniciou-se a obrigatoriedade da venda da mistura B2 no território nacional, passando então já em julho esta obrigatoriedade para mistura B3 – com 3% de biodiesel e também de condições externas, como o aumento da demanda alimentícia.

Por esta projeção mostrada ampliadamente no gráfico 16, nota-se que, apenas no período de baixa do preço do óleo vegetal entre 2004 e 2006 seria viável economicamente misturas com HBio, inclusive com adições de biodiesel. Já, nas misturas com biodiesel apenas, mesmo no período de baixos preços do óleo de soja ainda assim

os custos apresentam-se limítrofes, pois se equiparam ao custo do diesel mineral neste período.

5. ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A dependência de óleo diesel, bem como de outros derivados de petróleo, faz parte do mundo atual e com baixa possibilidade de redução de consumo significativo, pois todas as cadeias produtivas e logísticas dependem direta ou indiretamente da energia originada por estes tipos de combustíveis, onde os preços têm elevado-se a cada dia.

Na busca de alternativas renováveis vem iniciando a produção de combustíveis de origem de óleo vegetal. Hoje, obrigatoriamente adiciona-se no Brasil três por cento de biodiesel, mas este vem apresentando custos elevados, acima do próprio custo do diesel mineral.

Por sua vez, o combustível HBio vem apresentando uma nova possibilidade, pois os preços tem se mostrado menores do que os processos atuais de biodiesel e de fácil produção na indústria de processamento de petróleo, com a simples adição da corrente de óleo vegetal no processo de hidrotreatamento, misturando-se à corrente de diesel mineral que está sendo tratada. Por outro lado, este tipo de processo só é possível em escala industrial de processamento de petróleo, não favorecendo um meio de produção social de combustível, como no caso do biodiesel.

Os preços do diesel mineral apresentavam forte característica crescente de preços, constantemente superando inclusive projeções pessimistas dos preços futuros, favorecendo a produção dos combustíveis de origem vegetal. Por outro lado, após o segundo semestre de 2008, instabilidades no mercado mundial derrubaram os preços do petróleo e se este patamar de preços se mantiver, haverá dificuldades na ampliação do investimento nestas fontes alternativas, tendo em vista que os preços dos óleos vegetais não sofreram quedas de preços na mesma magnitude.

A produção do HBio se mostra viável em parte do período estudado neste trabalho, pois para os preços atuais do óleo diesel mineral no Brasil é possível trabalhar com uma significativa faixa de preços do óleo de soja. Nas projeções efetuadas no histórico dos preços do diesel mineral e do óleo de soja, é possível ver períodos onde o HBio se

tornaria viável, com o custo da mistura apresentando preço inferior ao preço praticado do diesel mineral.

Apesar de a soja ser o único óleo vegetal que é produzido em escala suficiente para ser representativo na produção de biocombustíveis, a variabilidade dos volumes produzidos, instabilidade de preços e a concorrência com o mercado alimentício da soja criam uma dificuldade na utilização deste óleo como fonte de geração de biocombustíveis. A soja, a longo prazo, não se mostra como uma cultura adequada para a manutenção da produção de biocombustíveis, até pelo crescimento mundial de consumo alimentar do produto, por exemplo como o aumento da demanda chinesa. Incentivos para a produção em escala de outros grãos, como de girassol, de colza e o de palma, que possuem grande rendimento para a produção de óleo, de modo que se tornem culturas permanentes com volumes constantes e menores preços, evitam a concorrência com as culturas alimentares e podem favorecer o mercado de biocombustíveis. Ainda existe a possibilidade da utilização do sebo bovino a fim de viabilizar o processo de produção, que tem ganhado espaço principalmente na produção de biodiesel.

O HBio pode ser uma forma de equilíbrio de mercado, otimizando os preços de entre o óleo soja e do diesel mineral, pois pela característica de processamento é possível rapidamente aumentar ou reduzir a incorporação do óleo de soja no processo de hidrotratamento das refinarias.

Por outro lado, a produção de óleos exclusivamente direcionados a obtenção de biocombustíveis apresenta dificuldades em sua ampliação devido à insegurança dos investidores apostarem neste tipo de mercado, pois demandaria da certeza desta utilização do consumo se manter e crescer. Assim, o caminho mais rápido para sua viabilização necessitaria de fortes investimentos do governo para financiar e garantir o consumo dos óleos produzidos ou do direcionamento desta produção pela Petrobrás, produzindo seu próprio insumo e garantindo sua aplicação para o processo do HBio.

A dificuldade para efetuar avaliações de viabilidade com diferentes tipos de óleos vegetais ou animais são devidas à ausência de dados experimentais de conversão dos

processos e a estimativa de preços destes insumos se forem produzidos em escala. Tais estudos podem ser feitos complementarmente a este trabalho.

