



A INSERÇÃO DO BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL:
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS, AMBIENTAIS E INSTITUCIONAIS

Angela Oliveira da Costa

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa

Rio de Janeiro

Abril de 2017

A INSERÇÃO DO BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL:
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS, AMBIENTAIS E INSTITUCIONAIS

Angela Oliveira da Costa

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, Ph.D.

Prof. Neilton Fidélis da Silva, D. Sc.

Dr. Luciano Basto Oliveira, D.Sc.

Profª. Adriana Fiorotti Campos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2017

Costa, Angela Oliveira da

A Inserção do Biodiesel na Matriz Energética Nacional:
Aspectos Socioeconômicos, Ambientais e Institucionais/
Angela Oliveira da Costa – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE,
2017.

XV, 248 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Planejamento Energético, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 217-248.

1. Biodiesel. 2. Energia. 3. Planejamento. I. Rosa, Luiz
Pinguelli. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Dedicatória

*À minha filha Isabel, por tanto amor.
À minha mãe Neuza e ao meu pai Adilson, pelo sonhar e por tudo que
pude ser.*

Agradecimentos

Ao meu orientador Luiz Pinguelli Rosa, pelo privilégio de conviver com um exemplo admirável e coerente em toda sua trajetória. Orgulha-me compartilhar de suas opiniões.

À minha família, cujos laços de sangue confundem-se com os da alma e que, nos momentos bons e nos difíceis, sempre me incentivou.

A Isabel, filha querida da minha alma, pela luz, alegria, amor e pelo vir-a-ser.

A meus pais Neuza e Adilson, por me sentir protegida, acompanhada e pertencida, mesmo nos momentos da solidão necessária.

A Léo, pelos sonhos que tornamos vida e pelo maior deles: nossa menina.

A minhas irmãs Mariza e Gisele e a meu irmão Gerson: pelo amor, pelos ombros e ouvidos e pela cumplicidade. À Mariza, especialmente, por ser a Dinda maravilhosa que preencheu com alegria os momentos em que precisei me ausentar.

Aos meus sobrinhos Lucas, Letícia, Beatriz, Guilherme, Gabriela, Larissa, Luiza, Gabriel e Carolina: pelo amor, pelos sorrisos e pelos momentos invariavelmente felizes.

A minhas avós Nilza, Gina e a meu avô Bento, que me ensinaram que a vida é bela e bênção, ainda que dura.

Aos amigos Neilton, Luciano, Rachel e Sylvia, por me fazerem acreditar ser possível e por não cansarem de me incentivar. Especialmente a Neilton e Luciano pela troca constante de ideias e por terem estado sempre disponíveis.

À Rachel Henriques, irmã que a vida me deu, pela generosidade sem limites, pelo apoio constante em todos os momentos e por #tamojuntoemisturado.

A Neilton Fidélis, educador admirável, por me indicar o caminho da saída. Agradeço pelos debates enriquecedores a esse amigo-irmão-gêmeo-nordestino-porreta que ganhei de presente e que arrancou da vida, com coragem, o conhecimento e a sabedoria que lhe cabiam ser por direito.

Ao saudoso professor Expedito Parente, pelo entusiasmo contagiante, que contribuiu para a escolha do caminho a ser trilhado.

Aos amigos de toda a vida Edson Montez, Vanessa Trindade, Marcelo Pércia, Márcio Marques, Mauro Evangelho, Carlos Estevam, Maria Angélica, Márcia Jones, Raquel Borges, Denilson Batista, Regina Fernandes, Juliana Rangel e Patrícia Stelling, por estarem presentes nos momentos precisos. Agradeço a todos pelo estímulo e pela torcida.

Aos amigos Sara Macedo e Alcides Santoro, pelo apoio, discussões e pela leitura deste trabalho.

Aos amigos Bianca Nunes, Carla Achão, Daniel Stilpen, Luciana Paz, Marina Ribeiro e Rafael Araujo, que, cada um a seu modo, apoiaram-me nessa empreitada.

Aos funcionários do Programa de Planejamento Energético, especialmente à Sandra Bernardo e Paulo Feijó, pelo carinho e ajuda em todos os momentos.

À secretária executiva da COPPE, Fátima Alexandre, por associar doçura e gentileza à eficiência.

Ao ensino público de qualidade. Em especial aos mestres que contribuíram para toda a minha formação, os da Escola Municipal Rotary de Nova Iguaçu, Escola Estadual Presidente Castelo Branco, Escola Técnica Federal de Química do Rio de Janeiro e Universidade Federal do Rio de Janeiro. Por evidenciarem que uma educação libertadora é o caminho para a construção de uma sociedade mais justa, fraterna e solidária, que busca a igualdade de acesso às oportunidades e a redução da desigualdade social.

Gratidão a Deus pela família que tenho, o lar que construí e os amigos que me abençoam.

No início da década de 80, ainda que sem saber, uma mulher miúda, doce e valente nos ensinava a delicada e evidente relação entre energia, meio ambiente e desenvolvimento. O botijão de gás que não dava pra família até o salário do próximo mês impunha a diversificação da nossa cesta de insumos. Partíamos, então, pra catar a lenha e os gravetos pelos quintais à nossa volta, e era divertido. Qualquer quantidade de querosene ou álcool ficava pra esquentar a comida do pai que chegava tarde da noite do trabalho. Bem longe da gente, é claro, porque isso não é coisa pra criança. O balde d'água no sol pra tomar banho morno também aprendi lá, num tempo que era outro. A água e sua importância em nossas vidas. Carregar com os irmãos minha latinha, atrás da mãe com a dela pela nossa escada interminável, exponenciou a felicidade de ter água na torneira vez em quando. A economia dessa água pra lavar a louça e o reuso das águas pro banheiro. O lixo separado pra reduzir seu volume, a compostagem das cascas de legumes pra usar na nossa horta, tudo veio de lá de criança, com eles. E ficou indelevelmente marcado em minha memória. Além de imensamente felizes, éramos ambientalistas e não sabíamos.

Pela menina que me acompanha desde então - Angela

*“A Criança Eterna acompanha-me sempre.
A direção do meu olhar é o seu dedo apontando.”
Alberto Caeiro - Fernando Pessoa*

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

A INSERÇÃO DO BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL:
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS, AMBIENTAIS E INSTITUCIONAIS

Angela Oliveira da Costa

Abril/2017

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa

Programa: Planejamento Energético

O trabalho orienta-se pelo ambiente de interesse na expansão da produção e uso dos biocombustíveis no Brasil, em particular o biodiesel. Objetiva a apreensão dos elementos que norteiam o desenvolvimento das fontes renováveis de energia. Avalia as condicionantes que levaram a indústria mundial de petróleo a estabelecer-se sobre uma base tecnológica centralizada em sua produção, viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia. Discute o processo de estruturação do mercado nacional de petróleo, apontando que a participação do diesel no consumo final de energia torna o biodiesel uma alternativa oportuna para o planejamento energético nacional. Expõe os determinantes do esgotamento do modelo de expansão do mercado de petróleo, mostrando que é da instabilidade geopolítica e, mais recentemente, do impacto ambiental, que viabilizam-se as ações para aproveitamento dos biocombustíveis. Descreve os arranjos institucionais de fomento aos biocombustíveis. Detalha o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), analisando os aspectos econômicos, ambientais, sociais e regionais. Avalia quais matérias-primas da produção de biodiesel devem ter seu aproveitamento energético priorizado, através de metodologia de análise multicritério. A pesquisa apresenta algumas oportunidades para a ampliação sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

THE BIODIESEL INSERTION IN THE BRAZILIAN ENERGY MATRIX:
SOCIO-ECONOMICAL, ENVIRONMENTAL AND INSTITUTIONAL ASPECTS

Angela Oliveira da Costa

April/2017

Advisor: Luiz Pinguelli Rosa

Department: Energy Planning

The work has its core guided by the atmosphere of interest in the expansion of the production and use of the biofuels in Brazil, particularly the biodiesel. It aims to contribute for the apprehension of the elements that guide the development of the renewable energy sources. It makes an evaluation of the technical and economical variables that led the world oil industry's to be established over a technological basis centralized in its production, made viable by a monopolistic institutional arrangement, vertically integrated in the whole chain. It discusses the Brazilian oil market's structuration process, showing that the share of the diesel in the final energy consumption makes biodiesel as an appropriate alternative to the national energy planning. It exposes the decisive elements of the oil sector's expansion model exhaustion and it shows that the geopolitical instability, and, more recently, the environmental impacts, that fomented the actions for the expansion of the production and use of biofuels. It describes the institutional arrangements used to promote biofuels. The research details the Brazilian Program of Production and Use of Biodiesel (PNPB), analyzing the economic, environmental, social and regional aspects. It also evaluates which raw materials sources of the biodiesel production should be prioritized, through a methodology of multicriteria analysis. The research presents some opportunities for the expansion of sustainable production and use of biodiesel in Brazil.

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Formação do Mercado Mundial de Petróleo	9
2.1	Introdução	9
2.2	Evolução do Uso dos Recursos Energéticos.....	10
2.3	Formação da Indústria Mundial de Petróleo.....	19
2.3.1	A Indústria Mundial de Petróleo	19
2.3.2	O Surgimento: Competição Predatória.....	20
2.3.3	A Atuação de Rockefeller: Verticalização e Oligopolização	21
2.3.4	Internacionalização e Surgimento de Novos Atores.....	23
2.3.5	Competição Oligopólica: Concessões, Consórcios e Cartel.....	26
2.3.6	Surgimento das Estatais e Renegociação das Concessões.....	29
2.3.7	Os Choques do Petróleo: Era da OPEP e Instabilidade da IMP	31
2.3.8	Do Contra-Choque do Petróleo aos Dias Atuais	35
2.4	Formação e Evolução da Indústria Brasileira de Petróleo	39
2.4.1	Formação da Indústria Brasileira de Petróleo.....	39
2.4.2	A Criação da Petrobras e o Monopólio Estatal	43
2.4.3	Da Lei do Petróleo – Lei 9.478/1997 aos dias atuais	48
2.5	O Petróleo e seus Derivados na Matriz Energética.....	51
2.5.1	Energia no Mundo	52
2.5.2	A Matriz Energética Brasileira	56
2.6	Conclusões	62
3	Das Instabilidades do Mercado de Petróleo ao Ambiente Favorável à Promoção dos Biocombustíveis.....	66
3.1	Introdução	66
3.2	O Esgotamento do Modelo de Expansão do Mercado de Petróleo.....	67
3.3	A Indústria Petrolífera e as Oportunidades para os Biocombustíveis.....	71
3.3.1	Aspectos Político-Econômicos	72
3.3.2	Aspectos Ambientais	75
3.3.3	Aspectos Sociais	79
3.3.4	Outros Aspectos.....	81
3.4	As alternativas para os Biocombustíveis Líquidos: Etanol e Biodiesel.....	83
3.4.1	Biodiesel	83
3.4.2	Etanol.....	84
3.4.3	O Mercado Mundial de Biocombustíveis.....	87
3.5	Arcabouço Institucional Orientado à Promoção dos Biocombustíveis	93

3.5.1	Estados Unidos	94
3.5.2	União Europeia.....	97
3.6	A Política Energética Nacional.....	99
3.6.1	Proálcool.....	100
3.6.2	Proóleo.....	104
3.6.3	Programa Nacional de Florestas Energéticas	105
3.6.4	Proinfra	106
3.6.5	Pro biodiesel	107
3.6.6	Política Nacional sobre Mudança do Clima	108
3.6.7	Plano Nacional de Agroenergia.....	109
3.6.8	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	111
3.6.9	Outros Instrumentos	117
3.7	Conclusões	119
4	Estado da Arte das Tecnologias de Produção de Biodiesel.....	122
4.1	Introdução	122
4.2	Combustível para o Motor Diesel.....	123
4.3	Rotas de Produção	125
4.3.1	Esterificação	126
4.3.2	Transesterificação.....	127
4.3.3	Outras alternativas	136
4.3.4	Coprodutos	139
4.4	Panorama Mundial da Produção e Uso de Biodiesel.....	143
4.4.1	Estados Unidos	144
4.4.2	Alemanha.....	147
4.4.3	Argentina	149
4.4.4	França	151
4.5	A Experiência Brasileira	153
4.5.1	Aspectos Econômicos.....	157
4.5.2	Aspectos Ambientais	161
4.5.3	Aspectos Sociais.....	163
4.5.4	Aspectos Regionais	168
4.6	Conclusões	171
5	Lições e Aprendizados para a Ampliação dos Benefícios da Inserção de Biodiesel na Matriz Energética Nacional	176
5.1	Introdução	176
5.2	Diagnóstico do PNPB	176
5.3	Estudo de Caso: Avaliação da Sustentabilidade da Produção de Biodiesel no Brasil	179

5.3.1	Sustentabilidade.....	179
5.3.2	Análise Multicritério	184
5.3.3	Elaboração do Modelo DEA.....	187
5.3.4	Restrições aos pesos das variáveis.....	191
5.3.5	Resultados.....	193
5.3.6	Matérias-primas da Produção de Biodiesel no Brasil - Comparação entre o inicialmente proposto, o realizado e o sugerido pelo estudo de caso	196
5.4	Oportunidades de ampliação sustentável da produção de biodiesel	197
5.5	Conclusões	204
6	Considerações Finais	206
7	Referências Bibliográficas.....	217

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel	132
Figura 2 – Esquema de processo do H-Bio	139
Figura 3 – Impacto nas emissões de poluentes para misturas de biodiesel	162

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Oferta de Energia Primária no Mundo por Fonte – 1973-2014	53
Tabela 2 - Consumo Final de Energia no Mundo por Fonte - 1973-2014	54
Tabela 3 - Consumo Final de Petróleo no Mundo por Setor – 1973-2014.....	55
Tabela 4- Consumo de derivados de petróleo no mundo por tipo (%), 2014.....	56
Tabela 5 - Produção mundial de biocombustíveis 2005-2015 (bilhões de litros)	87
Tabela 6 – Características de Culturas Oleaginosas.....	142
Tabela 7 - Produção mundial de biodiesel 2005-2015 (bilhões de litros).....	143
Tabela 8 – Participação de glicerina (exportada Brasil / coproduto do biodiesel).....	158
Tabela 9 – Redução de MP2,5 versus Potencial anual de variação da mortalidade e morbidade na Região Metropolitana de São Paulo	163
Tabela 10 - Número de cooperativas fornecedoras nos arranjos do SCS 2008-2015 ..	164
Tabela 11 – Aquisição para biodiesel em arranjos do SCS, por matéria-prima 2008-2015	167
Tabela 12 – Dados corrigidos sobre insumos para alternativas de composição do biodiesel.....	191
Tabela 13 – Resultados do Modelo COM e SEM Restrições aos Pesos Virtuais	193
Tabela 14 – Priorização dos Insumos Graxos para o PNPB - Comparação entre estudos	195
Tabela 15 – Benefícios do consumo de biodiesel	201

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução da Oferta de Energia Primária no Mundo - 1972 a 2014.....	52
Gráfico 2 - Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Mundo - 2014.....	55
Gráfico 3 - Evolução da Oferta Interna da Energia no Brasil - 1973-2015.....	57
Gráfico 4 - Fontes na Matriz Energética Nacional – 2015.....	57
Gráfico 5 - Evolução da Dependência Externa de Energia - 1970-2015.....	58
Gráfico 6 - Consumo Final de Energia por Fonte, Brasil - 2015.	59
Gráfico 7 - Consumo Final de Energia por Setor (%), Brasil – 2015.	60
Gráfico 8 - Consumo de Energia no Setor de Transportes, Brasil – 2015.	60
Gráfico 9 – Consumo de Derivados de Petróleo por Setor (%) - 2015	61
Gráfico 10- Consumo de Derivados de Petróleo por Fonte, Brasil - 2015.....	61
Gráfico 11 - Consumo de Diesel por Setor, Brasil - 2015.....	62
Gráfico 12 – Produção Mundial de Biocombustíveis 2000-2015 (bilhões de litros)....	87
Gráfico 13- Produção, consumo carburante e balanço de etanol nos EUA (10 ⁶ L)	89
Gráfico 14- Capacidade Instalada de Produção de Etanol - Estados Unidos (bi L/ano)	89
Gráfico 15– Demanda de Gasolina - Estados Unidos (bilhões de litros).....	90
Gráfico 16 – Licenciamentos de veículos leves – 2000-2015	91
Gráfico 17 – Produção brasileira de etanol – 200-2015	92
Gráfico 18 – Demanda de Combustíveis da Frota de Veículos Leves do Ciclo Otto	92
Gráfico 19 – Balanço nacional de etanol.....	93
Gráfico 20 – Consumo de biocombustíveis por tipo - RFS.....	96
Gráfico 21 - Produção, consumo e balanço de biodiesel nos EUA – 2001-2015.....	147
Gráfico 22 – Produção e consumo de biodiesel na Alemanha – 2003-2015.....	148
Gráfico 23 – Produção e consumo de biodiesel na Argentina – 2006-2015	150
Gráfico 24 – Produção e consumo de biodiesel na França – 2006-2015	152
Gráfico 25 – Leilões de biodiesel ANP – Preços (R\$/m ³) e Volumes (m ³)	153
Gráfico 26 – Demanda nacional de biodiesel 2005-2015.....	154
Gráfico 27 – Capacidade instalada vs Demanda de biodiesel no Brasil - 2005-2015..	155
Gráfico 28 – Matérias-primas da Produção nacional de biodiesel 2005-2015	156
Gráfico 29 – Importação de diesel 2005-2015	157
Gráfico 30 – Produção e Exportação de glicerina 2005-2015.....	158
Gráfico 31 – Importação de metanol 2005-2015.....	159
Gráfico 32 – Perda de receita - Exportação de óleo de soja 2005-2015.....	160
Gráfico 33 - Número de famílias fornecedoras nos arranjos do SCS 2008-2015	164
Gráfico 34 - Aquisição de matéria-prima para biodiesel em arranjos do SCS 2008-2015	165
Gráfico 35 – Receita média da agricultura familiar através do SCS 2008-2015.....	166
Gráfico 36 – Produção de biodiesel vs Desembolso via SCS 2008-2015	166
Gráfico 37 – Produção de biodiesel vs Desembolso via SCS no Brasil 2008-2015	167
Gráfico 38 – Aquisição para biodiesel em arranjos SCS, por matéria-prima 2008-2015	168
Gráfico 39 – Participação regional na produção de biodiesel no Brasil 2005-2015	168
Gráfico 40 – Participação regional na demanda de biodiesel no Brasil 2005-2015.....	169
Gráfico 41 – Participação regional da agricultura familiar em arranjos SCS - 2008-2015	169
Gráfico 42 Cenários de Oferta de Biodiesel no Brasil 2005-2026	199
Gráfico 43 – Cenários de Demanda de Diesel A no Brasil 2005-2026.....	200
Gráfico 44 – Balanço Nacional de Diesel A - 2016-2026.....	200

1 Introdução

Para sua sobrevivência diária, bem-estar e satisfação de suas inúmeras necessidades, a humanidade depende essencialmente de energia, que é consumida pelas atividades antrópicas para atendimento de diversos usos finais, como força motriz para o transporte e trabalho mecânico, iluminação, cocção e geração de calor.

O petróleo é a principal fonte de energia consumida no mundo, desde o fim da Segunda Guerra Mundial. A indústria petrolífera tem se revelado essencial para o desenvolvimento econômico das nações. O caráter estratégico do recurso realça sua relevância para os países produtores e, principalmente, para os consumidores. Suas maiores reservas estão basicamente situadas em países em desenvolvimento, ao passo em que as nações desenvolvidas são os principais consumidores.

A expressiva participação do petróleo na matriz energética mundial foi viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia, devido às condicionantes técnicas e econômicas que levaram a indústria mundial de petróleo a se estabelecer sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção.

Em grande medida devido à sua superioridade em termos caloríficos e de facilidade de uso, o petróleo vem sendo a principal fonte de energia do planeta, desde que ultrapassou o carvão, e deverá sustentar esta supremacia nas próximas décadas. A demanda pelo recurso foi sendo ampliada em decorrência do desenvolvimento e difusão de diversas tecnologias de uso final, que se somam àquelas requeridas pelos veículos a combustão interna, produção de eletricidade, aquecimento, entre outras. Com vistas ao atendimento do consumo crescente de energia, organizou-se uma complexa e confiável infraestrutura de distribuição de seus derivados.

Não obstante sua supremacia, adicionalmente aos riscos habituais de custos, mercados, demanda e preços, a indústria petrolífera está relacionada a um conjunto de outros riscos e incertezas, com relevo aos de natureza política, tecnológica e exploratória. Nesse sentido, salientam-se os severos reajustes nos preços do petróleo na década de 1970, que marcaram o término de um período de constante acréscimo da oferta na história da economia da energia. Dado o elevado nível de dependência das importações do energético, foram provocados grandes *déficits* na balança comercial de diversos países, o que representou um forte óbice ao seu desenvolvimento econômico-social.

Da crise do modelo de expansão do mercado de petróleo se delinearão os créditos imperativos à estruturação de ações de pesquisa e desenvolvimento das tecnologias de aproveitamento de fontes renováveis. Dentre as opções energéticas levantadas pelas nações para o atendimento às suas necessidades domésticas, exerceu papel de destaque a produção e o uso de biocombustíveis líquidos, nomeadamente etanol e biodiesel. Produzidos a partir de diferentes formas de biomassa, estes conseguem deslocar os combustíveis convencionais de petróleo, sobretudo nos transportes. Nesse contexto, diversos arranjos institucionais foram formulados para estimular o seu desenvolvimento.

Os dados acerca da demanda de energia no mundo e no Brasil demonstram a importância tanto dos derivados de petróleo, quanto do setor de transportes. Ressalta-se a dimensão do papel do diesel. Principal derivado consumido globalmente, tal combustível tem uma participação ainda mais acentuada no Brasil. Destaca-se, ainda, seu expressivo papel nesse setor da atividade econômica. No rol das fontes renováveis de energia apropriadas para substituir os combustíveis fósseis, o biodiesel desponta como uma possibilidade bastante exequível para o suprimento do diesel mineral. Esse contexto evidencia a relevância de um programa nacional de produção e uso de biodiesel em substituição ao fóssil como uma alternativa oportuna a ser usada pelo planejamento energético. O aproveitamento desse biocombustível constitui-se uma realidade mundial, para o que são utilizadas tecnologias de produção que já possuem maturidade e escala de produção industrial, com destaque para os Estados Unidos, União Europeia e Brasil. A escolha da rota produtiva é basicamente função da matéria-prima graxa que será utilizada. Muito embora existam diferentes alternativas, a tecnologia da transesterificação metálica através de catálise alcalina é a mais amplamente empregada no mundo, sendo também a que possui o maior grau de desenvolvimento.

Nessa pesquisa, o objeto principal circunscreveu-se ao éster de origem renovável, embora o termo seja comumente empregado para reportar-se a qualquer derivado de biomassa renovável que seja substituto do diesel fóssil.

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB foi oficialmente lançado pelo Presidente Luís Inácio Lula da Silva em 06 de dezembro de 2004. A implantação do marco regulatório para o setor estabeleceu as condições legais para a inserção do biodiesel na matriz energética do Brasil, intentando assegurar a produção do biocombustível, com total enfoque em uma política de inclusão social, característica marcante dos mandatos do Partido dos Trabalhadores.

O PNPB foi arquitetado de forma a possibilitar o uso das diferentes oleaginosas existentes no país, de acordo com as potencialidades de cada região. Ressalta-se, desde sua concepção, a importância atribuída ao fortalecimento da agricultura familiar, mediante sua inclusão na cadeia de produção do biodiesel. Ademais, atentou-se à orientação que sua produção ocorresse de maneira descentralizada e não excludente no que diz respeito a matérias-primas, rotas tecnológicas, classes de produtores ou portes de indústria.