Outro insumo necessário para o processo de produção do HBio considerado é o hidrogênio. Hoje, este ainda apresenta custos elevados e sua produção basicamente depende de fontes não renováveis da rota de petróleo, através da reforma do gás natural. Estudos mostram que esta fonte deve se tornar mais barata no futuro e migrar sua produção para fontes mais limpas de geração, reduzindo o impacto ambiental.

A análise deste trabalho considerou como geração financeira apenas os aspectos diretamente ligados à produção, porém outros parâmetros podem ser considerados na análise econômica do processo de HBio. Por se tratar de um combustível renovável, diminui a geração de gases do efeito estufa, pois a produção de soja consome grande quantidade de CO₂ do ar. No caso dos combustíveis de origem mineral, não existe a reabsorção destas gerações. Este novo combustível poderia, em parte, ser analisada como uma fonte geradora de “créditos de carbono”, reduzindo assim o custo final o HBio. A utilização de hidrogênio através de rotas renováveis também podem contribuir como fonte de geração de créditos de carbono, minimizando ainda mais o custo do processamento.

Ainda no aspecto ambiental, o efeito de diluição do HBio quanto ao enxofre presente no diesel mineral diminui a emissão de compostos sulfurados, reduzindo assim o custo da remoção do enxofre no diesel mineral para atender os protocolos internacionais de padrões de emissão atmosférica, pois a alta concentração destes compostos sulfurados presentes no ar nas grandes cidades ocasionam efeitos prejudiciais à saúde humana, aumentando os custos da saúde pública no país, bem como na incidência de chuvas ácidas, causando danos ambientais.

Outro aspecto que poder melhorar a viabilidade do processo HBio é a liberação de energia devido à reação exotérmica da hidrogenação dos óleos vegetais, que não foi levada em consideração neste trabalho. Este excedente energético poderia ser utilizado para reduzir o custo de aquecimento do óleo vegetal antes de ser incorporado ao processo.

Apesar do HBio não favorecer a produção social em pequena escala, com o incentivo da produção de combustíveis vegetais, a agricultura será favorecida quanto à geração de empregos para a produção de grãos e no processamento de óleo vegetal, melhorando a distribuição de renda e a qualidade de vida nas regiões de plantio. As produções de biocombustíveis por pequenos produtores não se mostra como uma solução significativamente viável, pois os custos de produção acabam se tornando muito altos do que para produções em grandes escalas.

Por esta rota de produção, é possível ter um combustível produzido em escala industrial que atenda a demanda de mercado, com uma viabilidade econômica aceitável, com as vantagens de apresentar menores emissões de enxofre e de gases do efeito estufa e ainda sem a necessidade de modificar construtivamente os equipamentos atuais que utilizam o diesel, tornando-se uma alternativa imediata de substituição parcial.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados fatores que influenciam o custo de produção do HBio, de modo a encontrar situações onde este combustível se tornasse viável economicamente e também fazer um comparativo com a viabilidade do biodiesel.

Os resultados da análise econômica apresentam o HBio como alternativa mais viável que o biodiesel, pois mantendo um mesmo preço do diesel mineral e do óleo vegetal, o custo de produção do HBio é mais baixo.

A produção do HBio não exclui a produção do biodiesel, pois é perfeitamente possível a combinação dos dois processos. O HBio produzido na refinaria pode receber posteriormente a adição de biodiesel, de modo que os dois processos possam coexistir sem impactos à qualidade do combustível final.

Um ponto facilitador ao processo HBio é a simples incorporação da corrente de óleo vegetal em um processo de hidrotreamento de uma refinaria de petróleo atual, não demandando investimentos significativos nas refinarias. Porém, se por um lado é possível utilizar um processo existente em uma refinaria, por outro inviabiliza uma produção dita social, pois uma unidade de hidrotreamento não incorporada ao processo de uma refinaria seria impraticável devido ao alto investimento, impossibilitando produções em pequena escala.

O processo HBio se mostra viável em períodos onde o preço do diesel mineral é alto e o do óleo vegetal é baixo. O óleo utilizado neste estudo foi o de soja, que não se mostra como alternativa satisfatória, pois a concorrência com o mercado de alimentos cria fortes variações do seu preço.

Alternativamente, outros óleos sem a concorrência com o mercado alimentos poderiam ser utilizados, o que demandaria investimentos do governo ou até subsídios da Petrobrás, pois investimentos em uma cultura onde não exista outra forma de utilização demandariam da certeza da existência deste mercado consumidor.

A produção do HBio também pode servir como ferramenta de controle econômico do governo, pois em períodos onde existam grande oferta e pequena demanda dos óleos vegetais é possível o aumento de sua participação, consumindo assim estes excessos de produção, evitando grandes quedas de preço destes óleos e ao mesmo tempo barateando o custo final do diesel.

Alguns pontos podem ser objeto de futuras pesquisas buscando otimizar os custos de produção do HBio, como a geração de créditos de carbono devido à reabsorção do CO₂, a redução do enxofre presente no diesel mineral pela diluição da corrente de diesel mineral e a geração de energia no processo de hidrogenação do óleo vegetal, podendo aumentar a faixa de viabilidade deste combustível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS - ABIOVE. **Estatística Mensal**. São Paulo: 2008, Disponível em: <http://www.abiove.com.br/cotacoes_br.html>, Acesso em: 28 abril 2008.

ALI, Y. HANNA, M. A. Alternative Diesel Fuels From Vegetable Oils. **Bioresource Technology**, Grã Bretanha, v. 50, n. 2 , p. 153-163, jul. 1994.

Agência Nacional de Petróleo - ANP. **Preços de Produtores**. São Paulo: 2008, Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petro/precos_de_produtores.asp>, Acesso em: 28 abril 2008.

Agência Nacional de Petróleo - ANP. **Estruturas de Formação de Preço**. São Paulo: 2008b, Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petro/estrutura_precos.asp>, Acesso em: 28 abril 2008.

Agência Nacional de Petróleo - ANP. **Evolução dos preços do GLP**. São Paulo: 2008c, Disponível em: <http://www.anp.gov.br/doc/Abastecimento/ComparativoMargensGLP_junho_tabela.pdf>, Acesso em: 28 abril 2008.

AGARWAL, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuel for internal combustion engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, p. 233-271, 2007.

BANCO CENTRAL DO BRASIL - BCB. **Taxas de Câmbio**. Disponível em: <<http://www5.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: 02 setembro 2008.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. O Ciclo da Soja: Desempenho da Cultura da Soja entre 1961 e 2003. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro: 2004, Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2003_2.pdf>, Acesso em: 08 julho 2008.

BOUÇAS, C. Petrobrás faz novos estudos sobre a viabilidade do HBio. **Valor Online**, São Paulo, 29 maio 2006. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/agronegocios/179/Petrobras+faz+novos+estudos+sobre+a+viabilidade+do+HBio,,,179,3708072.html?highlight=&newsid=370872&areaid=179&editionid=1892>>, Acesso em: 23 novembro 2007.

BOUÇAS, C. Biodiesel derruba a glicerina. **Valor Online**, São Paulo, 02 maio 2007. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/primeirocaderno/Biodiesel+derruba+a++glicerina,,,62,4289118.html>>, Acesso em: 18 abril 2007.

BOUÇAS, C.; BUENO, S. Aumentam as incertezas no mercado de biodiesel. **Valor Online**, São Paulo, 28 setembro 2007. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/agronegocios/179/Aumentam+as+incertezas++no+mercado+de+biodiesel,,,179,4556823.html?>>>, Acesso em: 23 novembro 2007.

BOZBAS, K. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 12 n. 2, p. 542-552, fev. 2008.

BRASIL. Decreto n. 5.059, de 30 de abril de 2004. Reduz as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes sobre a importação e a comercialização de gasolina, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP) e querosene de aviação. **Lex: Legislação Federal**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/Decretos/2004/dec5059.htm>>, Acesso em: 13 abril 2008.

BRASIL. Decreto n. 5.060, de 30 de abril de 2004. Reduz as alíquotas da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível (CIDE), instituída pela Lei no 10.336, de 19 de dezembro de 2001, e dá outras providências. **Lex: Legislação Federal e marginalia**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/Decretos/2004/dec5060.htm>>, Acesso em: 15 abril 2008.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Preço Médio da Energia Elétrica.** São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=a39ca5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD>>. Acesso em: 18 abr 2008.

CARRAMENHA, F. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da produção de biodiesel em escala industrial no Brasil.** 2007. 386p. Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **Álcool Anidro Combustível – Série de Preços.** Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/xls/Saasemanal.xls>>. Acesso em: 18 abr 2008.

COMMITTEE ON ALTERNATIVES AND STRATEGIES FOR FUTURE HYDROGEN PRODUCTION AND USE. **The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers and R&D Needs.** Washington D. C.: The National Academies Press, 2004. 256 p.

DEL VECCHIO, E., Investimentos em Biodiesel. In.: SEMINARIO INVESTIMENTOS EM BIODIESEL - BNDES, 2006, Rio de Janeiro, **Proceedings.** Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/Biodiesel_DEDINI.pdf>, Acesso em: 15 out 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sementes de Palma / Dendê.** Manaus: 2000. Disponível em: <http://www.cpa.embrapa.br/servicos/livraria/arquivos_gratis/folderdendedesementes.pdf>, Acesso em: 18 julho 2008.

ENGINEERING TOOLBOX. **Material Properties.** 2008. Disponível em: <http://www.engineeringtoolbox.com/material-properties-t_24.html>, Acesso em: 12 janeiro 2008.

ENSTRAT INTERNATIONAL LTD. **Cost of Diesel Fuel Desulphurisation for Different Refinery Structures Typical of the Asian Refining Industry**. 2003, 123p. Disponível em: <www.unep.org/pcfv/PDF/PubADBSulphurReport.pdf>, Acesso em: 15 fevereiro 2008.