O arcabouço do Programa foi planejado tendo como princípio três pilares fundamentais: “a inclusão social por meio da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica”, conforme elucidou Roussef (2004). Decorridos doze anos da promulgação da Lei 11.097/2005, os resultados positivos do PNPB são incontestáveis. O Programa logrou consolidar a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, com instalação de capacidade de processamento e atendimento à demanda, que se fez crescente. À luz dos seus objetivos elementares, constata-se que todas as metas originais do PNPB foram alcançadas, nos critérios econômicos, ambientais e sociais. No que diz respeito ao desenvolvimento regional e à diversificação de matérias-primas, observa-se existir ainda uma oportunidade de aprimoramento.

Nesse sentido, a apreciação acerca de como priorizar os vários insumos graxos que podem ser utilizados para a produção de biodiesel no Brasil, com vistas ao desenvolvimento sustentável, deve abarcar as diferentes perspectivas para os critérios e objetivos que se julgam relevantes. Para tanto, considerando a natureza multidimensional desse desenvolvimento, que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades, faz-se necessário utilizar uma ferramenta de análise multicritério, que forneça suporte a essa tomada de decisão.

Suportada pelo contexto descrito, essa pesquisa tem seu norte guiado pelo quadro que configura o interesse no desenvolvimento tecnológico e ampliação da participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional, com acento no biodiesel. Orienta-se, portanto, a contribuir para o entendimento das regulagens que demarcam a pesquisa e o desenvolvimento das fontes alternativas de energia, em particular o aumento do uso do biodiesel na matriz nacional de combustíveis líquidos.

Visa, deste modo, fomentar a reflexão sobre as condições técnicas e socioeconômicas que deram forma à indústria mundial de petróleo, por avaliar que é do movimento de ajuste do mercado de petróleo às demandas de desenvolvimento por parte dos Estados

Nacionais, das determinantes de mercado e das pressões de cunho ambiental, que resultam as condicionantes motivadoras de suas trajetórias e alternativas tecnológicas.

A partir da contextualização e formulação do problema, que considera as inter-relações ambientais, de impactos socioeconômicos e na segurança do abastecimento energético do país, estas intrínsecas ao processo de produção e uso dos combustíveis, podemos encontrar suporte na definição do objeto da pesquisa "A Inserção do Biodiesel na Matriz Energética Nacional: Aspectos Socioeconômicos, Ambientais e Institucionais".

Orienta-se a pesquisa, deste modo, nos pressupostos de que o processo de consolidação da indústria de petróleo estruturou-se seguindo o ideário condutor do capitalismo industrial do fim do século XIX. Assume, ainda, que as características tecnológicas e econômicas dessa indústria motivaram a forma de sua competitividade e a garantia de uma contínua ampliação das economias de escala e escopo, factível de ser alcançada por melhorias de caráter técnico e tecnológico em toda a cadeia (exploração, produção, transporte, refino e distribuição), definindo assim uma regularidade que se sustentou vitoriosa até o início dos anos 1970. No entanto, devido a determinantes geopolíticos e, mais recentemente, ambientais, com destaque para as emissões de gases de efeito estufa, foi aberta uma janela de oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias de produção de biocombustíveis.

A pesquisa avalia os desígnios presentes na concepção do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, que foram materializados nas diferentes ações do poder público, inclusive o arcabouço institucional estabelecido para a consolidação de uma estrutura integrada de produção e uso do biocombustível na matriz energética nacional. Quando aplicável, são propostas recomendações e ações necessárias para um melhor alcance dos resultados inicialmente almejados.

As hipóteses consideradas na pesquisa estão estruturadas tomando-se como base quatro parâmetros conceituais que dimensionam a estrutura nacional de produção e uso de combustíveis para abastecimento de motores do ciclo Diesel: (i) A matriz energética nacional é fortemente pressionada pelo uso de diesel mineral; (ii) As demandas nacionais de óleo diesel mineral imputam uma significativa necessidade de importação desse combustível; (iii) A demanda nacional de diesel mineral mostra-se como a alternativa menos eficiente em termos ambientais; (iv) há uma reconhecida vocação nacional para produção e uso de fontes renováveis de energia, descentralizando a produção e viabilizando a geração de emprego e renda.

Assim, as hipóteses formuladas partem dos seguintes entendimentos:

- As concepções adotadas pelo PNPB devem estar integradas ao planejamento energético nacional, sendo imperativo considerar a dependência - e seus efeitos - da expressiva parcela de diesel importado. Dessa forma, a inserção do biodiesel na matriz energética contribui para a minimização dos riscos associados à instabilidade do mercado mundial de petróleo, bem como para a maximização da segurança do abastecimento de energia.
- O planejamento integrado realizado sob uma estrutura institucional que contemple incentivos regulatórios e fiscais pode garantir o aproveitamento dos insumos necessários à produção de biodiesel, como uma alternativa de complementaridade energética.
- A inserção de uma política nacional de aproveitamento de recursos renováveis, a exemplo do biodiesel, impacta favoravelmente nos índices nacionais de sustentabilidade, repercutindo positivamente na geração de emprego e renda, seja na etapa agrária de sua produção, ou na fase industrial.
- O uso do biodiesel reduz as emissões do monóxido de carbono (CO), do material particulado (MP), do óxido de enxofre (SO_x), dos hidrocarbonetos totais (HC) e de grande parte dos hidrocarbonetos tóxicos, que apresentam potencial cancerígeno e estão presentes em concentrações bastante superiores quando do uso do diesel mineral, havendo um pequeno incremento nas emissões de NO_x. Desta forma, o PNPB vem resultando em um balanço ambiental favorável ao país, tanto nos aspectos da poluição local e regional, com impactos à saúde, quanto nas repercussões na mudança do clima.

A delimitação do objeto da pesquisa circunscreve-se aos efeitos da inserção do biodiesel no planejamento energético nacional. E sendo assim, é analisado o papel dos diferentes setores da economia brasileira relacionados a este programa, notadamente os de transporte e agropecuário. Prioriza-se também uma análise acerca da descentralização da produção, considerando a disponibilidade de matéria-prima e logística, avaliando as oportunidades de inserção deste combustível à luz dos critérios de sustentabilidade ambiental, social, econômica, tecnológica e de implementação e operação.

Em seu objetivo, a pesquisa avalia as oportunidades de participação sustentável do biodiesel na matriz energética nacional, tomando como referência a estrutura de oferta/demanda do diesel mineral, considerando:

- (i) as implicações econômicas;
- (ii) a segurança no abastecimento nacional de combustível;
- (iii) as implicações socioambientais.

Tais análises contemplam as particularidades presentes nas etapas agrária, bem como as condicionantes da disponibilidade de matéria-prima e logística, no que concerne ao seu uso como combustível destinado ao setor de transporte e geração de energia elétrica.

De forma específica o trabalho também objetiva:

- avaliar o potencial nacional de oferta de biocombustível, considerando as características regionais dos insumos graxos.
- avaliar cenários de substituição do diesel mineral pelo biodiesel e as relações técnicas, socioeconômicas e ambientais inerentes ao funcionamento do sistema energético, quanto a: (i) estrutura da demanda e oferta; (ii) destinação e aproveitamento dos coprodutos.
- apresentar proposições que venham a contribuir para o desenvolvimento sustentável nacional.

No que concerne às estratégias metodológicas formuladas, estas são norteadas pela apropriação crítica e reflexiva do pensamento acadêmico, governamental, setor produtivo e sociedade civil organizada, que orientam as ações que vêm sendo elaboradas visando a inserção, consolidação e ampliação do biodiesel na matriz energética nacional.

A análise pormenorizada da literatura existente resultou destacar o arcabouço regulatório relacionado ao uso e aproveitamento de fontes renováveis e ao estabelecimento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Analisa-se igualmente os documentos técnicos existentes para a identificação do potencial de produção de oleaginosas existentes no país, em termos de área disponível e de clima apropriado à cultura específica, levando-se em consideração os acréscimos de competitividade do biodiesel decorrentes do isolamento de determinadas regiões.

Através de dados do MAPA, do IBGE, do Balanço Nacional de Energia da EPE e das informações coletadas em instituições regionais é possível proceder a uma análise dos potenciais e necessidades energéticas das regiões identificadas como potencialmente viáveis sob o ponto de vista do cultivo de oleaginosas, bem como dos insumos graxos passíveis de serem utilizados na produção de biodiesel, de origem vegetal ou animal.

Para o estudo de caso destinado à avaliação da ampliação sustentável da produção de biodiesel no Brasil, fez-se uso da metodologia de análise multicritério, que auxilia na tomada de decisão quando diversos aspectos estão envolvidos. O método quantitativo baseado em programação linear, Análise Envoltória de Dados, tornou possível hierarquizar as eficiências das unidades de produção de biodiesel através da avaliação simultânea dos diferentes insumos empregados e dos produtos gerados por cada uma.

Para a consecução dos objetivos propostos, o trabalho está organizado em seis capítulos: este primeiro capítulo introdutório, quatro capítulos nos quais o trabalho se desenvolve (capítulos 2 a 5) e o sexto capítulo, onde são apresentadas as principais considerações da pesquisa e propostas de trabalhos futuros. Os quatro capítulos de desenvolvimento da pesquisa estão assim estruturados:

No Capítulo 2 é realizada uma análise do processo de formação da indústria mundial de petróleo, discorrendo sobre as condicionantes técnicas e econômicas que a conduziram a se estabelecer sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, tornada viável através de um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia. É retratado o processo de estruturação do mercado nacional de petróleo, dando destaque ao modelo que se estabeleceu como paradigma que permitiu sua contínua expansão.

O Capítulo 3 explicita os elementos determinantes da crise do modelo de expansão do mercado de petróleo provocado até os anos 1970, mostrando que é desta crise que se esboçam os créditos primordiais para a estruturação de ações de pesquisa e desenvolvimento do emprego de tecnologia de aproveitamento de recursos renováveis para a produção de combustíveis líquidos, nomeadamente etanol e biodiesel. A partir dos anos 1990, também os determinantes ambientais abriram uma janela de oportunidades para os biocombustíveis, com destaque ao benefício destes representarem uma das soluções tecnológicas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e a mudança do clima. Por fim, o Capítulo 3 relata os arranjos institucionais empregados para promover o desenvolvimento dos biocombustíveis, pormenorizando as experiências mais bem-sucedidas de esquemas legais de fomento, como os adotados nos Estados Unidos, União Europeia e Brasil.

O Capítulo 4 retrata o estado da arte das tecnologias de produção de biodiesel, abrangendo uma descrição das diferentes rotas de obtenção do éster, os principais fatores que definem a escolha da rota a ser empregada, o papel do aproveitamento dos coprodutos do processo, sua evolução histórica, o panorama mundial e características tecnológicas. Também é

detalhada a experiência brasileira, sendo analisados os aspectos econômicos, ambientais, sociais e regionais do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Tal avaliação explicita que o PNPB conseguiu concretizar a introdução do biodiesel na matriz energética, com implantação de capacidade de processamento e atendimento à demanda crescente, proporcionando um conjunto de benefícios econômicos, ambientais e sociais. No que tange ao desenvolvimento regional e à diversificação de matérias-primas, mostrou-se que existe uma oportunidade de aprimoramento.

O incentivo à ampliação da participação de outros insumos graxos na cesta de alternativas de abastecimento energético brasileira pode contribuir significativamente para maiores benefícios, também em termos sociais e de desenvolvimento regional. As características edafoclimáticas brasileiras fazem com que o país possua um dos maiores potenciais de produção de biomassa do mundo e reforcem o elenco de oportunidades creditado ao aproveitamento do biodiesel. Nesse contexto, as apreciações referentes às oportunidades para a ampliação sustentável da produção do biocombustível no Brasil conformam o percurso norteador do Capítulo 5.

A partir da constatação dos benefícios ao país decorrentes do PNPB nos aspectos econômicos e ambientais e da possibilidade de aperfeiçoamento no que tange à diversificação de matérias-primas e ao desenvolvimento regional, evidencia-se que há um espaço favorável para a ampliação sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil. Esta oportunidade é função tanto de seu elevado potencial de produção de biomassa, como da dimensão da participação do diesel, principal fonte de energia consumida no país, com contribuição majoritária no setor de transportes. Desta forma, o Capítulo 5 analisa sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável quais as matérias-primas graxas devem ser priorizadas no Programa e apresenta algumas oportunidades para a ampliação sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil. No Capítulo 6 são sumariadas as principais considerações desta tese e apresentadas sugestões de trabalhos futuros, como desdobramento da pesquisa.

O encadeamento proposto para os capítulos pretende resultar em uma linha metodológica que possibilite ao leitor um melhor entendimento da pesquisa.

2 Formação do Mercado Mundial de Petróleo

2.1 Introdução

A humanidade depende essencialmente de energia para sua sobrevivência diária, seu bem-estar e para satisfação de suas inúmeras necessidades. A energia é consumida pelas atividades antrópicas para atendimento de diversos usos finais, como força motriz para o transporte e trabalho mecânico, iluminação, cocção, geração de calor e frio, entre outros igualmente importantes.

Os pilares fundamentais para qualquer projeto de soberania nacional são: segurança alimentar, hídrica, energética e militar. Em se falando de segurança energética, desde o fim da Segunda Guerra Mundial, o petróleo é a principal fonte de energia consumida no planeta. A indústria petrolífera tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico das nações. O caráter estratégico do recurso evidencia sua importância para os países produtores e, sobretudo, para os consumidores. É importante assinalar que as maiores reservas de petróleo estão basicamente localizadas em nações em desenvolvimento, enquanto os países desenvolvidos são os principais consumidores.

Nesse capítulo, é feita uma avaliação do processo de formação e evolução da indústria mundial de petróleo, abordando as condicionantes técnicas e econômicas que levaram a mesma a se firmar sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia, que possibilitaram que esse recurso alcançasse a expressiva participação na matriz energética global.

Também é descrito o processo de estruturação do mercado nacional de petróleo, dando relevo ao modelo que se firmou como paradigma que possibilitou sua contínua expansão.

Em seguida, o Capítulo apresenta os dados sobre a oferta e a demanda de energia no mundo e no Brasil, demonstrando a importância dos derivados de petróleo e do setor de transportes. Destaca-se a dimensão do papel do diesel, tanto em relação ao total do consumo dos derivados, como em relação à sua participação nesse setor da atividade econômica. A partir do exposto, evidencia-se a relevância de um programa nacional de produção e uso de biodiesel em substituição ao diesel mineral como uma alternativa a ser usada pelo planejamento energético.

2.2 Evolução do Uso dos Recursos Energéticos

O uso da energia é essencial para a satisfação das necessidades dos seres humanos e sua sobrevivência. É pilar fundamental para a soberania nacional, suprimindo as demandas da sociedade e proporcionando “serviços essenciais” à qualidade de vida, através de diferentes formas, a energia se faz presente: iluminação; calor para a cocção de alimentos, calefação, e atividades industriais; força motriz para o transporte e para o trabalho mecânico, entre outras.

A ciência Física conceitua energia como sendo a capacidade de realizar trabalho. O termo trabalho, por sua vez, é definido como o produto de uma força pelo deslocamento que ela provoca no sentido em que é aplicada. La Rovere (1999) ressalta o fato de a Física ter utilizado nessas conceituações o termo “trabalho”, atribuindo um significado particular a um conceito de origem socioeconômica já existente e infere que tal associação decorreu da ideia de mobilizar as forças da natureza para executar as tarefas de transformação da matéria que somente a força muscular do homem encontrava dificuldades em realizar. O autor assinala que, segundo a antropologia, a mais importante diferenciação da espécie humana com relação aos outros animais é a sua capacidade de prolongamento: da mente, por meio da exteriorização do pensamento, através da palavra; e do corpo, graças a ferramentas e máquinas multiplicadoras do poder de seus membros, usando fontes de energia disponíveis na natureza. Neste sentido, em “A Ideologia Alemã”, Marx e Engels (2002) apontam como marcos diferenciadores entre humanos e outras espécies, aqueles fundamentados na produção, e por consequência, na forma de alocação de seus recursos naturais e energéticos:

Pode-se referir a consciência, a religião e tudo o que se quiser como distinção entre os homens e os animais; porém, esta distinção só começa a existir quando os homens iniciam a produção dos seus meios de vida, passo em frente que é consequência da sua organização corporal. Ao produzirem os seus meios de existência, os homens produzem indiretamente a sua própria vida material.

Marx e Engels (2002) pontuam a existência de um primeiro pressuposto de toda a existência humana e, assim sendo, de toda a história, que os homens devem estar em condições de poder viver a fim de fazer história.

Mas, para viver, é necessário antes de mais nada beber, comer, ter um teto onde se abrigar, vestir-se, etc.. O primeiro fato histórico é pois a produção dos meios que permitem satisfazer as necessidades, a produção da própria vida material; trata-se de

um fato histórico, de uma condição fundamental de toda a história, que é necessário, tanto hoje como há milhares de anos, executar dia a dia, hora a hora, a fim de manter os homens vivos.

A humanidade começou a usar as fontes energéticas para atender às suas necessidades ao longo dos séculos, antes mesmo de entender e saber reconhecer suas diversas formas. Muito antes do conceito de energia ser elaborado, o humano já observava as manifestações da natureza: o fogo, os ventos, o movimento dos astros celestes, a radiação solar, as quedas d'água. Cedo começou a aprender como aproveitá-las para tornar sua vida mais fácil.

Dada a forma em que se apresentam na natureza, as fontes de energia em geral precisam ser capturadas e convertidas pela atividade humana em uma configuração passível de utilização, em quantidade suficiente para a produção dos bens e serviços demandados. Neste sentido, as conversões da energia na natureza apresentam dois aspectos relevantes para a sociedade, que estão relacionados à quantidade e à qualidade.

No que tange à quantidade, o Primeiro Princípio da Termodinâmica - ou Lei da Conservação da Energia - estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, o que equivale a dizer que a quantidade total dentro de um sistema fechado é constante, muito embora as formas em que ela se apresenta possam ser alteradas. Já o Segundo Princípio da Termodinâmica introduz o conceito da qualidade, informando que a energia de um sistema fechado se degrada continuamente. Este princípio afirma que todas as formas de energia podem ser transformadas em calor, mas que é impossível converter toda a energia térmica em trabalho, ou seja, a transformação inversa só acontece em parte.

De acordo com Hémary *et al.* (1993), “o enunciado destes dois princípios mostra que o problema com o qual a humanidade se depara não é o da conservação da energia, mas o da conservação de uma certa qualidade de seu dote energético, ou seja, de sua capacidade de fornecer trabalho útil”. Desta forma, ao realizar as transformações necessárias para a obtenção de uma forma de energia de fácil uso final, o humano tem de pagar um preço por sua melhor qualidade.

Petróleo, gás natural, carvão mineral, lenha, cana-de-açúcar, energia hidráulica e urânio são fontes de energia primária, providas diretamente pela natureza. Já a energia secundária é obtida a partir das primárias nos diferentes centros de transformação: refinarias de petróleo, plantas de gás natural, usinas de gaseificação, coquearias,

carvoarias, destilarias, usinas hidrelétricas, centrais termelétricas, usinas de produção de biodiesel, entre outros.

Para transformar a energia natural (bruta) em energia útil, aquela suscetível de satisfazer a uma determinada utilização, são empregados equipamentos que convertem o conteúdo das formas finais em que a energia é entregue ao consumidor nos bens e serviços desejados, denominados conversores. Desta forma, fogões e caldeiras são usados na produção de calor para cocção de alimentos e para geração de vapor, assim como se utilizam motores e turbinas para a produção de eletricidade para iluminação e de força motriz para transporte e trabalho mecânico. Nestes processos de conversão faz-se uso de diversas formas de energia secundária: óleo combustível, óleo diesel, gasolina, etanol, biodiesel, eletricidade, dentre outras. Algumas fontes de energia primária também podem ser usadas diretamente pelo consumidor final, como o aproveitamento da lenha para cocção de alimentos.

O próprio ser humano pode ser interpretado como um conversor que utiliza a energia bioquímica dos alimentos no funcionamento de seu metabolismo e para que o coração e os músculos realizem suas atividades de trabalho mecânico.

Ao longo da cadeia de transformações da energia, os processos de produção, transformação, transporte, distribuição, armazenamento e uso final envolvem um conjunto de perdas que reduzem a apenas uma parcela do montante total da energia primária captada na natureza a quantidade que é efetivamente útil à sociedade. Segundo Hémerly *et al.* (1993), “para qualquer sociedade humana, o problema energético é mais comumente um problema de conversores que de fontes: deste ponto de vista, a história da energia é a história dos sistemas de conversores energéticos”. De acordo com o autor, a transformação de uma dada quantidade de energia natural em energia útil depende de uma cadeia de conversores que, de um modo geral, deve preencher a três objetivos:

- *Uma concordância de qualidade*: não se pode produzir qualquer tipo de energia final a partir de qualquer energia bruta. Com efeito, a primeira deve responder a necessidades específicas (alimentação, aquecimento, trabalho mecânico, etc.) e, sem determinados conversores, é impossível utilizar especificamente certos recursos naturais.

- *Uma concordância de lugar*: um cidadão precisa da energia em seu lugar de residência. Trata-se de um problema fundamental: dificuldades do transporte da energia (como a lenha) foram, durante milênios, um obstáculo ao desenvolvimento.

- *Uma concordância de tempo*: as necessidades energéticas obedecem a certas restrições no tempo. O suprimento de alimentos deve ser contínuo, enquanto as colheitas são concentradas em um curto período do ano. Realizar esta concordância implica o estabelecimento de sistemas de armazenamento e de distribuição que também absorvem energia.

Os recursos naturais energéticos existentes na natureza, transformados em energia útil nos conversores, podem ser classificados de diversas maneiras. As fontes de energia denominadas alternativas são caracterizadas por possuírem maiores custos do que as fontes convencionais e por apresentarem desafios tecnológicos ainda a serem superados, como a energia fotovoltaica e oceânica. Estas vêm se desenvolvendo na medida em que os recursos energéticos convencionais, tanto vão se tornando mais escassos, como enfrentam progressivas restrições ambientais. Isto proporciona avanços tecnológicos e ganhos de escala que favorecem a redução dos custos das fontes alternativas, o que faz a diferença de preços se apresentar menos acentuada.

Outra categorização de interesse dos recursos energéticos para a abordagem em tela é a que avalia a reprodutibilidade do seu estoque, ou seja, sua taxa de regeneração. Perman *et al.* (1996) classificam como renovável um recurso cuja taxa de regeneração é significativa; caso contrário, é qualificado não-renovável. Embora útil, tal conceituação é limitada, uma vez que não aborda o potencial de exaustão do estoque de recursos.

Neste sentido, importa a divisão adotada por Margulis (1990): Recursos de Fluxo e Exauríveis. Os primeiros podem ter suas condições originais restauradas pela ação natural ou humana e a utilização não diminui seu estoque, pelo menos no curto prazo. De forma geral, encontram-se distribuídos em todo o planeta, o que permite o seu uso de maneira descentralizada. Já a classificação de um recurso como exaurível pressupõe necessariamente a possibilidade de sua escassez futura. Uma vez que se apresentam em quantidades limitadas na natureza, a disponibilidade futura varia inversamente com o ritmo de exploração pela atividade humana, que leva obrigatoriamente à sua diminuição. O potencial de exaustão do recurso está relacionado à forma em que está disponível, à maneira como ele pode ser utilizado, dependendo também do estágio do desenvolvimento tecnológico.