FINANSITE. **Histórico de cotações do petróleo**. Disponível em: <http://www.finansite.com.br/petrobras_ri/fs_historico.htm>. Acesso em: 02 setembro 2008.

GOERING, E.; SCHWAB, W.; DAUGHERTY, J.; PRYDE, H.; HEAKIN, J. Fuel properties of eleven vegetable oils. **Transactions of the ASAE**, v. 25. p. 1472-1483, 1982.

GOMES, J. R. **Processo para a Hidroconversão de óleos vegetais**. BR, n. PI 0500591-4 A, 18 fev. 2005, 03 out. 2006.

HUBER, G. W.; O'CONNOR, P.; CORMA, A. Processing biomass in conventional oil refineries: Production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy. **Applied Catalysis**, v. 329, p. 120-129, jul. 2007.

INSTITUTO DE ECONOMIA UFRJ. Projeto: **Matriz Brasileira de Combustíveis**. Rio de Janeiro: GEE/IE/UFRJ, 2006, 170p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Hydrogen Production and Storage**. Paris: OECD/IEA, 2006, 170p. Disponível em: <www.iea.org/Textbase/papers/2006/hydrogen.pdf>, Acesso em: 15 dezembro 2007.

KNOTHE, G. et al., **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2006. 340p.

LÉO, S. É tempo de pensar no combustível do futuro. **Valor Online**, São Paulo, 11 dezembro 2006. Disponível em: <http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/>

primeirocaderno/brasil/E+tempo+de+pensar+no+combustivel+do+futuro,,,63,4047742.html, Acesso em: 23 novembro 2007.

LOVATELLI, C. Perspectivas para soja 2020. In: IASC, 2005, Mumbai. **Anais**. São Paulo, Disponível em: <http://www.abiove.com.br/palestras/abiove_pal_iasc05_br.pdf>, Acesso em: 08 agosto 2008.

MACEDO, G. A; MACEDO, J. A. Produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 32, p. 38-46, jan./jun. 2004.

MANTA, E. B., Os Biocombustíveis e o Planejamento Estratégico da Petrobrás. Investimentos e Oportunidades de Parcerias na Produção e em Infra-Estrutura Logística. In.: ENCONTRO DE NEGÓCIOS DE ENERGIA, 8., 2007, São Paulo, **Anais**, São Paulo, Disponível em: <http://www.encontrodeenergia.com.br/downloads/Palestras/21Junho/Manha/Sala%203/edgard_bobba_manta.pdf>, Acesso em: 08 jan 2008.

MEDINA, H. de. Governo enterra de vez o biodiesel feito só com mamona. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 29 jul. 2008. Caderno dinheiro, p. b6.

MEYERS, R. A. **Handbook of Petroleum Refining Processes**. 3 ed. New York: Mc Graw Hill, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO: Mundial e Brasil até 2016/17**. Brasília: AGE, 2006, 8p., Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/pubacs_cons/ap_download_arquivo?p_file=F1311487130/RESUMO%20EXECUTIVO%20CENARIOS%20DO%20AGRONEGOCIO%20DEZ2006.doc>, Acesso em: 09 novembro 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil – Versão Beta**. Brasília: 2005, Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=2349&download>>, Acesso em: 08 outubro 2007.

NAPPO, M. Biodiesel no Brasil – A Visão da Indústria de Óleos Vegetais. In.: 6 FÓRUM DE DEBATES SOBRE QUALIDADE E USO DE COMBUSTÍVEIS, 2006, Rio de Janeiro, **Proceedings**, 2006, Disponível em: <http://www.abiove.com.br/palestras/abiove_pal_biodiesel_01jun06.pdf>, Acesso em: 01 dezembro 2008.

NELSON, W. L. **Petroleum Refinery Engineering**. Tokio: Mc Graw Hill, 1958. 960p.

PALOMBO, F., Processo HBIO – Produção de Diesel de Fonte Renovável. In.: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 15., 2007, São Paulo, **Proceedings**, São Paulo, SIMEA, 2007.

PARENTE, E. J. S. et al., **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68p.

PETRÓLEO BRASILEIRO S. A - PETROBRÁS. **PROCESSO H-BIO**. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/hbio.asp>>, Acesso em: 15 maio 2007.

POUSA, G. P. A. G; SANTOS, A. L. F, SUAREZ, P. A. Z. History and policy of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5393-5398, nov. 2007.

PRATES, J. P. A diferença entre o H-Bio e o Biodiesel. **Globo Online**, São Paulo, 04 julho 2006. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/diferenca-hbio-biodiesel-04-07-06.htm> , Acesso em: 21 novembro 2007.

REIS, P. F. I.; SABA, C. A Petrobras e a Infra-estrutura de Abastecimento para a Economia do Hidrogênio no Brasil. In.: 4 WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE HIDROGÊNIO E CÉLULAS A COMBUSTÍVEL, 2008, Campinas, **Proceedings**, Campinas, WICaC, 2008.

ROCHA FILHO, G. N.; BRODZKY, D.; DJEGA-MARIADASSOU, G. Formation of Alkylcycloalcanes and alkylbenzenes during the catalytic hydrocracking of vegetable oils. **Fuels**, n. 72, p. 543-549, 1993.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS – SBRT / USP. **Diferenciação entre biodiesel e H-BIO e informações de mercado**. São Paulo: 2006, Disponível em: <<http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt5709.pdf?PHPSESSID=88b1b4d2cd3443f5ba7c6b29362aed16>>, Acesso em: 12 janeiro 2008.

SILVA, C. S. Comportamento dos preços da Gasolina e Diesel: Livre Mercado ou Intervenção Política. **Petróleo & Gás Brasil**, Rio de Janeiro, Jan 2004. Disponível em:<<http://www.ie.ufrj.br/infopetro/>>. Acesso em: 14 agosto 2008.

SIMBECK, D.; CHANG, E. **Hydrogen Supply: Cost Estimate for Hydrogen Pathways – Scoping Analysis** . California, National Renewable Energy Laboratory, 2002. 27p.

8. ANEXOS

ANEXO A - PREÇO HISTÓRICO DO DIESEL

Período	Diesel Produção s/ ICMS (R\$/L)	Óleo Bruto s/ PIS/PASEP E CIDE (R\$/L)	Período	Diesel Produção s/ ICMS (R\$/L)	Óleo Bruto s/ PIS/PASEP E CIDE (R\$/L)
jan/02	0,549	0,432	set/05	1,326	1,209
fev/02	0,561	0,444	out/05	1,355	1,238
mar/02	0,583	0,466	nov/05	1,356	1,239
abr/02	0,624	0,507	dez/05	1,352	1,235
mai/02	0,644	0,526	jan/06	1,353	1,236
jun/02	0,656	0,538	fev/06	1,356	1,238
jul/02	0,716	0,598	mar/06	1,358	1,240
ago/02	0,717	0,600	abr/06	1,358	1,240
set/02	0,720	0,602	mai/06	1,357	1,240
out/02	0,727	0,610	jun/06	1,356	1,239
nov/02	0,868	0,751	jul/06	1,357	1,239
dez/02	0,973	0,856	ago/06	1,359	1,242
jan/03	1,050	0,932	set/06	1,360	1,242
fev/03	1,055	0,938	out/06	1,358	1,240
mar/03	1,058	0,941	nov/06	1,358	1,241
abr/03	1,041	0,923	dez/06	1,358	1,241
mai/03	0,968	0,850	jan/07	1,358	1,241
jun/03	0,967	0,850	fev/07	1,360	1,242
jul/03	0,966	0,848	mar/07	1,358	1,240
ago/03	0,963	0,845	abr/07	1,361	1,243
set/03	0,963	0,846	mai/07	1,361	1,243
out/03	0,962	0,845	jun/07	1,361	1,244
nov/03	0,963	0,845	jul/07	1,362	1,245
dez/03	0,962	0,845	ago/07	1,363	1,246
jan/04	0,963	0,845	set/07	1,364	1,247
fev/04	0,966	0,848	out/07	1,364	1,247
mar/04	0,967	0,850	nov/07	1,367	1,250
abr/04	0,966	0,849	dez/07	1,370	1,252
mai/04	0,969	0,852	jan/08	1,371	1,253
jun/04	1,026	0,908	fev/08	1,372	1,255
jul/04	1,051	0,934	mar/08	1,376	1,258
ago/04	1,051	0,933	abr/08	1,389	1,272
set/04	1,051	0,933	mai/08	1,507	1,390
out/04	1,078	0,961	jun/08	1,510	1,393
nov/04	1,124	1,006			
dez/04	1,186	1,068			
jan/05	1,182	1,064			
fev/05	1,185	1,067			
mar/05	1,186	1,069			
abr/05	1,184	1,067			
mai/05	1,211	1,093			
jun/05	1,211	1,094			
jul/05	1,211	1,094			
ago/05	1,211	1,094			