Em geral, os recursos de fluxo são associados aos recursos renováveis, assim como os exauríveis são identificados com os não-renováveis. Entretanto, dependendo da forma e velocidade de sua extração, um recurso renovável pode tornar-se exaurível. Florestas,

animais e outros estoques de biomassa são frequentemente renováveis, mas também potencialmente exauríveis, caso a taxa de utilização supere a capacidade de regeneração natural. Os combustíveis fósseis são definidos como não-renováveis, uma vez que o tempo de sua formação na Terra, da ordem de milhões de anos, é muito superior à escala de tempo das atividades humanas. No entanto, podem ser tomados como não exauríveis, dado o seu fator de recuperação, que é função da tecnologia disponível e da viabilidade econômica do aproveitamento potencial da reserva. Este varia com o tempo, principalmente em função dos avanços tecnológicos e da cotação do energético.

O petróleo, carvão mineral, gás natural e turfa são fontes primárias de energia não-renováveis. A energia nuclear convencional inclui-se também nesta categoria, uma vez que o estoque de recursos fósseis na crosta terrestre é limitado.

São fontes renováveis a energia solar, eólica, hidráulica, das marés, das ondas, geotérmica, além da força muscular animal e humana. Destaca-se a solar, que desempenha um papel essencial para todas as formas de vida existentes no planeta. Através de sua assimilação pela clorofila, em um fenômeno conhecido como fotossíntese, produz-se a biomassa para alimentação e diversos outros fins, inclusive a produção de biocombustíveis. Além da lenha, o carvão vegetal de florestas plantadas, o etanol da cana-de-açúcar, milho e trigo e, objeto principal desse estudo, o biodiesel de diversas oleaginosas, gordura animal e outras fontes de insumos graxos.

Evolução do Aproveitamento Energético Humano

Além do consumo da energia que vem do sol sob a forma de alimentos, através das plantas e animais, a utilização direta dos fluxos da natureza como o sol, o vento e a água, sem o auxílio de conversores ou técnica, marcou a fase inicial do aproveitamento energético pelo ser humano.

A primeira grande conquista energética da humanidade tem seu marco quando o homem aprendeu a controlar o fogo, inicialmente para seu aquecimento, proteção, iluminação e cocção de alimentos, permitindo o consumo de energia de uma forma acumulada¹. Nesta segunda fase, ocorreram diversos desenvolvimentos tecnológicos simples que permitiram ao humano aperfeiçoar a capacidade de uso dos fluxos energéticos da natureza e seu aproveitamento, aumentando a sua demanda de energia. Destacam-se a invenção da roda e da alavanca, o aproveitamento dos ventos para navegação e da energia hidráulica em

¹ A combustão de um quilograma de lenha tem um conteúdo energético de 3,1 gigacalorias (EPE, 2016a).

moinhos de água.

A terceira etapa desta evolução é demarcada pelo advento da máquina a vapor, símbolo da Revolução Industrial, que desempenhou um papel fundamental na conformação de nosso atual modo de vida². A análise histórica deste evento evidencia que não foram meramente industriais as mudanças por ela provocadas. Indiscutivelmente, ela trouxe grandes transformações sociais, culturais e intelectuais, primeiramente na Inglaterra e nas sociedades europeias e, depois, em todo o planeta.

A Revolução Industrial representou a grande ruptura do modo de produção baseado fundamentalmente na utilização de energia renovável e o princípio da escalada de triunfo e hegemonia dos combustíveis fósseis. Antes dela, não só o crescimento do consumo energético *per capita* era bastante lento, como também a taxa deste consumo por unidade de tempo mantinha-se no mesmo patamar de milhares de anos atrás. Posteriormente, tanto o consumo energético *per capita* como a potência demandada alcançaram outra ordem de grandeza.

A explosão da capacidade produtiva proporcionada pela tecnologia industrial resultou em disponibilidade de alimentos e de energia progressivamente maior. Associada à urbanização e à modernização da sociedade, com avanços sanitários e médicos, foi proporcionado um crescimento populacional extraordinário, sem precedentes na história da humanidade³. Neste contexto, o salto do consumo energético *per capita*, aliado ao vertiginoso crescimento da população, conduziram a um crescimento exponencial da demanda energética global a partir da Revolução Industrial.

A Era Industrial inaugurada assinala também uma nova fase no processo de exteriorização

² Dentre as mudanças nos hábitos comportamentais e padrões de consumo geradas, destaca-se a demanda por “aumentar o dia”. Os iluminantes de então usavam óleo animal ou vegetal, que forneciam luminosidade cara e precária. Em 1850, um novo fluido foi patenteado pelo químico canadense Abraham Gesner: o querosene, extraído do *coal oil* (óleo de carvão). Já em 1854, George Bissel, advogado de Nova York, encomendou ao Professor de Química Benjamin Silliman pesquisa sobre um “óleo medicinal” de Titusville, que parecia com o *coal oil*. Como resultado, foi obtido a partir da destilação do petróleo um produto que tinha ótimas condições de competir com o “óleo de carvão” e com os iluminantes da época: o querosene (AO&GHS, 2016; GINSBERG, 2009).

³ A estimativa mais otimista da população mundial para o ano de 10 mil antes de Cristo indica 10 milhões de pessoas (USCB, 2016). Ao longo de milhares de anos, o crescimento foi lento, chegando ao ano zero com cerca de 300 milhões de habitantes, levando 1600 anos para dobrar de tamanho. Somente foi atingido o primeiro bilhão no ano de 1804. O segundo bilhão, por sua vez, 123 anos depois, em 1927. A partir de então, o crescimento populacional ocorreu em taxas bastante aceleradas. O planeta passou a adicionar um bilhão de habitantes cada vez mais rapidamente, levando 33 anos para o terceiro bilhão, em 1960 e 14 anos para o quarto bilhão (1974). O quinto bilhão, 13 anos depois, em 1987 e o sexto bilhão, 12 anos, em 1999 (UN, 1999). Transcorreram mais treze anos para alcançar o sétimo bilhão, em 2012.

do corpo humano, possibilitando “pela primeira vez que o homem disponha, de forma externa e independente de suas capacidades físicas, de uma força motriz possível de modulação quanto à potência, controle de movimento e disponibilidade temporal e locacional” (SILVA, 2006). Apesar da possibilidade que a máquina a vapor fosse alimentada com lenha, rapidamente fez-se visível a vantagem da utilização do carvão mineral, graças à crescente escassez de biomassa e ao conteúdo energético bastante superior do fóssil. Cabe registrar que também as condições da oferta de energia foram modificadas por tais conversores, uma vez que, permitindo o bombeamento da água infiltrada nas minas, tornaram possível a produção de carvão em escala. Desta forma, o carvão mineral se tornou o principal vetor usado nas máquinas a vapor e o símbolo energético da Revolução Industrial, estendendo rapidamente sua utilização para o transporte ferroviário e na substituição da navegação à vela, assim como na indústria siderúrgica.

A possibilidade de desagregar espacialmente o equipamento conversor de sua fonte de energia definiu uma significativa mudança nos sistemas energéticos vigentes, estabelecendo uma nova forma de agir do homem sobre os recursos naturais. Desta forma iniciou-se a grande transição da utilização de energia renovável para o uso maciço dos combustíveis fósseis que, além do carvão, se estendeu também para o aproveitamento do petróleo e do gás natural.

O petróleo foi utilizado inicialmente para iluminação e geração de calor, através do uso do querosene. Transformou-se na principal fonte de energia para a atividade de transporte somente após os principais adventos tecnológicos: desenvolvimento do motor Otto a gasolina em 1867 e do motor Diesel, patenteado em 1893. Ao longo do século XX ocorreu nova transição da base energética, desta feita do carvão para o petróleo. Oportuno assinalar que os combustíveis líquidos e gasosos são mais nobres que os sólidos, devido à maior eficiência de uso final e menor custo de manuseio, estocagem e transporte.

No que tange ao gás natural, seu uso em grande escala foi retardado quando comparado ao aproveitamento do petróleo. O desenvolvimento desta indústria foi viabilizado pelo aumento progressivo das demandas energéticas, descobertas de gigantescas reservas e possibilidade de geração de eletricidade em centrais termelétricas de ciclo combinado.

Uma quarta etapa da evolução do uso dos recursos energéticos é marcada pelo surgimento dos primeiros sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, através do desenvolvimento de uma série de importantes avanços tecnológicos direcionados à

difusão do uso da eletricidade, destacados por Silva (2006). O autor aponta que, desde o princípio do desenvolvimento desta forma de energia, a variável consumo mostrou-se de fundamental importância para o dimensionamento destes sistemas, uma vez que não é viável o armazenamento da eletricidade em grandes quantidades.

A partir da perspectiva traçada, constata-se que os desenvolvimentos tecnológicos mencionados tornaram possível o uso simultâneo das diferentes fontes de energia disponíveis na natureza de uma forma bastante flexível, com melhor qualidade e rendimentos superiores. Somada ao surgimento de novas tecnologias, esta característica viabilizou o desenvolvimento de um sistema energético estável por mais de um século.

Uma nova fase no aproveitamento dos recursos energéticos é definida pelo domínio da fissão nuclear, cujo controle permitiu a conversão tecnológica de matéria em energia. À época, a expectativa que se desenhava era que a energia nuclear tornar-se-ia a fonte energética abundante e barata do futuro da humanidade, produzindo vapor para o acionamento de turbogeradores similares aos das usinas termelétricas. No entanto, tal perspectiva não se realizou. Esta é geralmente vinculada ao risco de acidentes de proporções catastróficas e graves problemas de segurança. Ademais, apresenta problemas tecnológicos, econômicos e de impactos ao meio ambiente, sobretudo no que tange à disposição dos resíduos nucleares – que ainda não possuem uma solução definitiva⁴. No entanto, dado o debate atual em torno do aquecimento global e a contribuição do uso da energia nas emissões de gases de efeito estufa, esta vem sendo constantemente ventilada como uma alternativa para a geração de energia limpa.

A História da evolução sociocultural da humanidade pode também ser contada como aquela da busca do domínio de fontes cada vez mais nobres de energia para a satisfação das necessidades humanas. É importante assinalar que os principais eventos históricos que marcam as Revoluções Tecnológicas estão associados a uma melhoria das linhas energéticas e a um aumento da quantidade de energia utilizada. Tal evolução tecnológica se manteve ao longo dos séculos, num contínuo processo acumulativo. Por outro lado, cada um desses instrumentos trouxe também novas formas de exploração e diferenciações sociais.

Nesse sentido, Silva (2006) assinala a importância dos diversos estágios do conhecimento

⁴ A autora participou como Pesquisadora do Projeto “Disposição de Resíduos Nucleares Advindos de Instalações Geradoras de Energia Elétrica”, sob a coordenação do Professor Luiz Pinguelli Rosa, executado a pedido do Ministério do Meio Ambiente em 2005.

científico e dos domínios tecnológicos para o uso dos recursos energéticos durante o processo de evolução das sociedades e acentua que o direcionamento de esforços visando o desenvolvimento científico e o progresso técnico ocorreu sob a égide de uma estrutura de produção industrial capitalista. Segundo o autor,

a energia como fonte no modo de produção capitalista não é neutra e o seu desenvolvimento não se deu por acaso. O petróleo não se tornou fonte energética por acaso, o modelo de desenvolvimento assim o determinou. A técnica não pode ser tomada como sinônimo de tecnologia. A ciência e a tecnologia foram subsumidas ao capital.

E continua:

Historicamente o homem através dos tempos buscou se apropriar da energia, enquanto valor de uso. Na sociedade do capital, a energia assume a dimensão de valor de troca, um fator de produção do capital e, portanto, de mercadoria. O mesmo se dá com a tecnologia. Ela não é neutra. Ela economiza trabalho vivo em favor do trabalho morto, poupando trabalho necessário em favor do trabalho excedente.

O panorama atual do uso dos recursos energéticos no mundo caracteriza-se principalmente pela elevada dependência dos combustíveis fósseis para a produção de bens e serviços e por diversos impactos ambientais associados à geração, distribuição e uso das fontes de energia. Em decorrência deste cenário, a retomada do aproveitamento dos fluxos de energia com base nos recursos naturais renováveis, que foi dominante ao longo da maior parte da história da humanidade, vem sendo cogitada como uma alternativa para a construção de um caminho mais sustentável para a vida humana, em consonância com a capacidade de suporte do planeta. Somados ao desenvolvimento de novas tecnologias, estes fluxos naturais podem viabilizar o estabelecimento de sistemas energéticos menos lesivos ao meio ambiente.

Dentre os recentes desenvolvimentos nas tecnologias de produção e uso das fontes renováveis de energia, destacam-se os avanços direcionados ao aproveitamento do potencial eólico para geração elétrica e da energia solar térmica e solar fotovoltaica. Importa registrar também as tecnologias para o aproveitamento da biomassa, quer seja para geração de eletricidade - a exemplo do bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, resíduos sólidos urbanos etc., quer seja para produção de biocombustíveis, como o etanol brasileiro da cana-de-açúcar e o biodiesel – tema principal desta pesquisa.

Contudo, o petróleo destaca-se, ainda, como a principal fonte de energia do planeta e as principais instituições de pesquisa sinalizam que esta liderança permanecerá nas próximas

décadas. O mercado mundial desse recurso foi estabelecido sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia, condições que possibilitaram sua expressiva participação na matriz energética, como descrito a seguir.

2.3 Formação da Indústria Mundial de Petróleo

Conhecido como ‘ouro negro’, o petróleo é a principal fonte de energia atualmente comercializada no planeta. Esse recurso mineral se tornou o insumo-chave do desenvolvimento do século XX quando substituiu o carvão, graças à sua facilidade de produção, transporte e uso. A indústria petrolífera tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico das nações. O caráter estratégico do recurso evidencia sua importância para os países produtores e, sobretudo, para os consumidores.

A formação e evolução da indústria mundial do petróleo, ressaltando-se sua influência na economia mundial, e a estrutura atual de oferta e demanda são analisadas a seguir.

2.3.1 A Indústria Mundial de Petróleo

A extensa cadeia produtiva que estrutura o sistema industrial petrolífero começa nas jazidas e vai até os consumidores. Comumente desagregada nos segmentos clássicos: *upstream* - exploração e produção, *midstream* - refino de petróleo e *downstream* - comercialização de combustíveis, compreende as seguintes atividades:

1. Exploração e Produção (E&P)⁵;
2. Transporte, que inclui tanto a rede que transfere o petróleo extraído das áreas de produção para as áreas de refino (principalmente através de oleodutos), como aquela que movimenta os derivados do refino para as áreas de consumo (por intermédio de oleodutos, ferrovia, rodovia e navegação);
3. Refino do petróleo, que compreende processos de separação, conversão e tratamento do recurso mineral, com o objetivo de produção de combustíveis, lubrificantes, parafinas, e produção de matérias-primas para indústrias petroquímicas de primeira geração, produtos de maior valor agregado;
4. Distribuição dos derivados, que são transportados dos centros produtores (refinaria ou petroquímica) para as bases de armazenamento (distribuidoras);

⁵ Exploração e Produção (E&P): Prospecção geofísica de áreas para identificação das jazidas, extração e separação do óleo bruto existente na jazida, respectivamente.

5. Comercialização do petróleo e seus derivados.

As grandes empresas de petróleo estão geralmente presentes em todos os segmentos da cadeia, atuando do poço de petróleo à bomba de abastecimento de combustível. Essa integração vertical facilita o processamento, a continuidade e a estabilidade do fluxo produtivo da indústria. Além disso, sua flexibilidade constitui-se um importante atributo, conforme destacado por Tavares (2005): “à medida que são descobertas novas utilizações para os derivados de petróleo, inúmeros produtos passam a ser criados, alargando o campo de atuação e a cadeia que estrutura o sistema industrial petrolífero”.

Campos (2005) identificou como principais características do setor petrolífero:

1) o caráter exaurível do recurso petróleo; 2) o elevado capital de risco; 3) as economias de escala e o longo tempo de maturação dos investimentos; 4) a integração vertical e a distribuição do risco entre as várias atividades do setor (exploração, produção, refino e distribuição); 5) as fortes barreiras à entrada; 6) a estrutura oligopólica e internacionalizada formada pelas próprias características do setor; e 7) a elevada tecnologia envolvida no processo de E&P.

A Indústria Mundial de Petróleo é fundamental para o desenvolvimento econômico das nações. Ao longo desse capítulo, buscar-se-á evidenciar o seu caráter estratégico e os fatores geopolíticos que estão associados à principal fonte de energia do mundo.

2.3.2 O Surgimento: Competição Predatória

A indústria mundial de petróleo, doravante denominada IMP, apresenta como seu marco inicial o ano de 1859⁶, com a descoberta de uma jazida pouco profunda em Titusville, no Estado da Pensilvânia, Estados Unidos. Nesta primeira fase, observa-se a criação das primeiras empresas de perfuração de poços e a formação do mercado de produção e abastecimento de querosene – o chamado petróleo iluminante. A multiplicação das perfurações, que representava a disputa pela oportunidade de descobrir e produzir petróleo, levou rapidamente a uma saturação do mercado e à baixa dos preços. Ademais,

⁶ No ano de 1854 foi fundada a primeira Companhia de petróleo do mundo (*Pennsylvania Rock Oil Company*, reorganizada em 1858 para *Seneca Oil Company*), que começou a produzir comercialmente o querosene a partir do óleo (*rock oil*) recolhido de *Oil Creek*, um rio que cortava a cidade de Titusville. Rapidamente esse querosene substituiu os demais fluidos e atendeu ao crescimento acelerado da demanda por iluminantes. Quando o volume de óleo escumado do rio já não estava sendo suficiente para atender ao consumo, a Companhia contratou o ex-ferroviário Edwin L. Drake, com a missão de perfurar e descobrir óleo. Em agosto de 1859, utilizando técnicas e ferramentas de perfuração de minas de sal, o “Coronel Drake” perfurou o primeiro poço comercial de produção de óleo, com uma profundidade de 21 metros, sendo o marco inaugural da moderna indústria mundial de petróleo (AO&GHS, 2016; GINSBERG, 2009).

promoveu a substituição do óleo de carvão e outros iluminantes pelo petróleo (HÉMERY, 1993).

Desde a sua gênese, a IMP caracteriza-se por uma tendência à flutuação dos níveis de produção e, conseqüentemente, de preços, cujos ciclos instáveis ficaram conhecidos como *boom or bust*. Uma vez que os limites territoriais da superfície não eram aplicados ao subsolo, tão logo uma nova descoberta era anunciada, as terras vizinhas ao poço eram compradas e exploradas à exaustão, ocorrendo a extração simultânea de um campo por vários proprietários. O aumento da produção de petróleo resultava na redução de preços, até o momento em que o esgotamento precoce dos reservatórios e a diminuição de suas produções causavam novamente um aumento dos preços e a continuação do ciclo (YERGIN, 1992).

A exploração predatória dos campos, sem quaisquer preocupações com os desperdícios e danos causados nos reservatórios, decorria da “regra da captura”, cujo fundamento legal baseava-se na legislação britânica. Buscando auferir volumosos lucros, os proprietários de terra negociavam contratos cuja prioridade era a veloz e exaustiva produção do petróleo, antes que os donos do solo vizinho o fizessem. Além do aumento da produção, tal regra também acirrou a competição entre os produtores e ocasionou a propagação das técnicas necessárias à produção do petróleo bruto. Segundo Alveal (2003), esta “concorrência anárquica provocou enorme flutuação da produção e dos preços e nenhuma sustentação ao negócio petroleiro”.

Neste período foi constituído o alicerce básico da IMP, através de uma série de desenvolvimentos tecnológicos relacionados às atividades da cadeia petrolífera que ocorreram até o final da década de 1860. Destacam-se o descobrimento de novos métodos de perfuração - que diminuiram os prejuízos por meio de um melhor controle da pressão do gás; a troca de carroças e cavalos por ferrovias e oleodutos de madeira - que resultaram na diminuição dos custos de transporte; e a difusão da técnica do refino, permitindo a obtenção de diversos derivados. Ressalta-se, sobretudo, a percepção das características peculiares da indústria do petróleo e suas possibilidades de verticalização e integração, que a modificaram profundamente, como será visto adiante.

2.3.3 A Atuação de Rockefeller: Verticalização e Oligopolização

A segunda etapa da IMP é marcada pela atuação de John D. Rockefeller, empresário estadunidense que estabeleceu com sua atuação o padrão de concorrência a ser

perseguido. Rockefeller transformou profundamente a IMP, ao perceber os benefícios permitidos pela integração vertical – “inovação econômica chave para organizar a sua expansão e internacionalização, fundando o maior dos monopólios da economia americana na passagem do século” (ALVEAL, 2003).

Rockefeller observou que, assim como para as outras fontes de energia anteriormente utilizadas, a etapa de transporte desempenhava um papel decisivo sobre os custos do petróleo. Com vistas a conseguir o domínio do mercado, concentrou sua ação sobre os pontos de passagem obrigatórios da cadeia de produção, buscando solucionar as dificuldades associadas ao armazenamento, transporte e conversão do petróleo nos derivados de interesse e à comercialização destes últimos. Rockefeller buscou a diversificação da oferta e a atuação estratégica nos sistemas de transporte, refino e distribuição. Adicionalmente, minimizou os custos da indústria através da inserção de novas técnicas que ampliaram a produtividade e a qualidade dos derivados. Segundo Alveal (2003), “a preocupação pela qualidade dos produtos oferecidos ao mercado inspirou o nome à empresa que comandou: a *Standard Oil Company*”, criada em 1870, marco da segunda fase da indústria petrolífera.

A estratégia utilizada por Rockefeller focava na eliminação dos custos de transação e na apropriação das rendas geradas pela economia de integração. A ampliação do processo de refino e sua integração com as atividades de suprimento e distribuição tornou possível à empresa aumentar a competitividade de seu produto, por torná-la menos vulnerável à instabilidade do mercado de suprimentos.

A estratégia de integração vertical da *Standard Oil Company* foi fundamental para o seu sucesso. A construção de oleodutos de longa distância foi uma inovação que teve significativas repercussões na organização industrial e nas estratégias da companhia. O controle dos oleodutos e ferrovias permitiu minimizar as flutuações de preço e auferir altas margens de lucro. A companhia também foi a pioneira na venda de outros derivados, além do querosene⁷.

Uma vez consolidada a atuação da *Standard Oil Company* nas diversas etapas da cadeia produtiva associada à transformação do óleo bruto e sua distribuição atacadista, o derradeiro passo para a consolidação do “Império Rockefeller” foi seu ingresso no

⁷ Como o óleo combustível para alimentação das caldeiras de fábricas e navios e o óleo lubrificante para locomotivas e máquinas a vapor (TUGENDHAT; HAMILTON, 1975).

segmento *upstream*: a exploração e a produção de petróleo. Assim, a companhia se tornou monopolista integrada verticalmente em todos os setores da cadeia petrolífera, conseguindo grandes economias de escala, de escopo e de custos de transação⁸.

O monopólio da *Standard Oil*⁹, produto da rápida industrialização da economia dos EUA, construído ao longo dos últimos 30 anos do século XIX, foi contestado juridicamente a partir de 1890, quanto ao seu poderio econômico-financeiro. Por intermédio da pressão da opinião pública estadunidense, em 1890 foi outorgada a legislação do *Sherman Act* (Lei Antitruste), com vistas ao controle dos abusos de poder político e econômico dos grandes grupos empresariais – sobretudo da *Standard Oil*.

Já em 1901, ocorreu a descoberta de um petróleo de qualidade, abundante e acessível no meio-oeste e no sul dos Estados Unidos (Texas, Louisiana e Oklahoma), cujas reservas foram a fonte de crescimento de duas empresas que rapidamente ganharam peso internacional: Texas Co (Texaco) e *Gulf Oil* (CECCHI; DUTRA, 1998).