ANEXO B - PREÇO HISTÓRICO DO ÓLEO VEGETAL

Período	Óleo Bruto (R\$/t)	Óleo Bruto s/ ICMS (R\$/kg)	Óleo Bruto s/ ICMS (R\$/L)	Período	Óleo Bruto (R\$/t)	Óleo Bruto s/ ICMS (R\$/kg)	Óleo Bruto s/ ICMS (R\$/L)
jan/02	1.040,00	0,929	0,854	nov/05	1.178,00	1,052	0,968
fev/02	932,50	0,833	0,766	dez/05	1.172,00	1,046	0,963
mar/02	860,00	0,768	0,706	jan/06	1.142,50	1,020	0,938
abr/02	896,25	0,800	0,736	fev/06	1.145,00	1,022	0,941
mai/02	1.041,60	0,930	0,856	mar/06	1.212,00	1,082	0,996
jun/02	1.272,50	1,136	1,045	abr/06	1.136,25	1,015	0,933
jul/02	1.332,50	1,190	1,095	mai/06	1.260,00	1,125	1,035
ago/02	1.669,00	1,490	1,371	jun/06	1.297,00	1,158	1,065
set/02	1.837,50	1,641	1,509	jul/06	1.285,00	1,147	1,056
out/02	2.082,00	1,859	1,710	ago/06	1.350,00	1,205	1,109
nov/02	2.252,50	2,011	1,850	set/06	1.341,25	1,198	1,102
dez/02	2.341,25	2,090	1,923	out/06	1.405,00	1,254	1,154
jan/03	2.004,00	1,789	1,646	nov/06	1.682,00	1,502	1,382
fev/03	2.037,50	1,819	1,674	dez/06	1.757,50	1,569	1,444
mar/03	1.942,50	1,734	1,596	jan/07	1.667,50	1,489	1,370
abr/03	1.800,00	1,607	1,479	fev/07	1.510,00	1,348	1,240
mai/03	1.674,00	1,495	1,375	mar/07	1.487,50	1,328	1,222
jun/03	1.660,00	1,482	1,364	abr/07	1.537,00	1,372	1,263
jul/03	1.642,00	1,466	1,349	mai/07	1.622,00	1,448	1,332
ago/03	1.576,25	1,407	1,295	jun/07	1.740,00	1,554	1,429
set/03	1.655,00	1,478	1,359	jul/07	1.757,50	1,569	1,444
out/03	1.936,00	1,729	1,590	ago/07	1.930,00	1,723	1,585
nov/03	1.962,50	1,752	1,612	set/07	1.935,00	1,728	1,589
dez/03	1.997,50	1,783	1,641	out/07	2.010,00	1,795	1,651
jan/04	1.974,00	1,763	1,622	nov/07	2.307,50	2,060	1,895
fev/04	2.300,00	2,054	1,889	dez/07	2.306,67	2,060	1,895
mar/04	2.235,00	1,996	1,836	jan/08	2.518,00	2,248	2,068
abr/04	2.130,00	1,902	1,750	fev/08	2.802,50	2,502	2,302
mai/04	2.010,00	1,795	1,651	mar/08	2.857,50	2,551	2,347
jun/04	1.812,50	1,618	1,489	abr/08	2.765,00	2,469	2,271
jul/04	1.826,40	1,631	1,500	mai/08	2.652,50	2,368	2,179
ago/04	1.823,50	1,628	1,498	jun/08	2.526,25	2,256	2,075
set/04	1.802,80	1,610	1,481				
out/04	1.627,25	1,453	1,337				
nov/04	1.570,00	1,402	1,290				
dez/04	1.530,00	1,366	1,257				
jan/05	1.523,75	1,360	1,252				
fev/05	1.335,00	1,192	1,097				
mar/05	1.561,00	1,394	1,282				
abr/05	1.455,00	1,299	1,195				
mai/05	1.300,00	1,161	1,068				
jun/05	1.273,00	1,137	1,046				
jul/05	1.263,75	1,128	1,038				
ago/05	1.222,50	1,092	1,004				
set/05	1.214,00	1,084	0,997				
out/05	1.207,50	1,078	0,992				

ANEXO C – MODELO DE PLANILHA DE SIMULAÇÃO

Dados Globais

Preço Energia (R\$/kWh)	0,0941
Preço Hidrogênio (R\$/kg)	4,3900
Preço Etanol (R\$/kg)	1,0100
Preço Glicerina (R\$/kg)	1,6000

Simulação

Preço Diesel Mineral (R\$/L)	0,4320
Custo Processo Hidrotratamento	10%

Frações na Composição 7

x _{dm}	0,8730
x _{hbio}	0,0970
x _{biod}	0,0300
	1,0000

Preço Óleo Soja (R\$/L)	Preço Fração DM (R\$/L)	Preço Fração HBio (R\$/L)	Preço Fração Biodiesel (R\$/L)	Preço Final (R\$/L)
0,50	0,3771	0,0599	0,0233	0,4604
0,60	0,3771	0,0696	0,0266	0,4733
0,70	0,3771	0,0793	0,0298	0,4862
0,80	0,3771	0,0890	0,0331	0,4992
0,90	0,3771	0,0987	0,0363	0,5121
1,00	0,3771	0,1084	0,0395	0,5251
1,10	0,3771	0,1181	0,0428	0,5380
1,20	0,3771	0,1278	0,0460	0,5509
1,30	0,3771	0,1375	0,0493	0,5639
1,40	0,3771	0,1472	0,0525	0,5768
1,50	0,3771	0,1569	0,0557	0,5898
1,60	0,3771	0,1666	0,0590	0,6027
1,70	0,3771	0,1763	0,0622	0,6156
1,80	0,3771	0,1860	0,0655	0,6286
1,90	0,3771	0,1957	0,0687	0,6415
2,00	0,3771	0,2054	0,0719	0,6545
2,10	0,3771	0,2151	0,0752	0,6674
2,20	0,3771	0,2248	0,0784	0,6803
2,30	0,3771	0,2345	0,0817	0,6933
2,40	0,3771	0,2442	0,0849	0,7062
2,50	0,3771	0,2539	0,0881	0,7192

ANEXO D – SÍNTESE DAS SIMULAÇÕES

Diesel Mineral: R\$ 0,432

Preço Óleo Soja (R\$/L)	DM (R\$/L)	B2 (R\$/L)	B5 (R\$/L)	HB10 (R\$/L)	HB18 (R\$/L)	HB10+B2 (R\$/L)	HB10+B5 (R\$/L)
0,50	0,4320	0,4424	0,4493	0,4666	0,4505	0,4653	0,4604
0,60	0,4320	0,4456	0,4547	0,4774	0,4605	0,4833	0,4733
0,70	0,4320	0,4489	0,4601	0,4882	0,4705	0,5013	0,4862
0,80	0,4320	0,4521	0,4655	0,4990	0,4805	0,5193	0,4992
0,90	0,4320	0,4553	0,4709	0,5098	0,4905	0,5373	0,5121
1,00	0,4320	0,4586	0,4763	0,5206	0,5005	0,5553	0,5251
1,10	0,4320	0,4618	0,4817	0,5314	0,5105	0,5733	0,5380
1,20	0,4320	0,4651	0,4871	0,5422	0,5205	0,5913	0,5509
1,30	0,4320	0,4683	0,4925	0,5530	0,5305	0,6093	0,5639
1,40	0,4320	0,4715	0,4979	0,5638	0,5405	0,6273	0,5768
1,50	0,4320	0,4748	0,5033	0,5746	0,5505	0,6453	0,5898
1,60	0,4320	0,4780	0,5087	0,5854	0,5605	0,6633	0,6027
1,70	0,4320	0,4813	0,5141	0,5962	0,5705	0,6813	0,6156
1,80	0,4320	0,4845	0,5195	0,6070	0,5805	0,6993	0,6286
1,90	0,4320	0,4877	0,5249	0,6178	0,5905	0,7173	0,6415
2,00	0,4320	0,4910	0,5303	0,6286	0,6005	0,7353	0,6545
2,10	0,4320	0,4942	0,5357	0,6394	0,6105	0,7533	0,6674
2,20	0,4320	0,4975	0,5411	0,6502	0,6205	0,7713	0,6803
2,30	0,4320	0,5007	0,5465	0,6610	0,6305	0,7893	0,6933
2,40	0,4320	0,5039	0,5519	0,6718	0,6405	0,8073	0,7062
2,50	0,4320	0,5072	0,5573	0,6826	0,6505	0,8253	0,7192

Diesel Mineral: R\$ 1,021

Preço Óleo Soja (R\$/L)	DM (R\$/L)	B2 (R\$/L)	B5 (R\$/L)	HB10 (R\$/L)	HB18 (R\$/L)	HB10+B2 (R\$/L)	HB10+B5 (R\$/L)
0,50	1,0210	1,0137	1,0089	0,9967	0,9865	0,9589	0,9803
0,60	1,0210	1,0170	1,0143	1,0075	0,9965	0,9769	0,9932
0,70	1,0210	1,0202	1,0197	1,0183	1,0065	0,9949	1,0061
0,80	1,0210	1,0234	1,0251	1,0291	1,0165	1,0129	1,0191
0,90	1,0210	1,0267	1,0305	1,0399	1,0265	1,0309	1,0320
1,00	1,0210	1,0299	1,0359	1,0507	1,0365	1,0489	1,0450
1,10	1,0210	1,0332	1,0413	1,0615	1,0465	1,0669	1,0579
1,20	1,0210	1,0364	1,0467	1,0723	1,0565	1,0849	1,0708
1,30	1,0210	1,0396	1,0521	1,0831	1,0665	1,1029	1,0838
1,40	1,0210	1,0429	1,0575	1,0939	1,0765	1,1209	1,0967
1,50	1,0210	1,0461	1,0629	1,1047	1,0865	1,1389	1,1097
1,60	1,0210	1,0494	1,0683	1,1155	1,0965	1,1569	1,1226
1,70	1,0210	1,0526	1,0737	1,1263	1,1065	1,1749	1,1355
1,80	1,0210	1,0558	1,0791	1,1371	1,1165	1,1929	1,1485
1,90	1,0210	1,0591	1,0845	1,1479	1,1265	1,2109	1,1614
2,00	1,0210	1,0623	1,0899	1,1587	1,1365	1,2289	1,1744
2,10	1,0210	1,0656	1,0953	1,1695	1,1465	1,2469	1,1873
2,20	1,0210	1,0688	1,1007	1,1803	1,1565	1,2649	1,2002
2,30	1,0210	1,0720	1,1061	1,1911	1,1665	1,2829	1,2132
2,40	1,0210	1,0753	1,1115	1,2019	1,1765	1,3009	1,2261
2,50	1,0210	1,0785	1,1169	1,2127	1,1865	1,3189	1,2391