Cabe registrar que o desmantelamento do “Império Rockefeller” ocorreu somente em 1911, por determinação da Suprema Corte Federal dos Estados Unidos e dividiu o monopólio da *Standard Oil Company* em 33 empresas, gerando três das maiores multinacionais do petróleo: *Mobil Oil* (*Standard Oil of New York*), *Chevron* (*Standard Oil of California*, após Socal), e *Exxon* (*Standard Oil of New Jersey*, depois Esso)¹⁰.

2.3.4 Internacionalização e Surgimento de Novos Atores

No que tange ao desenvolvimento da indústria petrolífera fora dos EUA, assinala-se que em 1871 foram perfurados os primeiros poços de petróleo no continente europeu (em Baku, na Rússia). Desde 1890 tinha-se descoberto petróleo no Sudeste da Ásia, onde se implantou a “*Royal Dutch Company* para a exploração de poços de petróleo nas Índias Neerlandesas” (HÉMERY, 1993), organizada de forma bastante similar à *Standard Oil*. No entanto, estas empresas diferenciavam-se principalmente porque a companhia

⁸ “As economias de escala se deram em função do vultoso aumento dos volumes extraídos e processados sem que houvesse um aumento substancial do investimento em capital fixo, reduzindo-se assim o custo médio; as economias de escopo se deram em função de produzir, transportar e comercializar vários derivados a partir da mesma logística operacional, e as economias de custos de transação se deram em função de toda a cadeia petrolífera pertencer a uma única empresa” (SOUZA, 2006).

⁹ Em 1870, a *Standard Oil* controlava 10% do segmento de refino. Entre 1880/1890 controlava 90% do transporte ferroviário e de oleodutos, 80% da capacidade de refino e 90% da rede de distribuição e venda de derivados, que já invadiam Europa, Ásia, África do Sul e Austrália. Em 1900, 70% das atividades do truste de empresas comandadas por Rockefeller se desenvolviam fora dos EUA (ALVEAL, 2003).

¹⁰ Após os choques do petróleo dos anos 1970, outras empresas nascidas dessa divisão também se tornaram grandes: Amoco (*Standard Oil of Indiana*), Sohio (*Standard Oil of Ohio*), Conoco (*Continental Oil*), Atlantic (*Standard Oil of Virginia*).

estadunidense concentrava a sua produção em um único país, ao contrário da holandesa *Royal*, que buscava dispersar a produção, de forma que pudesse estar sempre distribuída em condições geográficas favoráveis.

Preocupada com o surgimento das novas empresas em continente europeu, que passaram a concorrer com seus óleos iluminantes, a *Standard Oil* tornou-se uma multinacional, montando sua primeira filial no exterior (YERGIN, 1992). A exploração de petróleo na Indonésia é bastante representativa do processo de internacionalização da IMP e da atuação intensiva das grandes empresas nos países hospedeiros. Em 1897 surgiu a sociedade inglesa *Shell Transport and Trading Corporation*, que, similarmente à *Royal Dutch*, direcionava esforços no mercado asiático.

Estes novos atores do mercado de petróleo se apropriaram do aprendizado e experiência estadunidenses. Desta forma, a construção integrada e verticalizada serviu de parâmetro para as novas companhias e tornou-se uma condição fundamental para a sobrevivência no setor.

Em 1907, a *Royal Dutch* e a *Shell* fundiram-se, formando o maior grupo petrolífero de origem não-estadunidense, visando ampliar as vantagens comparativas frente à *Standard Oil* através do aproveitamento de suas características complementares: a firma holandesa, mais especializada na produção e a britânica, mais eficiente nos transportes. A tática da recém-criada *Royal Dutch Shell* contava com a aquisição de reservas em diferentes países (Venezuela, Egito, Rússia, EUA e México) para assegurar a atuação sem concorrentes no segmento de *upstream*, bem como a manutenção do controle completo das reservas e acesso ao potencial geológico nos limites concedidos. A estratégia do controle geográfico, essencial para a dinâmica da IMP, foi introduzida por tais contratos de concessão para exploração e produção de petróleo em uma determinada região (CAMPOS, 2005). Ressalta-se que a concorrência entre companhias grandes e integradas caracteriza uma fase de alta competição oligopólica na IMP.

A descoberta de poços de petróleo na Pérsia (atual Irã) em 1908 levou à formação da *Anglo-Persian Oil Company* (atual *British Petroleum*), que viria estabelecer uma forte concorrência no setor, disputando o mercado internacional com a *Standard Oil* e o recente grupo da *Royal Dutch-Shell*.

A virada do século trouxe uma nova época para a IMP, não somente pelo descobrimento de novas províncias petrolíferas no mundo inteiro, mas também pelo progresso

tecnológico e industrial, ressaltando-se o desenvolvimento dos motores a combustão interna (Otto e Diesel). Tal invenção levou o petróleo a transformar-se na principal fonte de energia para o transporte e a um novo salto no uso da energia de origem fóssil.

O automóvel, conhecido como “carruagem sem cavalo”, modificou profundamente o mercado do petróleo a partir do início do século XX. A extraordinária propagação de seu uso baseou-se na autonomia e na velocidade que oferecia ao transporte individual. Dotado de motor a combustão interna que utilizava a queima de gasolina para propulsão (ciclo Otto), começou a ser produzido em grande quantidade por Henry Ford, em 1896. Com sua rápida ascensão, a IMP passou a direcionar esforços no sentido da ampliação de capacidade competitiva e a promover a adaptação das refinarias à produção de gasolina, fazendo com que o querosene diminuísse sua participação nestas unidades de 80% em 1880 para 60% em 1900 (MARTIN, 1990).

A Primeira Guerra Mundial, em junho de 1914, evidenciou o relevante papel do petróleo como componente estratégico. O Almirantado Britânico havia percebido suas vantagens e decidido substituir o carvão por óleo combustível na propulsão dos navios de guerra. Winston Churchill, chefe da armada, começou a demonstrar uma constante preocupação com a segurança de seus suprimentos, o que levou o Estado britânico a comprar a *Anglo Persian Oil Company* para “tornar o Almirantado proprietário de jazidas e produtor do combustível necessário ao seu suprimento” (HÉMERY, 1993), o que foi o ponto de partida para a construção da *British Petroleum*. Destarte, o óleo combustível, bem como a gasolina, transformaram-se em fontes de energia essenciais para a mobilidade das tropas dos países envolvidos na guerra (YERGIN, 1992).

Diante do cenário traçado, pontua-se nesta fase o advento da internacionalização da IMP, bem como o seu desenvolvimento fundamentado na competição entre companhias grandes e integradas, em que somente um pequeno número de multinacionais dominava reservas em diferentes partes do mundo, assim como os canais de distribuição. Controlar o petróleo em sua origem tornou-se “um imperativo tão vital para as empresas petrolíferas que se assistiu a uma verdadeira corrida aos campos de petróleo, cujas implicações geopolíticas passaram a comandar a política dos Estados” (HÉMERY, 1993). Assinala-se também neste período a intensificação da interferência dos países produtores (Estados Nacionais) e o estabelecimento de um novo quadro institucional visando reprimir o abuso de poder do mercado, a exemplo do citado *Sherman Act*.

2.3.5 Competição Oligopólica: Concessões, Consórcios e Cartel

Com o esgotamento das jazidas de petróleo exploradas durante a Primeira Guerra Mundial, a IMP passou a direcionar esforços na prospecção das regiões que apresentavam histórico de volumosas reservas (sobretudo no Oriente Médio), visando atender o aumento do consumo de derivados e manter o abastecimento de seus mercados. A procura por concessões nas regiões promissoras originou uma intensa disputa pela propriedade das jazidas e acentuação da rivalidade entre as grandes companhias estadunidenses e europeias – característica marcante desta fase de “alta competição oligopólica”, como denominado por Alveal (2003). Segundo a autora, como as firmas estadunidenses não tinham acesso às concessões dos grandes produtores do Oriente Médio, a estratégia do governo dos EUA foi apoiar fortemente a procura por novas fontes de suprimento, tanto no Oriente Médio como na América Latina e na Ásia, para exploração ou aquisição da produção de petróleo já existente.

Foi nesta fase que os principais atores da IMP perceberam a importância estratégica do controle do suprimento de petróleo para evitar os efeitos predatórios provocados pela sobreprodução e guerras de preço¹¹. De acordo com Hémerly (1993), “em vez de engajarem-se em uma luta mutuamente destrutiva, os dois protagonistas principais resolveram entrar em acordo”. Neste contexto é que foi implantada a “diplomacia do petróleo” pelas companhias europeias e estadunidenses, no fim da década de 1920, com vistas a permitir a ambas o livre acesso às jazidas, garantir seus direitos de exploração e produção nas regiões mais promissoras e, sobretudo, assegurar o controle do suprimento mundial. Yergin (1992) pondera que a formação de novos modelos de organização do mercado foi possível graças à característica da IMP de apresentar condições propícias à concentração. Neste sentido, as seguintes inovações institucionais foram estabelecidas: o sistema de concessões e a formação de consórcios.

O primeiro mecanismo (sistema de concessões) foi o instrumento jurídico formulado para definir os direitos de propriedade e controle das reservas e regular as relações entre as multinacionais e os governos dos países hospedeiros. Segundo Alveal (2003), “nesse campo relacional, a posição subordinada dos Estados hospedeiros frente às companhias petrolíferas definiu uma relação de imposição por sobre a de negociação”. É importante registrar que estes contratos cobriam extensas áreas do território e um período muito

¹¹ Como aqueles observados na disputa pela obtenção do mercado indiano pela *Standard Oil of New York* e pela *Royal Dutch Shell* (YERGIN, 1992).

longo de tempo¹² e remuneravam irrisoriamente os países detentores das reservas de petróleo, cuja contabilidade era de controle total da empresa.

Já o mecanismo de consórcios consistiu no instrumento de regulação das relações entre as companhias, concebido com vistas a impedir a competição predatória. Cabe assinalar que esta forma de associação foi uma estratégia comum a toda a IMP, em função do controle geográfico e do acesso às reservas e potencial geológico promissor do Oriente Médio. Estabelecido em 1928, o primeiro consórcio - *Iraq Petroleum Company* (IPC) - reuniu as maiores companhias estadunidenses e europeias¹³, tendo sido fundamental para o desenvolvimento da IMP, uma vez que “consagrou a propriedade e o controle conjunto da gestão, como mecanismo de prevenção da competição, antecipando a organização do cartel internacional” (ALVEAL, 2003).

O consórcio antecedeu o estabelecimento do Acordo de Achnacarry em 1928, marco da internacionalização da IMP, que dividiu precisamente o mercado mundial de petróleo, consolidando as posições obtidas pelas maiores companhias. O controle do mercado por um oligopólio de firmas internacionais foi concretizado através da coordenação de suas atividades e da ampliação das barreiras à entrada de novos atores.

O Acordo de Achnacarry foi assinado por três grandes companhias e depois aceito por outras quatro¹⁴, que partilhavam a extensa experiência profissional, porte e alto nível de diversificação geográfica e de produção, características que tornaram possível uma vantagem diferencial sobre as demais. Aragão (2005) menciona que

Estas companhias eram exemplos típicos de grandes empresas que se beneficiam simultaneamente da presença de ‘economias de escala’ (ao nível da produção, do transporte e do refino), de ‘economias de integração’ (verticalmente do poço a bomba) e de ‘economias de escopo’ (número de derivados).

Desta forma, no início da década de 1930 o mercado mundial de petróleo encontrava-se dividido entre as sete maiores companhias internacionais (denominadas *majors*), que juntas formaram associações para a exploração de campos estrangeiros. O regime de cooperação estabelecido demarca uma nova fase da IMP.

¹² Usualmente, contemplavam entre 60-75 anos e a quase totalidade da área geográfica do país.

¹³ *Turkish Petroleum Company*, SONJ, Mobil, BP, Shell, *Compagnie Française de Pétroles* (CFP) e *Mr. Gulbenkian* (ALVEAL, 2003).

¹⁴ Assinado por *Royal Dutch-Shell*, *Standard Oil of New Jersey* (Exxon) e *Anglo Iranian Oil Co* (BP) e posteriormente aceito por *Standard Oil of Califórnia* (Chevron), *Gulf Oil*, *Texaco* e *Mobil* (sucessora da *Socony-Vacuum Oil Co*).

O grupo formado pelas *majors* ficou conhecido como o “Cartel das Sete Irmãs”, considerado um modelo de regulação privada, bastante diferente do conceito de concorrência imperfeita da teoria econômica convencional. Hémery (1993) expõe que

Para Henry Deterding, presidente da Shell, o objetivo deste cartel era realizar um acordo mútuo incluindo a produção, o transporte e a venda de petróleo a preços prefixados (...) submetidos a um controle unificado e bem determinado; e (...) abastecer cada mercado, sempre que possível, a partir da fonte mais próxima.

O cartel formado por estas cinco multinacionais estadunidenses, uma britânica e uma anglo-holandesa definiu as condições do mercado mundial de petróleo e uma expansão relativamente estável do setor por cerca de quarenta anos¹⁵, através do estabelecimento de um eficiente sistema de preços e de controle da produção, de forma a não permitir a entrada de novos produtores. Reunidas, as *majors* assumiram o domínio de todas as atividades petrolíferas, graças à estrutura fortemente integrada, tanto horizontal quanto vertical. A operação verticalizada assegurava alta margem de lucro às companhias, já que o custo de produção do cru era baixo, ao mesmo tempo em que os derivados alcançavam preços progressivamente mais elevados. Por outro lado, o Cartel das Sete Irmãs também coibia o ingresso de outras companhias nas etapas a montante, pois estas não possuíam acesso aos acordos de concessão e, também, devido ao grande tempo demandado para prospecção e desenvolvimento em regiões ainda não conhecidas.

Conforme será mostrado a seguir, além da inovação do Cartel das Sete Irmãs, diversos atores perceberam a relevância de organizar e controlar o desenvolvimento e a expansão da IMP, o que terminou por resultar em outras mudanças institucionais a partir de 1920, destacando-se a criação de empresas estatais¹⁶ e as participações acionárias diretas de governos¹⁷. É relevante também assinalar as regulamentações emergentes da indústria de petróleo em diversos países e as novas condições contratuais reivindicadas pelos países hospedeiros no ato de outorga das concessões.

¹⁵ Estabilidade interrompida pelo Primeiro Choque do Petróleo em 1973.

¹⁶ Como a criação da CFP em 1924 na França e da *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* – YPF, em 1922 na Argentina.

¹⁷ A exemplo da compra majoritária das ações da *Anglo Persian Company* pelo governo britânico em 1914, como mencionado anteriormente.

2.3.6 Surgimento das Estatais e Renegociação das Concessões

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o papel estratégico da IMP enquanto instrumento de manutenção ou ampliação do poderio político-econômico dos países desenvolvidos apresentou-se mais claramente. Por outro lado, no caso dos países em desenvolvimento com grandes reservas, um maior controle sobre a produção representava a retenção de parte da renda petrolífera e, com isto, uma forma de alavancagem do seu crescimento econômico e dos processos de industrialização.

Desta forma, a partir de 1950, tanto os países consumidores quanto os possuidores das reservas de petróleo exploradas pelas Sete Irmãs por intermédio de acordos de concessão começaram a se mobilizar contra a política de apropriação da renda petrolífera controlada pelo cartel. A presença dos Estados Nacionais na dinâmica da IMP também foi impelida pelos imperativos de autonomia nacional e responsabilidade sobre o abastecimento interno de petróleo, fatores de natureza política.

O não interesse das multinacionais na realização de investimentos de riscos em países com pouca atratividade e o imperativo das nações em garantir o suprimento energético em seus territórios forneceram o suporte do processo de nacionalização do setor de petróleo pelo mundo, a exemplo da Itália (ENI), Alemanha (Veba Oel), Japão (JAPEX) e Brasil (Petrobras). A criação das estatais nos países do Oriente Médio ressalta-se como um elemento fundamental para o acirramento da disputa pela renda petrolífera mundial. Desta forma, no final dos anos 1950 se tornou evidente que o controle da indústria pelo cartel das *majors* vinha sendo gradualmente afetado pela entrada de novos atores na disputa desta renda energética, a qual se encontrava em franca expansão.

Os governos das nações e as empresas de petróleo foram envolvidos neste processo marcado por relevantes fatos políticos, como a nacionalização do petróleo mexicano em 1938 e a renegociação dos contratos de concessão na Venezuela e no Irã, na década de 1930. Merece destaque o acordo de 1948 com base na repartição de lucros paritária (*fifty-fifty*) entre o governo venezuelano e as companhias que lá atuavam. Esta negociação impactou os países hospedeiros da região do Oriente Médio, melhorando as cláusulas contratuais a seu favor. Neste sentido, observa-se nessa fase a renegociação dos contratos de concessão para prazos e áreas menores, assim como níveis superiores para a tributação dos rendimentos e da produção e, conseqüentemente, redução dos retornos e lucros das *majors*.

Neste cenário de evidenciação do caráter estratégico da IMP e fortalecimento dos Estados Nacionais, com surgimento de empresas estatais e renegociação dos contratos de concessão, foi criada a Organização dos Países Exportadores de Petróleo - OPEP, em 1960¹⁸. Após duas reduções de preços de petróleo sucessivas, em fevereiro de 1954 e julho de 1960, as *majors* tomaram a decisão unilateral de repassar a queda aos Estados produtores, os quais responderam criando um instrumento de defesa comum: a OPEP.

Os cinco países fundadores deste novo cartel – Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela eram então responsáveis por uma parcela superior a 80% das exportações mundiais de petróleo bruto (YERGIN, 1992). Em seguida, ocorreu a entrada de outros países: Catar (1961); Indonésia e Líbia (1962); Emirados Árabes Unidos (1967); Argélia (1969); Nigéria (1971); Equador (1973); Gabão (1975) e Angola (2007)¹⁹ (OPEC, 2016). A sua criação objetivava coordenar conjuntamente a política petrolífera de seus membros, de forma a levar os Estados produtores a se apropriarem de maiores parcelas da renda energética gerada, visando utilizá-la como principal fonte de financiamento do desenvolvimento econômico. Tal repartição traria como resultado a elevação dos preços do petróleo, consentido pelas *majors* a fim de conservar seus lucros que, em caso contrário, teriam sido reduzidos pelas exigências dos Estados concessionários.

Conforme avalia Campos (2005), neste contexto, destacou-se a Resolução nº 1.803/1962 da Organização das Nações Unidas, a qual “reconheceu o direito do Estado soberano de dispor livremente de suas riquezas e de seus recursos naturais, levando em consideração as suas estratégias de desenvolvimento”. A autora pondera que, se por um lado, a criação da OPEP representou de pronto uma restrição às estratégias das *majors* de aquisição do domínio total das reservas, por outro, não resultou imediatamente em poder de definição de preços do petróleo por parte dos países membros.

A revisão do sistema de concessões, as tomadas de participação no capital e a subsequente nacionalização das companhias concessionárias presentes nos Estados hospedeiros vinculados à OPEP significaram, segundo Alveal (2003), “o ponto de inflexão originário

¹⁸ “O império do Cartel das Sete Irmãs começaria a ser contestado nos anos 1960. A emergência de novos atores – os ‘Independentes’ americanos e as empresas estatais europeias – cuja estratégia justapôs-se, conjuntamente, com o desejo de emancipação de alguns países produtores, suscitou uma concorrência que forçava a baixa de preços e que desafiava o poder das *majors*, no que diz respeito à fixação dos preços de petróleo. Esta concorrência desestabilizou não somente as relações entre as sociedades petrolíferas (na medida em que atingia diretamente os rendimentos auferidos pelas maiores dentre elas), mas também o relacionamento entre estas e os Estados produtores.” (HÉMERY, 1993).

¹⁹ O Equador suspendeu a sua filiação de dezembro de 1992 a outubro de 2007, e a Indonésia, entre janeiro de 2009 a dezembro de 2015. Já o Gabão, se desfilou em 1975, mas retornou em julho de 2016.

da mutação posterior da IMP e, numa perspectiva abrangente e de longo prazo, tornou-se condicionante da evolução posterior da economia mundial”. Por intermédio destes movimentos, o regime jurídico da produção mundial de petróleo foi significativamente alterado²⁰.

Alveal (2003) assim resume os vários fatores responsáveis pela redução do nível de reservas do cartel das sete *majors* nesta fase da IMP:

i) a criação de empresas estatais e a nacionalização das indústrias de petróleo, ocorrida na década de 1950, aumentara nos anos 1960 e se completara nos anos 1970; ii) o retorno do petróleo russo ao mercado europeu já nos anos 1950; iii) a criação da OPEP em 1960 em resposta à redução de preços operada pelas majors; iv) o início da internacionalização das grandes companhias independentes americanas, minors, na década de 1960; v) a negociação de acordos mais favoráveis para os países exportadores das estatais europeias, notadamente a italiana Ente Nazionale Idrocarburi - ENI, desestabilizando as regras contratuais estabelecidas pelas grandes empresas do cartel da IMP nas concessões do Oriente Médio; e vi) o surgimento, enfim, de novos produtores, como a Indonésia e a Nigéria nos anos 1960.

2.3.7 Os Choques do Petróleo: Era da OPEP e Instabilidade da IMP

A estrutura de produção fortemente concentrada e a elevada diferença de custos de E&P entre os Estados, bem como a inelasticidade da demanda no curto prazo²¹ fundamentaram o sucesso da estratégia adotada pela OPEP. Sua atuação permitiu aos Estados membros a apreensão de uma parte superior das rendas petrolíferas, assim como uma maior influência do poder político nacional na administração e desenvolvimento do setor de petróleo.

No entanto, foi a guerra árabe-israelense que levou ao aumento do nacionalismo árabe e motivou o uso do poderio político e bélico para a aquisição de reservas de petróleo. Em 1967, durante a Guerra dos Seis Dias entre árabes e israelenses, a Arábia Saudita tentou infligir um embargo seletivo aos países simpatizantes de Israel: EUA, Reino Unido e, em menor escala, Alemanha Ocidental. A tentativa fracassou por algumas razões principais: excesso de capacidade produtiva fora dos países árabes do Golfo, assim como de

²⁰ Nesta época, também as novas companhias entrantes começaram a contestar a política das *majors*. Destaca-se a companhia italiana *Ente Nazionale Idrocarburi* - ENI, que em 1957 estabeleceu com o Irã a repartição de 75/25 (75% dos lucros para Irã e 25% para ENI), rompendo com o então importante acordo *fifty-fifty* adotado pelo cartel (YERGIN, 1992).

²¹ Devido à inexistência de substitutos imediatos.

capacidade suficiente em transporte marítimo para compensar o fechamento do Canal de Suez. Entretanto, o principal motivo foram as diferenças políticas entre as repúblicas da Liga Árabe, fomentadoras do embargo, e as monarquias da região, as quais temiam perder o controle de suas políticas de petróleo devido a conflitos em que não estavam diretamente envolvidas.

Em outubro de 1973, todavia, quando teve início a guerra árabe-israelense do *Yom Kippur*, a conformação dos cenários político e energético era bastante distinta. Como reação ao apoio dos EUA e Holanda a Israel, a opinião pública árabe advogou pelo uso do petróleo como instrumento de pressão. Desta forma, os Estados árabes da OPEP imediatamente embargaram todos os carregamentos de petróleo para os EUA e, posteriormente, Holanda, assim como divulgaram uma diminuição da produção de 5% por mês até a retirada de Israel e a restauração dos direitos palestinos (EIA, 2002). Nesse contexto, a OPEP elevou o preço²² do barril de petróleo no mercado internacional de US\$3,29 em 1973, chegando a US\$11,58 em 1974 (BP, 2016a).

Uma nova fase da IMP, a denominada Era da OPEP, pode ser demarcada por este Primeiro Choque do Petróleo, quando constatou-se com mais nitidez o enfraquecimento do poder político anglo-americano e, por conseguinte, da regulação privada das Sete Irmãs, substituída de certa forma, pela regulação da OPEP - que passou a ter condições de verdadeiramente determinar os preços do petróleo. O período da atuação integrada das Sete Irmãs, estatais e companhias independentes no mercado mundial de petróleo foi marcado por este controle de preços praticado pela OPEP a partir de 1973, quando a organização percebeu a possibilidade de utilização do seu poder político para tal fim.

Registra-se por toda a década de 1970 o processo de nacionalização de reservas e do capital petrolífero nos países da OPEP, com a criação de estatais e anulação das concessões outorgadas²³. A nacionalização representou claramente a transferência do poder de mercado do Cartel das Sete Irmãs para o da OPEP, com a redução significativa de seu peso no mercado mundial, já que não mais possuíam o controle das atividades de E&P. Este enfraquecimento do cartel das *majors* com o consequente fortalecimento da OPEP foram os fatores fundamentais da instabilidade do mercado de petróleo após o

²² Refere-se ao valor nominal (valor do ano corrente). Em valores constantes (US\$2015), os valores reais seriam US\$17,55 em 1973 e, em 1974, US\$55,69 (BP, 2016a).

²³ Caso da nacionalização da indústria de petróleo venezuelana em 1976 (através da PDVSA). O processo de nacionalização aconteceu em diversos países na década de 1970, por exemplo, na Argélia e Líbia (1971), Iraque (1972), Irã e Líbia (1973) (EIA, 2002).

choque. Todavia, a estratégia de nacionalização não logrou alcançar a transferência do controle total da renda petrolífera, pois as estatais não detinham tecnologia apropriada, nem tampouco experiência na comercialização do produto e controle dos ativos de distribuição e comercialização nos mercados consumidores.

O enfraquecimento do cartel das *majors* e o conseqüente fortalecimento da OPEP foram os fatores fundamentais da instabilidade da IMP após os choques do petróleo. Ressalta-se também o relevante papel desempenhado pelo aumento do preço do petróleo no mercado internacional para a redução do ritmo de crescimento da IMP e para a mudança na estrutura de organização desta indústria.

A importância da dimensão geopolítica foi reforçada pelo controle das reservas e do capital petrolífero exercido pelas recém-criadas estatais dos produtores da OPEP e levou à concentração nestas empresas, tanto das reservas quanto da produção mundial. Barreiras institucionais à entrada das empresas internacionais no E&P, resultantes da nacionalização dos principais produtores, levaram a uma desverticalização destas companhias. Neste contexto, as Sete Irmãs tiveram que abandonar o procedimento dos “preços internos” e buscar firmar contratos de longo prazo para o fornecimento de petróleo com as recém-criadas estatais dos produtores OPEP e, por último, desenvolver o mercado *spot*²⁴. Tavares (2005) declara que esse período também é marcado pela

redistribuição das cartas do jogo petrolífero: de um lado multinacionais, agora sem reservas, mas dispendo de um esquema de refino e distribuição e acesso aos principais mercados e, de outro, estatais, novas proprietárias das reservas, mas sem o acesso ao consumidor.

Em um primeiro momento, a estratégia adotada pela OPEP para a apreensão das rendas petrolíferas consistia na manipulação de preços e controle da produção. O aumento de preço terminou por fomentar a descoberta de novas áreas de produção não vinculadas à OPEP, graças à ampliação dos investimentos dos países consumidores e produtores não pertencentes à organização. Ademais, tornou possível inúmeros projetos de conservação de energia e substituição energética – pelo que se pode inferir que a OPEP subestimou a elasticidade-preço da demanda no médio e longo prazos. Além disso, as nações da Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento (OCDE) criaram em

²⁴ O petróleo passou a ser visto como uma *commodity* transacionável (CAMPOS, 2005).

1974 a Agência Internacional de Energia, com vistas a coordenar estratégias contra tais elevações de preço e mitigação dos problemas associados à política adotada pela OPEP.

O controle da produção por intermédio do mecanismo de cotas foi a 2ª estratégia adotada pela OPEP visando a manutenção das suas receitas. No entanto, devido ao arrefecimento da demanda por petróleo e derivados, tal tática não logrou sustentar-se no longo prazo, para o que também contribuiu o rompimento dos limites destas cotas por alguns países membros.

Em relação aos países consumidores de petróleo, o primeiro choque implicou em importantes transformações, com vistas à diminuição da parcela proveniente da OPEP em seus abastecimentos energéticos. Os elevados aumentos de preço provocaram enormes esforços no sentido do desenvolvimento de novas tecnologias, da abertura de novas áreas de exploração e produção e na reestruturação interna das companhias.

É preciso assinalar que o mercado internacional de petróleo atravessou uma fase de relativo equilíbrio nos cinco anos posteriores à súbita elevação dos preços em 1973. No entanto, este panorama de aparente estabilidade nos preços e constância na exploração atravessou uma brusca transformação de comportamento com a Revolução Iraniana em 1979, a qual estabeleceu um regime Islâmico de poder sob a tutela do Ayatollah Khomeini, substituindo o regime monárquico do Xá Reza Pahlevi. Com a deposição do Xá do Irã pela revolução islâmica, que extinguiu o Consórcio Iraniano de Petróleo em 1979, o mercado mundial foi severamente impactado pelo corte na produção de quatro milhões de barris/dia pelo Irã. Em poucos meses, o mercado mundial passou de uma situação de excesso para de escassez de oferta, que causou uma explosão nos preços que ficou conhecida como o Segundo Choque do Petróleo: o preço do barril de Árabe Leve se elevou de cerca de US\$14,02 em 1978, continuando uma trajetória ascendente que o levou a atingir US\$31,61 em 1979. Com a invasão do Irã pelo Iraque em setembro de 1980 e a possibilidade que os conflitos se estendessem para todo o Oriente Médio, ocorreu o estabelecimento de políticas para formação de estoques de emergência em todos os países importadores de petróleo do mundo. Como resultado, o preço do barril²⁵ atingiu em 1980 o valor de US\$ 36,83 (YERGIN, 1992).

²⁵ Refere-se ao valor nominal (valor do ano corrente). Em valores constantes (US\$2015), os valores reais seriam US\$50,97 em 1978, US\$103,20 em 1979, e US\$105,94 em 1980 (BP, 2016a).

Neste cenário, como será aprofundado no próximo Capítulo, ocorreu um ajustamento progressivo da demanda mundial de petróleo e foram fomentadas políticas e programas de conservação de energia, assim como esforços direcionados à pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas nos principais países consumidores. Por outro lado, as altas do preço possibilitaram a abertura de novas fronteiras de exploração, sobretudo em regiões de custos de produção mais elevados, a exemplo do Alasca, Sibéria, Mar do Norte, Costa Ocidental da África e de outras áreas nos países em desenvolvimento, como a Bacia de Campos no Brasil.

Cabe observar nesta fase da IMP que o surgimento de novos produtores de petróleo em regiões fora do comando da OPEP acirrou a concorrência e diminuiu a fatia de mercado da organização. A interferência institucional visando a redução da demanda e da dependência do petróleo dos países consumidores foi exercida por intermédio de medidas de seus governos, a exemplo dos subsídios ao consumo de etanol fornecidos pelo governo brasileiro mediante o Programa Nacional do Álcool, que será visto adiante.

Com vistas à diminuição dos riscos envolvidos, mais uma vez se tornaram essenciais as alianças entre os atores, objetivando a eficácia da competição e a permuta de tecnologias, informações, ou produtos, alterando o mercado de petróleo. Segundo Campos (2005),

a internacionalização dos negócios e formação de mercados spot, desverticalizando a indústria, reduziram também a área de atuação da OPEP, chegando-se ao ponto de questionar-se a propriedade das estatais e, por fim, argumentar-se que a privatização seria uma excelente possibilidade de obtenção de recursos.

2.3.8 Do Contra-Choque do Petróleo aos Dias Atuais

Devido às reestruturações da IMP, tanto de ordem institucional como estrutural, ocorreu a fragilização do poderio político e econômico da OPEP em meados da década de 1980. A competição entre os membros do cartel, o ingresso de novos produtores, o desenvolvimento de políticas governamentais de estímulo à pesquisa, desenvolvimento, produção e uso de fontes alternativas e de incentivo à conservação energética conduziram a uma redução da dependência de petróleo dos países consumidores e, conseqüentemente, à diminuição do poder de mercado da OPEP.

Nesse contexto, em uma tentativa de recuperação imediata deste domínio, em 1986, a OPEP reduziu os preços do petróleo e procurou instituir uma guerra de preços, evento que ficou conhecido como o Contra-Choque do Petróleo. Entretanto, em resposta, os

países consumidores elevaram as taxas referentes ao petróleo importado e também aumentaram os subsídios destinados às fontes alternativas. A instabilidade observada no comportamento dos preços tornou evidente não mais ser possível a manutenção das grandes margens de lucros da IMP naquele momento, o que levou à saída de diversas empresas do segmento de *upstream*.

Foi desta forma que a atuação do Cartel da OPEP passou a limitar-se ao papel de regulador da oferta mundial de petróleo. Cabe assinalar que os preços relativamente baixos observados, sobretudo quando confrontados aos vigentes no 1º e no 2º Choques, não significavam os interesses da OPEP em atuar como um regulador do mercado, mas, sim, refletiam as diferentes posições internas dos membros do cartel, que visavam alcançar alguma previsibilidade em suas receitas.

A coordenação da OPEP no sentido de limitar a competição na IMP foi a principal distorção observada no mercado de petróleo, pelo lado da oferta. Já pelo lado da demanda, os principais elementos foram a proteção dos países consumidores à concorrência internacional, que se deu de diferentes maneiras, tanto por meio da criação de tributos à importação de petróleo ou de subsídios ao produtor local, como por intermédio do surgimento de barreiras ambientais, entre outros.

Além da produção de petróleo proveniente de áreas não pertencentes à OPEP, cabe assinalar a alteração da sua participação na matriz energética mundial de 46% em 1973 para 38% em 1987 (IEA, 2016a). Registra-se também neste período o crescimento do mercado *spot*, que removeu a força dos países da OPEP como formadores de preços. Enquanto, no final dos anos 1960, o mercado à vista representava apenas 10% da comercialização mundial, no final de 1982, uma parcela superior a 50% do óleo cru passou a ser negociada no mercado *spot* (YERGIN, 1992).

Além da realocação geográfica dos investimentos em novas áreas de produção, a década de 1980 foi marcada como uma fase de aquisições das *majors*. Com a nacionalização realizada nos países do Oriente Médio, as companhias internacionais não tinham mais acesso a reservas de petróleo a baixos preços de forma a assegurar o suprimento de suas refinarias e de seus mercados consumidores e, portanto, precisaram se reestruturar. Destarte, a IMP vivenciou então um período de megafusões, aquisições e parcerias, sendo que as grandes companhias que mantiveram a sua primazia o conseguiram através do seu volume de vendas e da sua capacidade de refino (MARTIN, 1990).

Tavares (2005) assinala que a fragmentação da indústria constitui-se na característica mais marcante do cenário de transformações da década de 1980, uma vez que

o processo de “desverticalização” criou multinacionais sem reservas, estatais sem mercado e proporcionou o aparecimento de uma infinidade de intermediários, refinadores, transportadores e pequenos produtores, permitindo o incremento do número de transações realizadas. Não foram somente as transações que aumentaram e mudaram de natureza, mas também o sistema de fixação de preços foi alterado. Houve a consolidação do mercado spot de petróleo, que enfraqueceu o poder de fixação de preços da OPEP.

Neste contexto, Campos (2005) assinala que as estratégias das multinacionais de petróleo a partir da década de 1980 convergiram para:

1) abandono da prática de “preços internos”; 2) estabelecimento de contratos de longo prazo com as estatais dos antigos países hospedeiros; 3) desenvolvimento do mercado spot; e 4) redução de custos através do aumento da concentração industrial (fusões e aquisições) e o aumento dos acordos de cooperação inter-firmas. O objetivo desses movimentos estratégicos era, basicamente, acessar o controle de novas áreas de reservas.

Em função da abertura do setor de petróleo e da carência de tecnologia e de recursos de alguns países produtores, as grandes companhias voltaram a conquistar posições. Por outro lado, para não perderem as colocações já adquiridas, as estatais mais importantes marcharam no sentido de uma maior verticalização, buscando expandir sua atuação tanto no refino como em outros segmentos fora do setor energético, tais como petroquímica, fertilizantes, química fina e biotecnologia. Pode-se inferir que as reformas ocorridas no mundo foram essenciais no novo direcionamento dado pelas grandes do petróleo e na nova dinâmica da IMP.

A IMP se transformou de uma situação em que as *majors* detinham o controle quase que integral do mercado mundial para uma estrutura concorrencial entre as megaestatais e as companhias privadas. A reestruturação institucional da indústria observada na década de 1990 permite destacar para o período uma tendência de redução do papel do Estado, que deixou de atuar como um interventor-produtor para dedicar-se à regulação. Para tanto, contribuíram as diversas privatizações de estatais, o fim das regulações que restringiam ou dificultavam a livre negociação do petróleo e seus derivados e, ainda, a flexibilização de monopólios públicos com a abertura das atividades da indústria aos capitais privados.

A adequação das companhias ao novo cenário da IMP tornou imperativas algumas reorientações de ordem estratégica. Dentro desta nova ótica, destacam-se os esforços direcionados à expansão de seus interesses no setor de energia, buscando a diversificação de insumos, de forma a converterem-se de empresas de petróleo em empresas de energia²⁶. Também está associado ao novo contexto da IMP o crescimento de indústrias regionais oriundas da flexibilização de mercados que antes eram monopolizados por suas estatais e, ainda, a eliminação gradual das fronteiras nacionais, sobretudo no segmento de *upstream* (FREIRE, 2001).

Atualmente, os principais atores que configuram o mercado de petróleo são as empresas, os governos de países produtores/exportadores, os governos de países importadores e organizações internacionais. No que tange à dominância nas atividades a montante e a jusante do segmento petrolífero, observa-se que a estrutura geral da IMP não se modificou, ainda em que pese o surgimento de uma nova categoria de super empresas de petróleo, como resultado dos processos de fusões e aquisições. As grandes estatais de petróleo continuam a deter as maiores reservas e produções de petróleo e gás. Por outro lado, as grandes *majors* continuam dominantes no segmento a jusante das atividades petrolíferas. Observa-se, ainda, a reverticalização das empresas de petróleo por meio de *joint ventures* entre as empresas produtoras e as companhias privadas. Cabe assinalar que os altos preços do petróleo no mercado internacional, na última década, permitiram que projetos de fontes renováveis e de produção não convencional de hidrocarbonetos, de maiores custos, tivessem atratividade econômica. Como resultado, enquanto a produção mundial de petróleo de fontes convencionais teve comportamento estável, a produção de fontes não convencionais tem crescido significativamente (como o *tight oil* e o *shale gas* dos EUA e as areias betuminosas do Canadá).

A atual capacidade de influência da OPEP sobre o comportamento dos preços do petróleo depende tanto das condições de oferta e demanda no mercado internacional quanto dos vários aspectos que podem afetar a coesão dos seus membros, principalmente nos períodos de crise. Conforme aponta ANP (2014a), “o poder da OPEP está calcado no enorme volume de reservas provadas de petróleo (...), e de baixo custo, e nas próprias características do mercado de petróleo, com baixas elasticidades-preço da oferta (...) e da demanda (...)”. Diante desse contexto, a participação da OPEP na oferta mundial de

²⁶ Não obstante, o principal objetivo das companhias atuantes no *upstream* permaneceu sendo a aquisição de novas reservas.

petróleo e a sua habilidade de coordenar o ingresso de novo fluxo de petróleo no mercado passaram a representar os pontos cruciais para a avaliação da sua capacidade de influenciar os preços do recurso.

No que tange aos preços, a influência de uma série de fatores tem sido somada às questões intrínsecas ao perfil da oferta e demanda mundial de petróleo, com destaque para “a instabilidade política dos países com produção relevante, o ritmo de crescimento das principais economias avançadas e em desenvolvimento e as expectativas dos agentes que realizam transações no mercado futuro”, conforme sinaliza ANP (2013a).

Ao descrever a longa evolução industrial da IMP, buscou-se aqui evidenciar que o comportamento estratégico dominante dos atores envolvidos tem sido, conforme apontado por Tavares (2005):

procurar modos de organização industrial que coordenem, de um lado, a integração vertical e horizontal das atividades petrolíferas nas fronteiras nacionais e, de outro, o engajamento internacional nos vários segmentos em outros países ou regiões econômicas.

2.4 Formação e Evolução da Indústria Brasileira de Petróleo

De forma diversa ao estabelecimento da indústria mundial de petróleo, o parque brasileiro surgiu somente em meados do século XX, erigido no centro de um projeto de desenvolvimento industrial fundamentado em políticas setoriais de substituição de importações. Apresenta-se aqui as principais mudanças institucionais, políticas e estruturais do setor de petróleo no Brasil. Inicialmente, retrata-se o período de formação da indústria nacional, que culmina com o estabelecimento do monopólio estatal e com a criação da Petrobras. As principais transformações ocorridas até os dias atuais são descritas posteriormente, com destaque para o período que sucede a promulgação da Lei do Petróleo – Lei 9.478/1997 (BRASIL, 1997).

2.4.1 Formação da Indústria Brasileira de Petróleo

Em 1897 foi perfurado na região de Bofete (São Paulo) aquele que é considerado o primeiro poço para a exploração de petróleo no Brasil, empreitada realizada pelo fazendeiro paulista Eugênio Ferreira de Camargo²⁷.

²⁷ Em 1892, Camargo “teve a atenção despertada para um depósito de asfalto (...) e deu prosseguimento às perfurações (...). Este trabalho resultou no encontro de uma pequena quantidade de petróleo. Entretanto, sem recursos para prosseguir, (...) encerrou suas atividades no Bofete. Todavia, (...) inscrevera o seu nome como o primeiro brasileiro a encontrar vestígios reais de petróleo no País” (VICTOR, 1970).

É importante observar que a Constituição promulgada em 1891 estabelecia que os donos do solo tinham a posse do subsolo e suas riquezas, adotando-se o regime de propriedade plena. Os estados da federação detinham as terras devolutas e eram os responsáveis pela regulamentação da indústria de mineração, sendo impedida a ação federal direta. Assinala-se que a Constituição refletia diretamente o interesse dos fazendeiros que controlavam a economia brasileira - fundamentalmente agrícola, e opunham resistência à ampliação do poder federal em seus negócios. Em sua maioria, não se interessavam pela exploração de petróleo em suas fazendas (CAMPOS, 2005).

Em 1907 ocorreu a criação do Serviço Geológico e Mineralógico Brasileiro (SGMB), visando promover o levantamento geológico e organizar e profissionalizar a atividade de perfuração de poços no país. Sua estrutura contribuiu para importantes levantamentos da composição geológica de bacias sedimentares e treinamentos de profissionais brasileiros do setor petrolífero (VICTOR, 1970). No Brasil, a busca de petróleo no término do século XIX e começo do século XX não alcançou significância devido à falta de capital, recursos, equipamentos, pessoal qualificado e incentivos legislativos, o que dificultou a obtenção de resultados positivos. Campos (2005) assinala que o período que precedeu a Revolução de 1930 e todas as transformações advindas é caracterizado por uma deficiência da iniciativa privada na pesquisa de petróleo no território brasileiro.

Quando Getúlio Vargas assumiu o poder, em novembro de 1930, teve início uma fase de mudança econômica e social do país apoiada em uma base nitidamente nacionalista, que atingiria fundamentalmente o setor de petróleo. Em 1931, Vargas anulou a Constituição de 1891 e estabeleceu o poder do Governo Federal de permitir a pesquisa e a lavra dos recursos minerais em todo o território, retirando o controle das minas e da mineração das mãos dos proprietários rurais e dos Estados. Em 1933, foi criada a Diretoria Geral da Produção Mineral (DGPM)²⁸, que passou a ser responsável por todas as propriedades minerais, licenças de prospecção e concessões de mineração que estavam sob a jurisdição dos Estados (MORAIS, 2013).

Através da promulgação da Constituição Federal de 1934, o Governo Vargas começou a enfatizar legalmente o processo de nacionalização dos recursos naturais, adotando o regime de concessão e instituindo a dicotomia entre a propriedade do solo e do subsolo. Desta forma, estabeleceu a separação do direito de propriedade do solo da exploração dos

²⁸ Em 1934, transformou-se no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM).

recursos minerais, assim como também condicionou a atividade exploratória à autorização ou concessão federal.

Em 1937 foi promulgada pelo governo do Estado Novo uma nova Constituição, com um caráter ainda mais nacionalizante que a anterior, uma vez que estabeleceu que as empresas organizadas para a exploração das minas deveriam ser constituídas por acionistas brasileiros. Até 1938, estavam franqueadas ao capital privado nacional e estrangeiro as atividades de pesquisa, exploração, produção e refino. Entretanto, se por um lado o empresariado nacional não possuía recursos financeiros nem tecnológicos para investir fortemente no setor, por outro, os capitais das grandes companhias internacionais não eram direcionados ao país. Os seus interesses eram tão somente controlar as atividades de distribuição e comercialização de combustíveis em países que não apresentavam áreas com atratividade para o descobrimento de significativas jazidas de petróleo, como se supunha ser o caso do Brasil.

No decorrer do ano de 1938 ocorreu a formulação de uma série de regulamentações que reforçavam a existência de um projeto nacionalista para o setor petrolífero. O Decreto-lei nº 366 estabeleceu como propriedade do Governo Federal os campos a serem descobertos (BRASIL, 1938a). É importante destacar a criação do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), mediante o Decreto-lei nº 395 (BRASIL, 1938b), que também determinou a nacionalização imediata da indústria de refino do petróleo, fosse ele de origem importada ou doméstica, declarando como de utilidade pública o abastecimento nacional, essencial à defesa militar e econômica do país. Através deste aparato legal foi estabelecido o estrito controle governamental sobre todos os aspectos da indústria petrolífera, cabendo exclusivamente ao Governo Federal autorizar, regular e controlar as atividades de importação, exportação, transporte (inclusive a construção de oleodutos) e a distribuição e comercialização de petróleo e derivados em todo o território nacional.

Cabe assinalar neste período o início da produção de petróleo no Brasil, no município de Lobato, interior da Bahia. Em 1939, a perfuração executada pelo DNPM fez jorrar petróleo, evidenciando sua existência em território nacional. Apesar de ter se revelado economicamente inviável, essa descoberta estimulou novas pesquisas do CNP na região do Recôncavo Baiano. “No dia 14 de dezembro de 1941, no poço Candeias-1 (...) era iniciada no Brasil a exploração de petróleo em escala comercial (...). Com repercussão nacional, o fato mudou os rumos da economia brasileira” (PETROBRAS, 2011).

Neste período, é importante destacar a atuação do escritor brasileiro José Bento Monteiro

Lobato, que desempenhou um papel essencial na grande campanha nacionalista de defesa do petróleo, tendo uma vida marcada pela grande militância política e institucional. Em 1931, criou a Companhia Petróleos do Brasil. Entre seus esforços na luta pela soberania nacional, ele escreve cartas a Vargas, atua na imprensa, realiza palestras, vai para os Estados Unidos aprender as novas técnicas de exploração e de produção do petróleo e exige políticas para exploração das riquezas encobertas no solo (tanto o petróleo como o ferro). Com seu persistente ativismo, o escritor é preso em São Paulo, em 1941, acusado de querer desmoralizar o CNP (ALMEIDA, 2008).