Diesel Mineral: R\$ 1,393

Preço Óleo Soja (R\$/L)	DM (R\$/L)	B2 (R\$/L)	B5 (R\$/L)	HB10 (R\$/L)	HB18 (R\$/L)	HB10+B2 (R\$/L)	HB10+B5 (R\$/L)
0,50	1,3930	1,3746	1,3623	1,3315	1,3250	1,2707	1,3086
0,60	1,3930	1,3778	1,3677	1,3423	1,3350	1,2887	1,3216
0,70	1,3930	1,3810	1,3731	1,3531	1,3450	1,3067	1,3345
0,80	1,3930	1,3843	1,3785	1,3639	1,3550	1,3247	1,3474
0,90	1,3930	1,3875	1,3839	1,3747	1,3650	1,3427	1,3604
1,00	1,3930	1,3908	1,3893	1,3855	1,3750	1,3607	1,3733
1,10	1,3930	1,3940	1,3947	1,3963	1,3850	1,3787	1,3863
1,20	1,3930	1,3972	1,4001	1,4071	1,3950	1,3967	1,3992
1,30	1,3930	1,4005	1,4055	1,4179	1,4050	1,4147	1,4121
1,40	1,3930	1,4037	1,4109	1,4287	1,4150	1,4327	1,4251
1,50	1,3930	1,4070	1,4163	1,4395	1,4250	1,4507	1,4380
1,60	1,3930	1,4102	1,4217	1,4503	1,4350	1,4687	1,4510
1,70	1,3930	1,4134	1,4271	1,4611	1,4450	1,4867	1,4639
1,80	1,3930	1,4167	1,4325	1,4719	1,4550	1,5047	1,4768
1,90	1,3930	1,4199	1,4379	1,4827	1,4650	1,5227	1,4898
2,00	1,3930	1,4232	1,4433	1,4935	1,4750	1,5407	1,5027
2,10	1,3930	1,4264	1,4487	1,5043	1,4850	1,5587	1,5157
2,20	1,3930	1,4296	1,4541	1,5151	1,4950	1,5767	1,5286
2,30	1,3930	1,4329	1,4595	1,5259	1,5050	1,5947	1,5415
2,40	1,3930	1,4361	1,4649	1,5367	1,5150	1,6127	1,5545
2,50	1,3930	1,4394	1,4703	1,5475	1,5250	1,6307	1,5674

Diesel Mineral: R\$ 1,672

Preço Óleo Soja (R\$/L)	DM (R\$/L)	B2 (R\$/L)	B5 (R\$/L)	HB10 (R\$/L)	HB18 (R\$/L)	HB10+B2 (R\$/L)	HB10+B5 (R\$/L)
0,50	1,6720	1,6452	1,6273	1,5826	1,5789	1,5045	1,5549
0,60	1,6720	1,6484	1,6327	1,5934	1,5889	1,5225	1,5678
0,70	1,6720	1,6517	1,6381	1,6042	1,5989	1,5405	1,5808
0,80	1,6720	1,6549	1,6435	1,6150	1,6089	1,5585	1,5937
0,90	1,6720	1,6581	1,6489	1,6258	1,6189	1,5765	1,6067
1,00	1,6720	1,6614	1,6543	1,6366	1,6289	1,5945	1,6196
1,10	1,6720	1,6646	1,6597	1,6474	1,6389	1,6125	1,6325
1,20	1,6720	1,6679	1,6651	1,6582	1,6489	1,6305	1,6455
1,30	1,6720	1,6711	1,6705	1,6690	1,6589	1,6485	1,6584
1,40	1,6720	1,6743	1,6759	1,6798	1,6689	1,6665	1,6714
1,50	1,6720	1,6776	1,6813	1,6906	1,6789	1,6845	1,6843
1,60	1,6720	1,6808	1,6867	1,7014	1,6889	1,7025	1,6972
1,70	1,6720	1,6841	1,6921	1,7122	1,6989	1,7205	1,7102
1,80	1,6720	1,6873	1,6975	1,7230	1,7089	1,7385	1,7231
1,90	1,6720	1,6905	1,7029	1,7338	1,7189	1,7565	1,7361
2,00	1,6720	1,6938	1,7083	1,7446	1,7289	1,7745	1,7490
2,10	1,6720	1,6970	1,7137	1,7554	1,7389	1,7925	1,7619
2,20	1,6720	1,7003	1,7191	1,7662	1,7489	1,8105	1,7749
2,30	1,6720	1,7035	1,7245	1,7770	1,7589	1,8285	1,7878
2,40	1,6720	1,7067	1,7299	1,7878	1,7689	1,8465	1,8008
2,50	1,6720	1,7100	1,7353	1,7986	1,7789	1,8645	1,8137