Com a Segunda Guerra Mundial, o Brasil passou a sentir a escassez de petróleo, dada a dificuldade de importar derivados. Neste contexto, mostrava-se mister a instalação de um parque nacional de refino para o desenvolvimento da indústria no país, de forma a tornar possível a apropriação do lucro da atividade do setor petrolífero, que encontrava-se concentrado na distribuição de derivados, controlada pelas multinacionais. No entanto, o projeto de suprimento integral da demanda interna de combustíveis através da construção de um parque nacional de refino não conseguiu ser concretizado neste período, marcado pela instalação de modestos empreendimentos²⁹.

Após o fim da Segunda Guerra, já no Governo Eurico Dutra, foi promulgada a Constituição de 1946, que manteve a distinção entre a propriedade do solo e do subsolo, mas estabeleceu que o setor de petróleo era responsabilidade de cidadãos brasileiros ou companhias organizadas no país, sem especificar a nacionalidade dos seus acionistas, e também determinou que o monopólio pela União somente poderia ocorrer mediante lei. No entanto, o nacionalismo reapareceu com maior força na campanha “O Petróleo é Nosso”, que reivindicava o monopólio do Estado para todas as etapas da indústria. No fim de 1946, o Governo Dutra determinou a construção de uma refinaria em Mataripe (São Francisco do Conde, BA) para processar o petróleo baiano. Com capacidade de processar 5 mil barris/dia, entrou em operação em 1950³⁰ (TAVARES, 2005).

²⁹ Em 1932 entrou em operação a Refinaria Riograndense (Uruguaiana, RS) com capacidade de 150 barris/dia - primeira iniciativa brasileira no setor de refino de petróleo; e, em 1936, a Refinaria Ipiranga (Rio Grande, RS), com capacidade para 1.000 barris/dia e a Refinaria das Indústrias Matarazzo de Energia (São Caetano, SP), com capacidade para 500 barris/dia (TAVARES, 2005).

³⁰ Em 1948, com o lançamento do Plano Econômico Salte, o Governo planejou a ampliação dessa refinaria, que ainda encontrava-se em obras, e a instalação de outra, construída em Cubatão (SP). No início da década de 1950, o CNP aprovou a concessão para a instalação de três refinarias privadas: União (20 mil barris/dia, Mauá - SP) e Manguinhos (10 mil barris/dia, Rio de Janeiro - RJ), que entraram em funcionamento em 1954. A Refinaria de Manaus (AM), com capacidade inicial para 5 mil barris/dia, foi inaugurada no final de 1956 (TAVARES, 2005).

2.4.2 A Criação da Petrobras e o Monopólio Estatal

Em 1951, Vargas voltou ao governo através de eleições democráticas, declarando o firme propósito de fazer com que o país vivenciasse um período de forte crescimento e modernização da economia. O Brasil não possuía nem produção de petróleo tampouco um parque instalado de refino suficiente para suprir o mercado nacional, sendo determinante o peso das importações sobre o balanço de pagamentos e, por conseguinte, sobre o crescimento econômico. Mostrava-se imperativo o desenvolvimento de fontes nacionais de energia visando a redução do grau de dependência externa e diminuição da vulnerabilidade da economia, para o que grande parte dos recursos foi direcionada ao desenvolvimento dos setores de petróleo e de eletricidade.

Diante do cenário traçado, revelava-se imprescindível uma série de ações políticas e econômicas que alavancassem a indústria brasileira de petróleo, de forma a evitar uma possível estagnação econômica como consequência da escassez do energético. Este período foi marcado por um debate acirrado sobre qual a melhor política a ser adotada pelo Brasil: havia grupos defensores do monopólio estatal, enquanto outros defendiam a participação da iniciativa privada (ANP, 2015). Os liberais defendiam a abertura do setor às multinacionais. Os nacionalistas, partidários do monopólio estatal e defensores da Campanha “O Petróleo é nosso”, reivindicavam a ampliação do controle do Estado. Em 1951, Vargas enviou ao Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 1.516, que versava sobre a constituição da Sociedade por Ações “Petróleo Brasileiro S.A.” (VICTOR, 1970). Apesar do objetivo de Vargas ser a rápida aprovação do projeto, permitindo um imediato aumento do investimento no setor, “do Projeto de Lei nº 1.516 até a Lei nº 2004 o debate foi árduo, complicado, complexo”, conforme aponta Campos (2005).

Desta forma, após anos de embate entre os dois grupos e de intensa mobilização popular, em 3 de outubro de 1953 o Presidente Vargas sancionou a Lei nº 2.004, que instituiu o monopólio da União na pesquisa, lavra, refino e transporte do petróleo e seus derivados e criou a Petróleo Brasileiro S.A – Petrobras (BRASIL, 1953). A companhia estatal de propriedade e controle nacional, com participação majoritária da União, monopolista integrada verticalmente nos segmentos de E&P e refino, foi encarregada de explorar, de forma direta ou através de subsidiárias, todas as etapas da indústria brasileira de petróleo, sendo responsável pelo seu desenvolvimento.

A Lei 2.004/1953 também estabeleceu o controle das refinarias que viessem a ser instaladas no Brasil, ficando excluídas do monopólio estatal aquelas que já estavam em

funcionamento. O CNP recebeu a atribuição de orientar e fiscalizar o monopólio da União, com competência para supervisionar o abastecimento brasileiro de petróleo³¹. A partir da promulgação da Lei foram criadas as bases da política nacional petrolífera, que perduraram por quase 45 anos³². Com a criação da Petrobras, teve início o desenvolvimento da indústria brasileira de petróleo, multiplicando-se as atividades de E&P e as pesquisas em diversas bacias.

Em janeiro de 1956 assumiu a Presidência Juscelino Kubitschek de Oliveira, cuja política desenvolvimentista direcionou o Brasil para o processo de industrialização que proporcionou um longo período de crescimento econômico. Seu governo também foi marcado pela ênfase à indústria automobilística e construção de rodovias, cujo resultado foi uma crescente demanda por derivados. O parque de refino existente atendia somente uma pequena parcela do consumo brasileiro. Devido aos baixos preços do petróleo cru, a Petrobras optou prioritariamente pela instalação de novas refinarias, tendo como meta tornar o Brasil autossuficiente em refino e diminuir os gastos com a importação de derivados. A companhia investiu também na criação de uma infraestrutura de abastecimento, melhorando a rede de transporte e construindo terminais em pontos estratégicos do país.

Em janeiro de 1961, Jânio Quadros assumiu o poder após eleições. No entanto, já em 25 de agosto daquele ano, renunciou à Presidência do Brasil e em seu lugar o vice João Goulart tomou posse. Em 1964, Jango nacionalizou as refinarias privadas e a distribuição dos derivados, completando o monopólio estatal. Foi um dos seus últimos atos como presidente, pois uma articulação político-militar comandada pelas Forças Armadas brasileiras tomou o poder, em um episódio que ficou conhecido como o Golpe de 1964³³, iniciando um longo e sombrio período de ditadura militar no Brasil. A partir de então, um novo papel passou a ser exercido pelas estatais: além de continuar com suas funções de suporte da acumulação privada, também precisaram se transformar em empresas lucrativas e competitivas. Campos (2005) assinala que

³¹ Definido em seu Artigo 3º (§1º) como: “produção, importação, exportação, refinação, transporte, distribuição e comércio de petróleo bruto, de poço ou de xisto, assim como de seus derivados”.

³² Até a promulgação da Lei 9.478, de 06 de agosto de 1997, conhecida como Lei do Petróleo.

³³ Oportuno assinalar que, à época, os militares que tomaram o poder queriam denominar como revolução o golpe de Estado de 1964. Mas a História é implacável. Infelizmente, na ocasião, o Supremo Tribunal Federal nada fez para barrar os chamados atos institucionais que rasgaram a Constituição vigente (1946). Agindo desta forma, o STF participou e deu cobertura ao golpe de Estado que depôs o presidente constitucional João Goulart, embasando a tese de que sua deposição era constitucional.

para tanto, eliminaram-se os subsídios a autarquias e empresas de economia mista, passando o Estado a desempenhar a função do grande capital, aceitando e estimulando associações com o capital privado nacional e estrangeiro. Formava-se, assim, o tripé Estado - Capital Nacional - Capital Estrangeiro que influenciaria toda a economia brasileira.

Nesse momento, a Petrobras precisou se ajustar à lógica do mercado seguindo os rumos da IMP, através da integração vertical e criação de subsidiárias.

Na década de 1960, a expansão do parque nacional de refino para o suprimento da crescente demanda por derivados ocorreu com a entrada em operação de três refinarias: REDUC, REGAP e REFAP³⁴. Registra-se também a criação do CENPES - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, em 1966 e a primeira descoberta de petróleo no mar, no campo de Guaricema (Sergipe), em 1968. Visando a diminuição do custo das importações, em 1962 o Governo concedeu à estatal o monopólio da importação de óleo cru e derivados, fornecendo maior poder de barganha nas negociações, o que resultou em uma grande economia de divisas para o país.

Como resultado de um período de grande crescimento econômico do país, conhecido como “Milagre Brasileiro”, o consumo de derivados aumentou expressivamente no começo dos anos 1970, passando de 174 milhões de barris em 1970 para 260 milhões em 1973 (EPE, 2016a). Com vistas a assegurar o abastecimento nacional, a Petrobras ampliou novamente o parque de refino mediante a entrada em operação da REPLAN e da REPAR³⁵. Registra-se a aquisição das refinarias União (rebatizada como Refinaria de Capuava-SP) e de Manaus (AM) pela Petrobras em 1974. A expressiva ampliação da capacidade de processamento tornou possível que o país substituísse a importação de derivados, mas que ainda se mantivesse muito dependente do óleo importado³⁶. Para tal, contribuíram o baixo preço do petróleo no mercado internacional e os fracos resultados no E&P em terra, que não viabilizavam a produção em larga escala.

No início dos anos 1970 também cresceram os esforços para o aumento da participação do petróleo nacional no consumo interno. A Petrobras ampliou suas atividades

³⁴ Em 1961, entrou em operação a Refinaria Duque de Caxias (REDUC, Duque de Caxias-RJ) e, em 1968, as Refinarias Gabriel Passos (REGAP, Betim-MG) e Alberto Pasqualini (REFAP, Canoas-RS).

³⁵ Em 1972 iniciou a Refinaria do Planalto Paulista (REPLAN, Paulínia-SP) e em 1977, a Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR, Araucária-PR).

³⁶ A estrutura das importações foi profundamente modificada “na época de criação da Petrobras cerca de 98% das compras externas correspondiam a derivados e só 2% a óleo cru, em 1967 o perfil das importações passava a ser 8% de derivados e 92% de petróleo bruto” (AGÊNCIA PETROBRAS, 2013).

exploratórias na plataforma continental do Brasil, obtendo êxito no descobrimento de uma série de campos. Destaca-se o de Garoupa em 1974, o primeiro com volume comercial descoberto na Bacia de Campos, litoral do Estado do Rio de Janeiro, que deu início a uma nova etapa do E&P no país. “O caminho era o mar: em 13 de agosto de 1977, a Bacia de Campos deu início à sua produção comercial *offshore*” (PETROBRAS, 2012).

O substancial aumento dos preços internacionais do petróleo observado no primeiro choque acentuou as dificuldades associadas ao desenvolvimento econômico baseado no crescente consumo do fósfil. A balança comercial brasileira sofreu um grave *déficit*, tornando imperativo o estabelecimento de uma política energética para redução da dependência externa. Munido deste argumento, o General Geisel introduziu em 1975 uma relevante mudança: a possibilidade dos ‘contratos de risco’³⁷ na pesquisa do petróleo, celebrados diretamente entre a Petrobras e companhias privadas, os quais tornavam possível a exploração pelas multinacionais. Essa foi a primeira experiência brasileira de flexibilização do *upstream*. A política econômica de combate à degradação das contas externas do país e pressões inflacionárias provenientes do primeiro choque adotada pelo Governo Geisel foi a manutenção do crescimento do PIB, mediante investimentos em infraestrutura³⁸.

No entanto, o segundo choque do petróleo em 1979 evidenciou que aquela não era uma crise passageira e que se fazia mister a redução do consumo de derivados bem como sua substituição por fontes alternativas, provocando a ruptura do padrão de política econômica vigente. Neste contexto, diversas ações foram empreendidas pelo Governo Federal, como será detalhado no próximo capítulo.

A política energética nacional com vistas à redução do grau de dependência focava no aumento da oferta interna de petróleo, através da ampliação do E & P domésticos. Neste contexto, a Petrobras passou a priorizar seus investimentos na prospecção e produção – principalmente *offshore*, de forma a aumentar o nível das reservas provadas, sendo

³⁷ Nos contratos de risco o interessado poderia realizar pesquisas de exploração e prospecção em determinada área, cabendo à Petrobras o controle e a supervisão das atividades e o exercício exclusivo de todas as etapas da produção. Caso houvesse êxito, à empresa era assegurado o direito de produzir e vender à Petrobras, proprietária das reservas. Em caso contrário, deveria arcar com todos os prejuízos e devolver as áreas à União. “*Entretanto, os contratos de risco não surtiram o efeito desejado pelo Governo: foram firmados 103 acordos entre 1975 e 1988, quando a nova Constituição proibiu as concessões à iniciativa privada*”, segundo Aragão (2005).

³⁸ Em uma tentativa de preservação da base para o crescimento industrial e também das altas taxas de expansão econômica do “Milagre Brasileiro”, foi lançado o 2º Plano Nacional de Desenvolvimento em 1974. O Plano contemplava investimentos estatais em projetos de infraestrutura e incentivo à substituição de importações de bens de capital e insumos, que resultassem em economia de divisas (CAMPOS, 2005).

idealizado o conceito de autossuficiência no consumo de petróleo e derivados. A estatal acompanhou a trajetória da IMP, investindo fortemente no segmento *upstream*.

Os investimentos em E&P foram os responsáveis pela criação de uma tecnologia de ponta em águas profundas, em que a companhia é líder mundial, e da ampliação das reservas. Como resultado desses esforços, a produção nacional aumentou, reduzindo a dependência energética do país. Na década de 1980, a Petrobras passou a focar na exploração nas regiões de águas profundas da Bacia de Campos, resultando na descoberta de campos gigantes³⁹ (PETROBRAS, 2012). A prioridade dos investimentos nas atividades de E&P em águas profundas resultou em que o petróleo nacional passasse a ocupar um espaço cada vez maior na carga das refinarias, sinalizando o início da mudança do papel do Brasil para país significativamente produtor de petróleo.

A Refinaria Henrique Lage - REVAP (São José dos Campos-SP) entrou em operação em 1980. A década de 1980 foi marcada pelas adaptações das instalações da Petrobras de forma a atender à evolução do consumo de derivados. Com a crise do petróleo, alcançaram preços extremamente elevados os recursos adequados ao parque nacional, projetado para óleos leves e médios importados do Oriente Médio. Restava ao Brasil o suprimento de óleos pesados, inadequados tanto ao perfil do mercado nacional como à configuração das refinarias. Desta forma, a Petrobras buscou a ampliação da capacidade de refino do petróleo nacional (pesado) e a conversão dos excedentes de óleo combustível em derivados de maior valor agregado como diesel, gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP), conforme Tavares (2005).

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, foram mantidos os princípios firmados pela Lei 2.004/1953 no que concerne à distinção entre a propriedade do solo e a do subsolo. A Constituição reiterou que a propriedade sobre os recursos minerais cabia à União e foram mantidos os papéis desempenhados pela Petrobras - órgão executor do monopólio do petróleo - e pelo CNP- encarregado pela orientação e fiscalização das atividades compreendidas no monopólio da União.

³⁹ “Em 1984 descobrimos o primeiro campo gigante em águas profundas do País, Albacora. Mais tarde surgiram outros campos gigantes, como Marlim (1985), Roncador (1996), Barracuda (1989) e Caratinga (1994)” (PETROBRAS, 2012).

2.4.3 Da Lei do Petróleo – Lei 9.478/1997 aos dias atuais

No processo de evolução da indústria de petróleo no Brasil, cabe assinalar a criação, pelo então presidente Fernando Collor de Mello, do Plano Nacional de Desestatização (PND) em 1990, o qual advogava a tese do Estado Mínimo para a decisão sobre a implantação das políticas públicas. A reforma da indústria brasileira de petróleo começou com esta abertura da economia nacional e reorientação do papel econômico do Estado, havendo incentivo à introdução de capitais privados e à formação de parcerias público-privadas.

O fim do CNP em 1990 marcou o começo da reestruturação⁴⁰ do segmento *downstream* no Brasil. A execução do Plano Real em 1994, pelo Presidente Itamar Franco (que tomou posse após o impeachment do Collor), e a garantia de sua continuidade no Governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso (FHC) aceleraram o processo de redefinição do papel do Estado na economia. Segundo Campos (2005), “as ideias de desregulamentação, flexibilizações e privatizações retornaram com uma força maior devido à popularidade do então presidente FHC. No setor energético, foram estabelecidas regras que permitiram a participação privada, privatizações e desmantelamento dos monopólios estatais”.

Em 08 de novembro de 1995, durante o Governo FHC, ocorreu a aprovação da Emenda Constitucional nº 9, que alterou o Artigo 177 da Constituição Federal de 1988⁴¹, modificando profundamente as normas que regulam o setor de óleo e gás no Brasil (BRASIL, 1995). Tal emenda extinguiu o exercício exclusivo do monopólio da União pela Petrobras na exploração, produção e refino, autorizando concessões e permitindo a contratação de empresas privadas para as atividades de E&P. A razão principal argumentada para o estabelecimento desta emenda que flexibilizou a indústria nacional de petróleo foi a falta de recursos financeiros para a exploração⁴².

A Emenda Constitucional nº 9 foi regulamentada em 06/08/1997, mediante aprovação da Lei nº 9.478 (BRASIL, 1997). A Lei do Petróleo, como ficou conhecida, ratificou a propriedade da União sobre os recursos minerais e preservou o controle do Estado sobre a Petrobras, que, no entanto, deixou de ser a única executora do monopólio sobre as

⁴⁰ O tabelamento e controle das margens de distribuição e de revenda do órgão foram substituídos pelos ‘tetos’ máximos de preços, posteriormente extintos.

⁴¹ Artigo 177 da Constituição Federal de 1988 “*A União poderá contratar com empresas estatais ou privadas a realização das atividades previstas (...) observadas as condições estabelecidas em lei*”.

⁴² Segundo Pires (2000), “*a edição da Emenda Constitucional nº 9 e da Lei nº 9.478/1997 denota o enfraquecimento, no Brasil da doutrina do petróleo como ‘bem estratégico’.* A consequência natural desse entendimento foi que não havia mais sentido limitar o acesso das companhias internacionais às atividades de exploração, sobretudo pelo fato de o país ser ‘importador líquido de óleo’”.

atividades de E&P. A União pode transferir tais atividades a empresas privadas, mediante contratos de concessão. A União é dona das reservas descobertas dentro da área de concessão e, avaliando ser pertinente, poderá permitir seu aproveitamento econômico. Caso positivo, no momento da extração do subsolo e passagem pelo ponto de medição, a propriedade do recurso é atribuída ao concessionário.

No que tange aos contratos de concessão, destacam-se dois pontos: o primeiro, é que a Lei do Petróleo ratificou os direitos da Petrobras sobre os campos de petróleo que já estavam em produção na data de sua vigência. O segundo destaque é que as ofertas apresentadas pelas empresas nas licitações são julgadas de acordo com o valor oferecido pelo bloco e também com o compromisso com aquisição de bens, sistemas e serviços da indústria nacional, denominado conteúdo local⁴³. Canelas (2007) pondera sobre a relevância econômica do conteúdo local, apontando que

é a partir das demandas por bens de capital e serviços de produção para E&P realizadas com empresas fornecedoras brasileiras que ocorre a internalização, no país, dos impactos econômicos indiretos e induzidos, de geração de valor agregado, renda, emprego e tributos, causados pelas atividades petrolíferas no Brasil⁴⁴.

Registra-se para aquele período a significativa transformação referente ao segmento *downstream*, no que tange a preços e importação de derivados, decorrente da flexibilização do setor petrolífero brasileiro, e a introdução do livre acesso a oleodutos, tanques e terminais. No entanto, foi o segmento de E&P o que mais se dinamizou e elevou sua relevância econômica, sobretudo devido ao amadurecimento dos investimentos da Petrobras. Através da Lei 9.478 também foram criados o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE e a Agência Nacional do Petróleo – ANP⁴⁵. O CNPE é o responsável pela formulação de propostas para garantir o abastecimento nacional e o aproveitamento racional dos recursos energéticos. Já a Agência é responsável pela “regulação, contratação e fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo e gás natural”.

⁴³ O conteúdo local é definido no inciso VIII do Artigo 2º da Lei nº 12.351, de 22/12/2010, como sendo a “proporção entre o valor dos bens produzidos e dos serviços prestados no País para execução do contrato e o valor total dos bens utilizados e dos serviços prestados para essa finalidade” (BRASIL, 2010).

⁴⁴ O autor acrescenta: “dado que o setor petrolífero é intensivo em capital e tecnologia e marcado por ativos de alta especificidade, incrementos do nível de conteúdo local implicam em capacidade de inserção de empresas brasileiras fornecedoras em relacionamentos de médio e longo prazo com as empresas petrolíferas presentes no país” (CANELAS, 2007).

⁴⁵ Através da Lei 11.097 (BRASIL, 2005a), seu nome foi alterado para Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Com o Governo do Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva, o peso do conteúdo local médio aumentou de 15 para 40%. Com tal medida, intencionou-se incentivar a indústria nacional fornecedora de bens de capital e serviços de produção às atividades de E&P e, conseqüentemente, aumentar o número de empregos e renda na atividade.

No tocante à evolução da indústria de petróleo no Brasil, é de extrema importância destacar a descoberta da gigantesca província petrolífera do Pré-Sal, em 2007. Por essa ocasião, o governo do Presidente Lula determinou a realização de estudos para a revisão do marco regulatório aplicável ao *upstream*, argumentando que o regime de concessões não seria adequado para a exploração de megajazidas. Nesse contexto, em 22 de dezembro de 2010, foi promulgada a Lei nº 12.351, introduzindo o regime de partilha de produção nas áreas do Pré-Sal e demais áreas estratégicas, e outras modificações no modelo de exploração de petróleo (BRASIL, 2010a).

Conforme mostrado ao longo deste capítulo, a Petrobras tornou-se especialista e líder mundial de tecnologia de produção de petróleo em águas profundas⁴⁶, contribuindo progressivamente para que o Brasil conquistasse a autossuficiência na produção de petróleo no ano de 2006⁴⁷. Através do pleno desenvolvimento e aproveitamento das reservas do Pré-Sal, o Brasil poderá vir a se transformar em um relevante exportador de petróleo no mercado internacional. Nesse cenário, as novas fronteiras de exploração descobertas pela Petrobras conferiram à companhia um papel fortalecido em áreas estratégicas, ampliando sobremaneira seu escopo de atuação internacional.

Cabe observar que, não obstante a abertura do mercado brasileiro e a entrada de novos grupos estrangeiros, a maior parte dos investimentos em E&P no Brasil tem sido realizada pela Petrobras. A companhia é a principal adquirente de blocos das rodadas e principal investidora no país. Sua predominância deve-se ao conhecimento geológico, sistêmico e empresarial adquirido, assim como pelo seu alto grau de desenvolvimento tecnológico em águas profundas. Dias (2013) buscou analisar os mecanismos e canais de interação entre as mudanças institucionais e o desenvolvimento do setor de petróleo no Brasil em sua Tese de Doutorado. O autor aponta que os resultados da Petrobras

⁴⁶A Petrobras foi agraciada por três vezes com a condecoração mundial mais importante que uma empresa de petróleo pode receber como operadora *offshore*. A estatal recebeu o prêmio “*OTC Distinguished Achievement Award for Companies, Organizations, and Institutions*” em 1992, 2001 e 2015. Nesse último ano, já “pelo conjunto de tecnologias desenvolvidas para a produção da camada Pré-Sal” (OTC, 2016).

⁴⁷ Em 2006, as exportações brasileiras de petróleo bruto superaram as importações pela primeira vez (EPE, 2016a). Apesar do alcance da autossuficiência, são feitas importações de petróleo para combinação com os petróleos nacionais, mais pesados, visando atender às necessidades tecnológicas das refinarias.

foram indiscutivelmente positivos a partir do fim do monopólio. Mesmo com a entrada das grandes empresas multinacionais e novas empresas nacionais, a Petrobras manteve sua liderança e hegemonia no segmento de E&P, além de continuar com o monopólio de fato nos demais segmentos.

Campos (2005) avalia que a atuação da Petrobras vinha se mantendo coerente com o seu objetivo de obtenção de reservas, redução da vulnerabilidade externa e abastecimento nacional e que “o setor de petróleo brasileiro vem obtendo resultados relevantes, dada a importância de sua estatal e, não necessariamente, devido à substituição de Estado Empresário para Estado Regulador”.

É importante registrar a significativa alteração sofrida pela Lei 12.351/2010, através da promulgação da Lei 13.365, em 29 de novembro de 2016, que revogou a obrigatoriedade da participação da Petrobras na exploração do petróleo de blocos licitados no regime de partilha de produção⁴⁸ (BRASIL, 2016a).

A análise do processo histórico de formação e evolução da IMP aponta que o arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia, foi o responsável pela preponderante participação do petróleo na matriz energética mundial, descrita a seguir.

2.5 O Petróleo e seus Derivados na Matriz Energética

Em todo o mundo, a escolha das principais fontes energéticas é função do nível de desenvolvimento industrial, disponibilidade, quantidade, preço e das restrições ambientais impostas pela sociedade.

O petróleo deverá continuar mantendo-se como principal fonte de energia do planeta, liderança alcançada com o fim da Segunda Guerra Mundial, no decorrer das próximas décadas. No entanto, este cenário será marcado por crescentes exigências de uso eficiente e de especificações de derivados cada vez mais rigorosas.

⁴⁸ A Petrobras atuava como operadora única dos campos do Pré-Sal e demais áreas estratégicas, com participação mínima de 30%, sendo a única “responsável pela condução e execução, direta ou indireta, de todas as atividades de exploração, avaliação, desenvolvimento, produção e desativação das instalações de E&P”, conforme Lei 12.351 (BRASIL, 2010a). A alteração legal foi realizada em um momento bastante conturbado da história, gerando muita controvérsia, como pode se depreender de Agência Senado (2016): “A proposta, de autoria do senador José Serra (PSDB-SP), tramitou no Senado em regime de urgência. Por 40 votos a 26 e duas abstenções foi acatado substitutivo apresentado pelo senador Romero Jucá (PMDB-RR), fruto de acordo do PSDB com parte da bancada do PMDB e com integrantes do governo. O presidente do Senado, Renan Calheiros, acredita que a mudança atende ao interesse nacional com o propósito de atrair investimento. Para os opositores da proposta, a iniciativa de acelerar os leilões é um risco à soberania nacional, inoportuna e prejudicial à Petrobras. Na sessão do Senado que aprovou a proposta, discursaram contra a matéria os senadores Lindbergh Farias (PT-RJ), Roberto Requião (PMDB-PR) e Vanessa Grazziotin (PCdoB-AM)”.

2.5.1 Energia no Mundo

Para o embasamento da análise em curso, são apresentados em sequência os dados mundiais sobre a evolução da Oferta de Energia (comumente denominada matriz energética ou demanda total de energia) e do Consumo Final de Energia, destinado ao atendimento das necessidades da sociedade⁴⁹.

2.5.1.1 Oferta de Energia

De acordo com a Agência Internacional de Energia - IEA (IEA, 2016a), no período compreendido entre 1973 e 2014, a oferta primária de energia do mundo passou de 6.101 Mtep para 13.699 Mtep, representando um aumento de 125% em apenas quatro décadas, como ilustra o Gráfico 1.

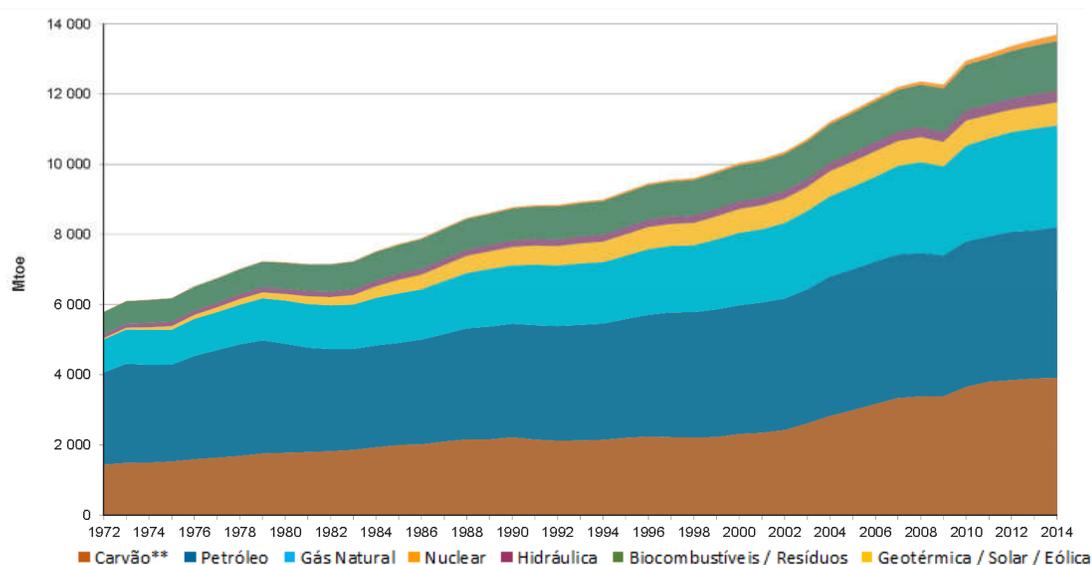


Gráfico 1 - Evolução da Oferta de Energia Primária no Mundo - 1972 a 2014

* Exclui o comércio de eletricidade. ** Neste gráfico, turfa e óleo de xisto estão agregados com carvão.

Fonte: IEA (2016a)

Ainda em que pese a superioridade do petróleo, sua participação na oferta de energia primária vem caindo ao longo do tempo, como apresenta a Tabela 1.

⁴⁹ O Consumo Final de Energia representa a quantidade consumida pelos diferentes setores econômicos para atendimento de usos finais (força motriz, calor de processo, iluminação etc.), não compreendendo a utilização como matéria-prima para produção de outra forma de energia. Já a Oferta Interna de Energia significa a quantidade que se disponibiliza para ser transformada ou para consumo final, abrangendo inclusive as perdas posteriores na distribuição.

Tabela 1 - Oferta de Energia Primária no Mundo por Fonte – 1973-2014

	1973	2014
Petróleo	46,2%	31,3%
Carvão¹	24,5%	28,6%
Gás natural	16,0%	21,2%
Nuclear	0,9%	4,8%
Hidreletricidade	1,8%	2,4%
Biocombustíveis e Resíduos²	10,5%	10,3%
Outros³	0,1%	1,4%

1) Turfa e óleo de xisto estão agregados com carvão; 2) Compreendem biocombustíveis sólidos e líquidos, biogás e resíduos industriais e municipais; 3) inclui geotérmica, solar, eólica etc..

Fonte: IEA (2016a)

Em 1973, o petróleo participava com 46,2% da oferta primária de energia no mundo, caindo para 31,3% em 2014 segundo a referida Agência (IEA, 2016a). Por outro lado, o carvão ampliou a sua participação de 24,5% para 28,6%. Com essas trajetórias, a diferença entre esses fósseis que era de 21,7% caiu para apenas 2,7% no período. O gás natural aumentou a sua contribuição de 16% para 21,2% no mesmo período, em função dos investimentos na estruturação deste mercado. Por sua vez, a energia nuclear e a hidreletricidade ampliaram a sua contribuição na matriz mundial, alcançando 4,8% e 2,4%, respectivamente, em 2014. Já a participação dos combustíveis renováveis e resíduos decresceu ligeiramente, passando de 10,5% para 10,3% neste intervalo.

Pode-se observar que os combustíveis fósseis ainda permanecem muito preponderantes na matriz energética global, com sua participação caindo menos do que 6% no período observado, totalizando 81,1% em 2014, conferindo-lhes um alto grau de importância. Estes permanecerão sendo a principal fonte de energia primária no mundo nas próximas décadas, mas com redução da participação do carvão e aumento da contribuição do gás natural, conforme indicam diversos estudos (IEA, 2016b; EIA, 2016a; BP, 2016b)⁵⁰.

⁵⁰ Segundo a IEA em seu *World Energy Outlook 2016*, a oferta de energia primária deve aumentar 30% de 2014 até 2040, com uma contribuição conjunta do óleo e do gás natural relativamente estável, passando para 44% a 50% em 2040 (IEA, 2016b). Já a BP, em seu *BP Energy Outlook 2016*, projeta para 2035 um crescimento de 34% em relação a 2014, com uma participação de 55% do *mix* de óleo (29%) e gás (26%), com os fósseis totalizando 80% da oferta de energia (BP, 2016b). A Agência de Energia do Governo dos EUA prevê no cenário de referência do seu *International Energy Outlook 2016* (EIA, 2016a) que o óleo (25%) e o gás (26%) irão atender a 51% da energia em 2040, com os fósseis totalizando 72%. No entanto, a EIA prevê um crescimento de 48% até 2040, portanto, previsão maior do que a da IEA.

2.5.1.2 Consumo Final de Energia

O Consumo Final de Energia do mundo dobrou no período analisado, passando de 4.661 Mtep em 1973 para 9.425 Mtep em 2014, sendo notória a superioridade do petróleo sobre as diferentes fontes (IEA, 2016a). Pode-se observar na Tabela 2 que, muito embora a sua contribuição tenha sido reduzida no período assinalado, este energético permanece sendo a principal fonte no consumo final de energia, responsável por cerca de 40% deste montante no ano de 2014, contra 15% de participação do gás natural e 11,4% do carvão.

Tabela 2 - Consumo Final de Energia no Mundo por Fonte - 1973-2014

	1973	2014
Petróleo	48,3%	39,9%
Carvão¹	13,5%	11,4%
Gás natural	14,0%	15,1%
Eletricidade	9,4%	18,1%
Biocombustíveis e Resíduos²	13,1%	12,2%
Outros³	1,7%	3,3%

1) Turfa e óleo de xisto estão agregados com carvão; 2) Compreendem biocombustíveis sólidos e líquidos, biogás e resíduos industriais e municipais; 3) Incluem geotérmica, solar, eólica etc..

Fonte: IEA (2016a)

O gás natural é hoje apontado como um dos energéticos de maior perspectiva de expansão. Observa-se um incremento de sua importância em toda a cadeia produtiva, desde as reservas até o consumo. Devido à dependência de expansão da rede de transporte e distribuição, o mercado mundial desse recurso encontra-se segmentado em três grandes regiões: América do Norte; Europa e Ásia.

É importante também assinalar a relevância do segmento de transportes em relação à participação dos diferentes setores da atividade econômica no uso final da energia, cuja contribuição evoluiu de 23,2% para 27,9% no período 1973-2014, segundo a IEA (2016a). O consumo total de energia deste setor⁵¹ alcançou 2.627 MtEP no ano de 2014, sendo que deste montante, 2.426 MtEP são referentes aos derivados do petróleo, alcançando 92,4%, conforme Gráfico 2.

⁵¹ Consumo do setor de transportes inclui bunkers internacionais de aviação e marítimo.

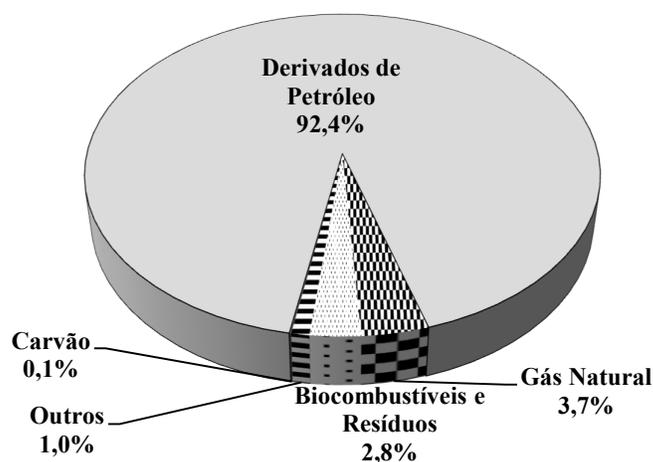


Gráfico 2 - Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Mundo - 2014
Fonte: IEA (2016a)

2.5.1.3 Consumo de Petróleo e Derivados

Em relação ao petróleo, o seu consumo mundial aumentou de 2.252 MtEP em 1973 para 3.761 MtEP em 2014, representando um expressivo crescimento de 67% em quatro décadas, segundo a *International Energy Agency* (2016a). Dentre os setores consumidores desta fonte de energia, destaca-se o de transportes que, por sua vez, cresceu neste intervalo cerca de 140%. O alto crescimento deste setor nas últimas décadas foi responsável pela sua participação absolutamente preponderante no consumo de petróleo, saltando de 45,4% em 1973 para 64,5% em 2014, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo Final de Petróleo no Mundo por Setor – 1973-2014

	1973	2014
Transporte	45,4%	64,5%
Industrial	19,9%	8,0%
Uso não-energético	11,6%	16,2%
Outros*	23,1%	11,3%
Total (Mtep)	2.252	3.761

* Inclui os setores agropecuário, residencial, comercial e de serviços públicos e outros.
Fonte: IEA (2016a)

Os dados de produção e consumo de derivados de petróleo são geralmente disponibilizados de forma agregada, o que dificulta a análise do comportamento do consumo por produto do refino. A IEA (2016a) classifica os derivados em seis grupos: 1) Destilado Médio (inclui o diesel); 2) Gasolina automotiva; 3) Combustíveis de aviação; 4) GLP/etano/nafta; 5) Óleo combustível; 6) Outros. Já a BP (2016a) categoriza em quatro grupos: 1) Destilado médio (inclui os dados de diesel, querosene e gasóleo); 2) Destilado leve (inclui gasolina); 3) Óleo combustível; 4) Outros.

As informações apresentadas pela IEA referem-se à produção de derivados de petróleo, enquanto as da BP, ao consumo. Entretanto, os dados mais desagregados da IEA permitem executar melhores análises do comportamento dos produtos do refino. Comparando-se as informações das duas instituições para 2014, verifica-se que a participação do destilado médio no consumo de derivados (36,5%) é bastante próxima à da produção para aquele ano (35,1%), com pequena diferença (1,4%). Desta forma, simplificada, considerou-se que as participações seriam equiparáveis. A Tabela 4 evidencia que mais da metade do consumo mundial de derivados é referente ao diesel (agregado ao destilado Médio) e à gasolina.

Tabela 4- Consumo de derivados de petróleo no mundo por tipo (%), 2014

Destilado médio (inclui diesel)	35,1%
Gasolina automotiva	23,8%
Combustíveis de aviação	6,9%
GLP/etano/nafta	9,2%
Óleo Combustível	11,8%
Outros	13,2%

Total: 93 milhões de barris por dia, 2014.

Fonte: elaboração própria a partir de IEA (2016a) e BP (2016a)

2.5.2 A Matriz Energética Brasileira

O Brasil apresenta um elevado aproveitamento das fontes renováveis de energia. O emprego dos recursos hidráulicos, a biomassa e a energia eólica tem se mostrado bastante relevante na matriz energética nacional, como exposto a seguir.

2.5.2.1 Oferta de Energia

A evolução da oferta interna de energia no Brasil é apresentada no Gráfico 3, conforme os dados reportados no Balanço Energético Nacional elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016a).

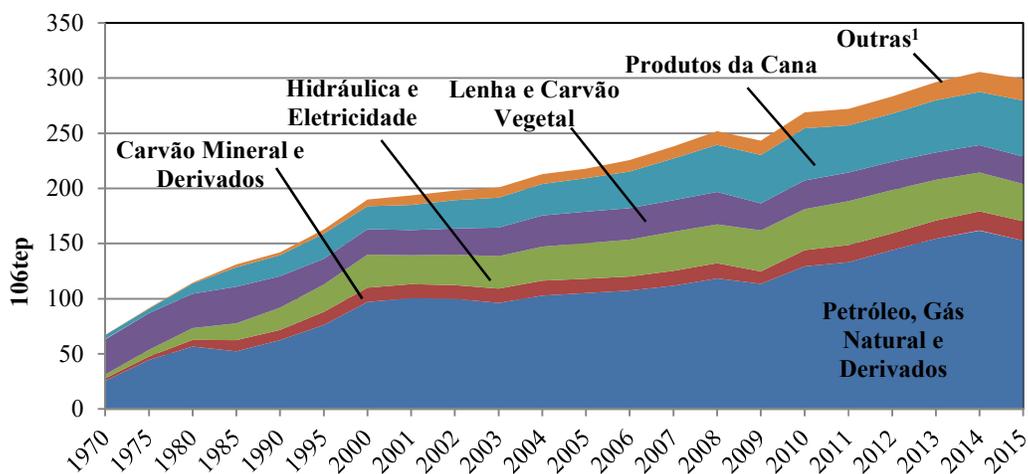


Gráfico 3 - Evolução da Oferta Interna da Energia no Brasil - 1973-2015

¹ Inclui outras fontes primárias renováveis e urânio

Fonte: EPE (2016a)

A distribuição percentual por fonte da Oferta Interna de Energia em 2015, 299 MtEP, é ilustrada no Gráfico 4.

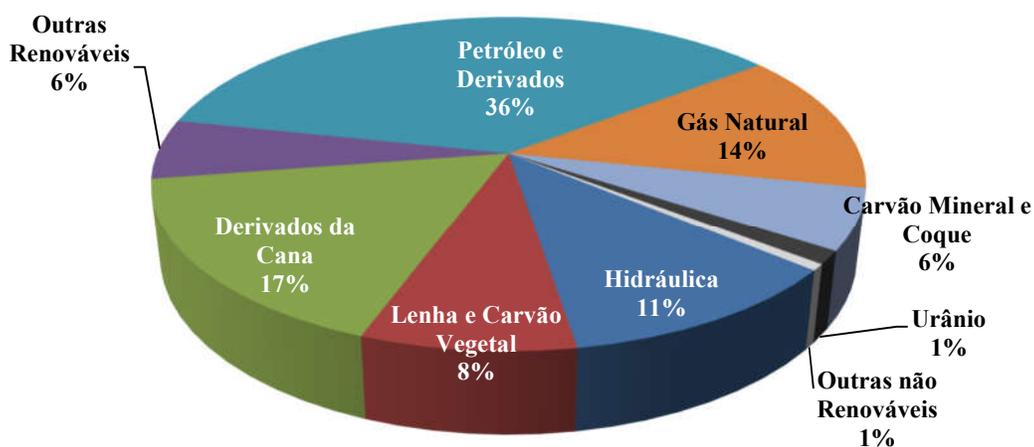


Gráfico 4 - Fontes na Matriz Energética Nacional – 2015

Fonte: EPE (2016a)

A participação das renováveis na matriz energética nacional representou 41,2% em 2015, uma das mais elevadas do mundo, cujo valor médio em 2014 foi de 14,1% (IEA, 2016a).

Em termos de combustíveis fósseis, o petróleo, o gás natural e o carvão mineral juntos contribuíram com 56,9% de toda oferta interna de energia em 2015. Somando à participação do urânio e de outras fontes, a participação das não renováveis na matriz nacional alcançou 58,8% em 2015.

A energia hidráulica respondeu por 11,5% da matriz energética nacional em 2015, representando 64% de toda a produção de eletricidade do país. Com 91,5 GW de

capacidade instalada naquele ano, deverá manter a sua predominância. Considerando a geração eólica e a biomassa, o total de renováveis na matriz elétrica foi de 75,5% (EPE, 2016a), em muito superior à média mundial, de 22,7% em 2014 (IEA, 2016a).

A diferença entre a produção interna e a demanda interna de energia (incluindo as perdas na transformação, distribuição e armazenagem, inclusive energia não-aproveitada, reinjeção e ajustes) exigiu uma importação de 22 MtEP em 2015, equivalendo a uma dependência externa de 7,1% da energia consumida no país, conforme apresenta o Gráfico 5. Observa-se, no período, uma manutenção nos níveis de importação de carvão mineral e eletricidade (justificada pelo contrato de compra da usina de Itaipu-Binacional). Ademais, nota-se um declínio da dependência do petróleo até 2010, quando tal tendência pareceu se inverter, até alcançar em 2013 um patamar equivalente ao ano de 2002. No entanto, a partir de 2014, esta voltou a reduzir e, em 2015, o país foi exportador líquido de petróleo em 230 mil bEP/dia (EPE, 2016a).

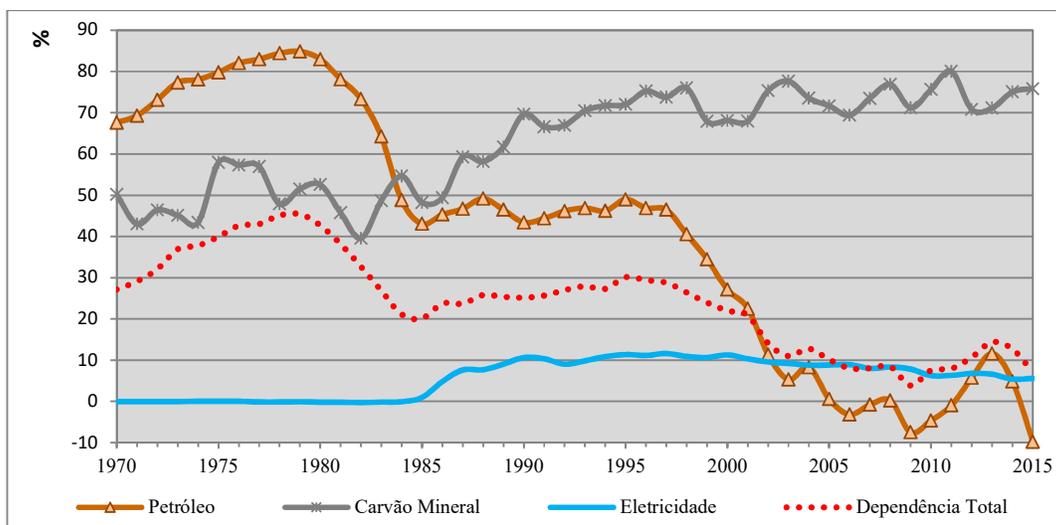


Gráfico 5 - Evolução da Dependência Externa de Energia - 1970-2015
Fonte: EPE (2016a)

2.5.2.2 Consumo Final de Energia

O consumo final de energia do Brasil, em 2015, de 260 Mtep, que inclui todas as fontes não-renováveis e renováveis de energia, apresenta o óleo diesel B⁵² como a fonte de energia mais consumida no país (18,4%). Considerando somente o derivado de petróleo (diesel A), sua participação equivale ao mesmo valor da eletricidade (17,2%), seguida pelo bagaço de cana (11,0%), conforme Gráfico 6.

⁵² Óleo diesel A adicionado de biodiesel, no teor estabelecido pela legislação vigente (ANP, 2013b).

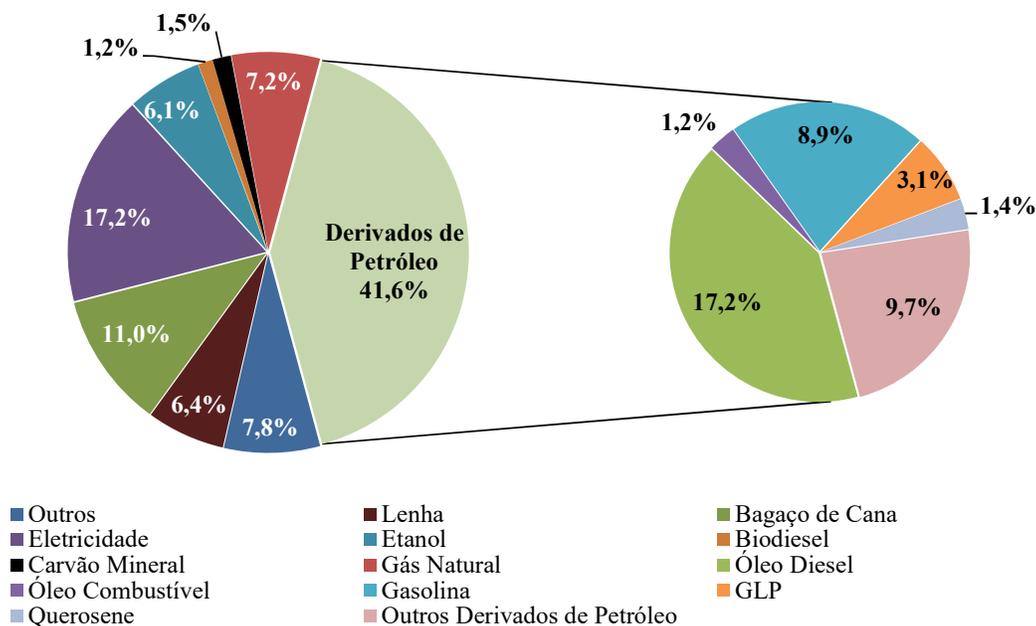


Gráfico 6 - Consumo Final de Energia por Fonte, Brasil - 2015.

Fonte: EPE (2016a)

Quanto à participação dos diferentes setores da atividade econômica no consumo final de energia, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016a), o setor de transporte respondeu por 34,2% em 2015, configurando-se como o segundo segmento mais importante na matriz energética brasileira, ligeiramente atrás do setor industrial com 32,5%, conforme Gráfico 7. A demanda deste setor é amplamente associada ao cenário socioeconômico do país, tanto através do PIB, quanto da renda das famílias, da distribuição de renda, do crescimento populacional, da taxa de urbanização e da oferta de crédito, sendo também influenciada por questões tributárias, ambientais e tecnológicas. Cabe registrar que o transporte no Brasil é majoritariamente rodoviário, modal correspondente a 93,1% da demanda de energia do setor, em 2015 (EPE, 2016a).

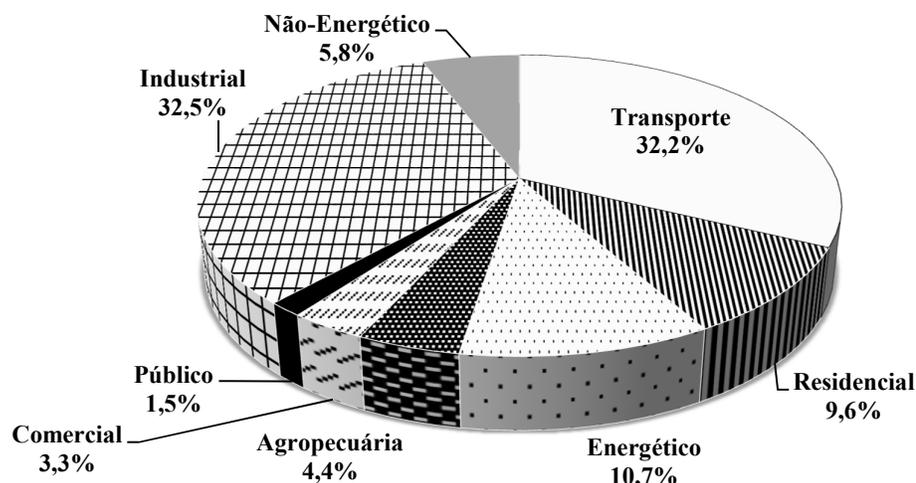


Gráfico 7 - Consumo Final de Energia por Setor (%), Brasil – 2015.
Fonte: EPE (2016a)

Por sua vez, o consumo energético do setor de transportes de 84 MtEP tem o diesel como o combustível mais importante, representando 44,4% do consumo do segmento, como visto no Gráfico 8.

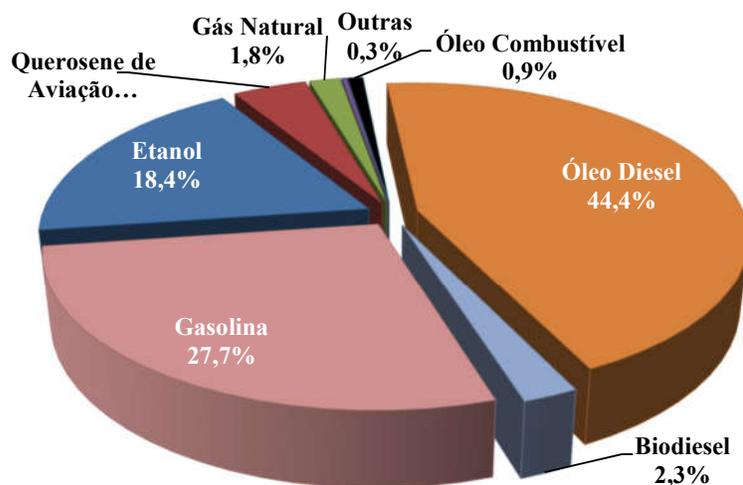


Gráfico 8 - Consumo de Energia no Setor de Transportes, Brasil – 2015.
Fonte: EPE (2016a)

2.5.2.3 Consumo de Petróleo e Derivados

Quanto à composição setorial do consumo de derivados de petróleo em 2015 (118Mtep), o setor de transportes alcançou expressivos 56,7%, ou seja, mais da metade do consumo total, seguido de longe pelo consumo final não-energético (11,8%) e pelo setor industrial (9,8%), como pode ser observado pelo Gráfico 9.

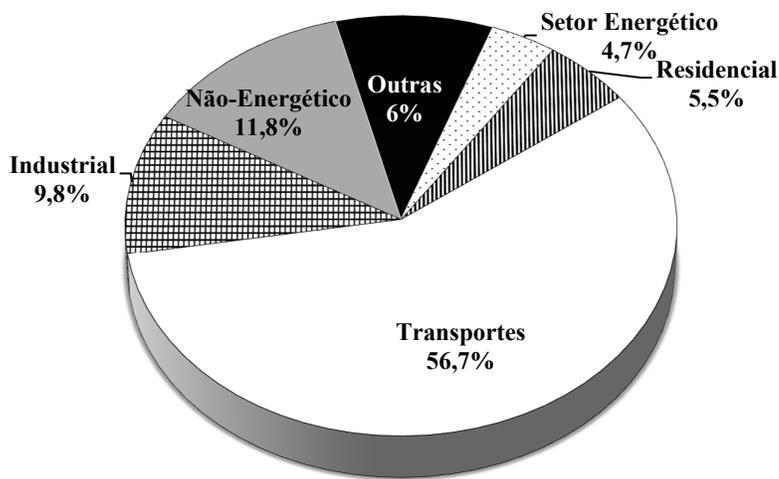


Gráfico 9 – Consumo de Derivados de Petróleo por Setor (%) - 2015
 Fonte: EPE (2016a)

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016a), o diesel se apresenta como o derivado de petróleo de maior consumo, atingindo uma participação de 40,9% do total da demanda de derivados em 2015, enquanto que a gasolina participou com 21,7%, seguida do GLP com 7,1%, tal como apresentado no Gráfico 10.

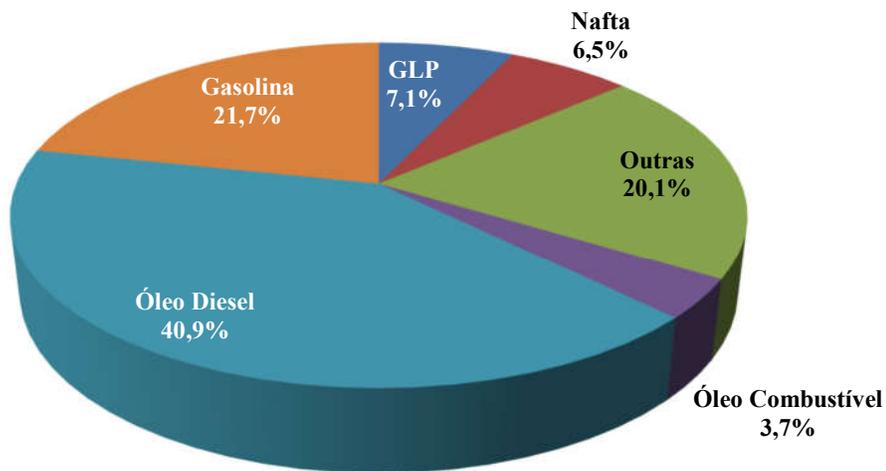


Gráfico 10- Consumo de Derivados de Petróleo por Fonte, Brasil - 2015.
 Fonte: EPE (2016a)

O maior uso do diesel se dá no setor de transporte (77,8%), seguido do agropecuário (12,5%) e do uso na geração elétrica (4,8%), conforme o Gráfico 11 a seguir.

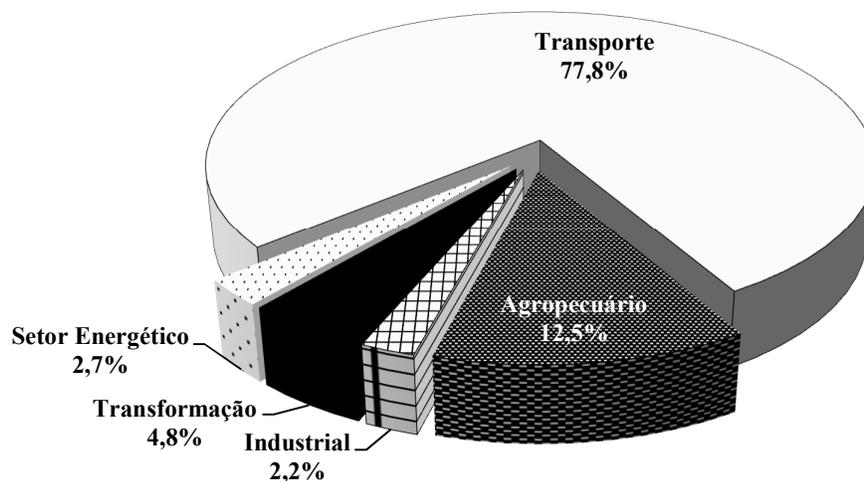


Gráfico 11 - Consumo de Diesel por Setor, Brasil - 2015.
Fonte: EPE (2016a)

Considerando as previsões de crescimento econômico para os próximos anos, se mostra fundamental o planejamento da oferta e demanda de energia para o setor de transportes, visando a determinação de políticas públicas adequadas.

Pode-se nitidamente observar a dimensão do papel do diesel, tanto em relação ao total do consumo dos derivados de petróleo, como em relação à sua participação no setor de transportes, denotando as implicações de grande magnitude que um programa nacional de biodiesel pode acarretar.

2.6 Conclusões

A energia é fundamental para a sobrevivência e o bem-estar da humanidade, fator imprescindível para satisfação de suas inúmeras necessidades. A demanda energética cresce à medida da evolução tecnológica e das decorrentes mudanças de comportamento, hábitos de vida, padrões de consumo, mobilidade, industrialização, urbanização, expectativa de vida e crescimento populacional.

Na maior parte da história da humanidade, o consumo da energia pelo homem destinava-se principalmente à cocção e iluminação, com pequena parcela para trabalhos em cerâmica e manipulação de minérios para fabricação de ferramentas. Aliado ao crescimento populacional muito lento, este padrão resultou em um consumo energético baixo por milhares de anos, atendido basicamente por lenha.

Somente a partir da Revolução Industrial em meados do século XVIII, caracterizada por um crescimento populacional exponencial e pela modernização da humanidade, se iniciou uma explosão no consumo de energia. Graças à crescente escassez de biomassa e ao

conteúdo energético bastante superior do fóssil, rapidamente fez-se visível a vantagem da utilização do carvão mineral para alimentação da máquina a vapor. Assim se deu a transição da Era da Lenha para a Era do Carvão.

Utilizado inicialmente para iluminação e geração de calor, o petróleo transformou-se na principal fonte de energia para a atividade de transporte somente após o desenvolvimento dos motores a combustão interna (Otto e Diesel) na segunda metade do século XIX, os quais levaram a um novo salto no uso da energia de origem fóssil. A invenção do automóvel não apenas modificou profundamente o mercado do petróleo, como teve um papel fundamental na conformação do estilo de vida da humanidade, a partir do início do século XX. Marcadamente após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu nova transição da base energética. Graças à sua facilidade de produção, transporte e uso, o petróleo substituiu o carvão, se tornando o insumo-chave do desenvolvimento do século XX, marcado como a Era do Petróleo.

O petróleo é a principal fonte de energia atualmente consumida no planeta, e continuará o sendo nas próximas décadas, como indicam diversos estudos (IEA, 2016b; EIA, 2016a; BP, 2016b). A indústria petrolífera tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico das nações, em consequência tanto do caráter estratégico do recurso, como de fatores geopolíticos. Esta expressiva participação na matriz energética global está associada ao processo de formação e evolução da Indústria Mundial de Petróleo, estabelecida sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, que se tornou viável através de um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia.

A indústria brasileira de petróleo, por sua vez, surgiu somente em meados do século XX, como parte de um projeto nacional de desenvolvimento industrial, que culminou com o estabelecimento do monopólio da União e com a criação da Petrobras em 1953. A companhia estatal integrada verticalmente, única executora do monopólio, foi encarregada de explorar todas as etapas da indústria petrolífera, papel mantido na Constituição Federal de 1988. Com a promulgação da Lei do Petróleo em 1997, permitiu-se à União transferir as atividades de E&P a empresas privadas, via contratos de concessão. Apesar da abertura do mercado, a maior parte dos investimentos no Brasil continuou sendo realizada pela Petrobras, líder mundial em águas profundas, que cooperou para a autossuficiência na produção de petróleo em 2006. Com a descoberta da gigantesca província petrolífera do Pré-Sal, foi primordial introduzir em 2010 o regime de partilha de produção tanto para essa como para as demais regiões estratégicas do

Brasil. O pleno aproveitamento das reservas do Pré-Sal permitirá que o Brasil se transforme em um relevante exportador de petróleo no mercado internacional, fortalecendo sobremaneira o escopo de atuação internacional da sua estatal.

No mundo, o panorama atual do uso dos recursos energéticos é marcado pela elevada preponderância dos combustíveis fósseis na matriz (superior a 80% em 2014), cuja participação teve uma queda inferior a 6% nas últimas quatro décadas. Ressalta-se a relevância do transporte no consumo final da energia pelos diferentes setores da atividade econômica, cuja contribuição evoluiu para 28% em 2014, dos quais expressivos 92% referem-se aos derivados do petróleo (IEA, 2016a). Oportuno salientar que essa hegemonia dos derivados é consequência de serem favorecidos tanto pela existência de uma infraestrutura inteiramente consolidada para transporte e comercialização de combustíveis, quanto pela própria dimensão do mercado global, resultado de um gigantesco parque de veículos automotivos. O petróleo reduziu sua participação nas últimas quatro décadas, tanto na oferta primária como no consumo final de energia, mas manteve sua supremacia, caindo de 46% e 48% em 1973, para 31% e 40% em 2014, respectivamente. Destaca-se, ainda, a participação do diesel no consumo mundial de derivados, cerca de 35% em 2014 (IEA, 2016a e BP, 2016a).

Em contraste, o Brasil apresenta um elevado aproveitamento das fontes renováveis de energia, cuja participação na matriz nacional representou 41% em 2015, quase o triplo da média mundial. Em termos de combustíveis fósseis, o petróleo, o gás natural e o carvão mineral juntos contribuíram com 57% de toda oferta interna de energia naquele ano. No que tange ao consumo final de energia, o transporte é o segundo setor da atividade econômica mais importante na matriz brasileira (32,2% em 2015), ligeiramente atrás do industrial. Majoritariamente rodoviário, este modal correspondeu a 92% da demanda de energia para transportes, em 2015. O óleo diesel A e a eletricidade foram as fontes de energia mais consumidas no país em 2015 (ambas com 17,2%), seguidas pelo bagaço de cana (11,2%). O diesel A é também o derivado de petróleo de maior consumo, 41% em 2015, enquanto a gasolina A, na segunda colocação, participou com 22% (EPE, 2016a).

Neste contexto, a adoção de um programa de incentivo ao uso de biodiesel se constitui um destacado instrumento de mitigação das mudanças climáticas, bem como uma alternativa a ser usada pelo planejamento energético no que se refere à garantia do abastecimento e à promoção de efeitos socioeconômicos. A partir do exposto, em que notadamente o diesel apresenta um papel de enorme destaque no Brasil, o biodiesel se

configura como uma importante oportunidade para assegurar a oferta interna de energia, ao servir de insumo de complementação e de substituição do diesel mineral.

Apesar da tendência que os combustíveis fósseis ainda permaneçam predominantes nas próximas décadas, com declínio do carvão e ascensão do gás natural, os combustíveis renováveis deverão assumir importância crescente na matriz energética global. Assim como a Era do Petróleo sucedeu a Era do Carvão, que, por sua vez, sucedeu a Era da Lenha, o biodiesel se apresenta como um importante energético para compor uma provável cesta na futura Era dos Renováveis.

3 Das Instabilidades do Mercado de Petróleo ao Ambiente Favorável à Promoção dos Biocombustíveis

3.1 Introdução

O petróleo se transformou na principal fonte de energia do planeta com o fim da Segunda Guerra Mundial, quando ultrapassou o carvão, em grande parte por suas vantagens em termos caloríficos e de facilidade de utilização, e deverá manter sua supremacia nas próximas décadas. Além dos veículos a combustão interna e da substituição do carvão para aquecimento e produção de eletricidade, outras tecnologias de uso final foram desenvolvidas e difundidas, ampliando a demanda pelo recurso. Para atender ao consumo crescente de energia, foi constituída uma complexa e confiável infraestrutura de distribuição de seus derivados.

No entanto, apesar de sua supremacia, além dos riscos normais de custos, mercados, demanda e preços, a indústria do petróleo está associada a uma série de outros riscos e incertezas, com destaque aos de natureza política, tecnológica e exploratória, conforme exposto a seguir.

Os reajustes nos preços do petróleo na década de 1970 marcaram o fim de um período de constante acréscimo da oferta vivenciada pela história da economia da energia. Os choques em 1973 e 1979 aumentaram o preço do barril a níveis extremamente altos, impensáveis na época. Dado o elevado grau de dependência das importações do recurso, foram gerados grandes *déficits* na balança comercial de diversos países, e, conseqüentemente, um forte obstáculo ao seu desenvolvimento econômico-social.

Neste cenário, dentre as alternativas energéticas aventadas pelas nações como uma possível solução para o atendimento às suas necessidades internas, desempenhou papel de destaque a produção e o uso de biocombustíveis líquidos. Obtidos a partir de diversas formas de biomassa, essas fontes renováveis conseguem deslocar os combustíveis convencionais de petróleo, principalmente nos transportes.

Nesse capítulo, são apresentados os elementos determinantes da crise do modelo de expansão do mercado de petróleo promovido até os anos 1970, mostrando que é desta crise que se tracejam os créditos necessários à estruturação de ações de pesquisa e desenvolvimento do uso da tecnologia de aproveitamento de recursos renováveis para a produção de combustíveis líquidos, nomeadamente etanol e biodiesel, este último, o objeto principal do estudo em curso.

Também são descritos os correntes arranjos institucionais usados para promover o desenvolvimento dos biocombustíveis, colocando uma maior atenção nos exemplos mais exitosos de esquemas legais de fomento, como é o caso dos adotados nos Estados Unidos, União Europeia e Brasil.

3.2 O Esgotamento do Modelo de Expansão do Mercado de Petróleo

A indústria de petróleo gera insumos imprescindíveis para a produção dos bens e serviços que dão suporte ao modo de produção e consumo da sociedade moderna. A disponibilidade e os níveis de preços do petróleo e seus derivados têm fundamental importância para a determinação do nível de crescimento econômico das nações. Intimamente associadas à indústria petrolífera estão diversas outras, como por exemplo, a indústria química, a automobilística e a de construção naval. Fonte de energia de pequena substitutibilidade, o petróleo possui demandas de curto e médio prazo inelásticas a variações nos preços⁵³.

A indústria de petróleo representa o paradigma de organização industrial oligopólica, atrelado ao seu histórico de desenvolvimento e internacionalização, como assinalado no capítulo anterior. A busca constante de integração observada em sua formação, em grande medida, é decorrência de sua extensa cadeia de produção. Desta forma, as decisões de investimento relacionam-se ao comportamento estratégico dos agentes nos diferentes ramos da cadeia, desde a prospecção, desenvolvimento das jazidas, produção, transporte, refino, distribuição até o consumo final dos derivados.

As reservas de petróleo estão irregularmente distribuídas ao longo do planeta, gerando elevadas rendas diferenciais para os produtores daquelas regiões que possuem reservas de maior volume e que são de mais fácil exploração. Como o petróleo é um recurso natural exaurível, isto é, que será esgotado no futuro, é imperativo que os países que são grandes exportadores maximizem a renda gerada pela atividade petrolífera. Cabe observar que, de forma geral, a dinâmica de crescimento da indústria de petróleo extrapola a conjuntura econômica dos países nos quais se faz presente. Ademais, os países altamente industrializados, principais consumidores de petróleo, comumente são importadores líquidos do energético.

⁵³ Variações percentuais nos preços implicam em variações comparativamente muito menores nas quantidades demandadas.

Após a Segunda Grande Guerra, o consumo de energia no planeta evoluiu a um ritmo sem antecedentes na história, em decorrência do desenvolvimento econômico dos países em industrialização ou reconstrução. Tal crescimento acelerado esteve fortemente atrelado ao da indústria automobilística⁵⁴ que, em função da criação da demanda mundial por derivados, desempenhou papel chave para o desenvolvimento da indústria de petróleo. Ainda hoje, o setor de transportes é o uso final da maior parte do petróleo extraído e convertido em derivados, como exposto no capítulo anterior.

O papel geopolítico da indústria de petróleo nas duas Grandes Guerras Mundiais e sua relevância para as economias nacionais estava evidente após a Segunda Guerra (YERGIN, 1992). De igual modo, era notório seu enorme potencial em ser um alavancador para o processo de desenvolvimento das nações.

Na história da energia, observa-se que a desvalorização do dólar estadunidense e a inflação mundial foram diminuindo, em termos reais, o valor do barril de petróleo (que já era muito baixo), restringindo a renda real dos países exportadores. Os contratos de concessão entre as *majors* e os países donos das principais reservas de petróleo eram muito desfavoráveis a esses países (ALVEAL, 2003), que já tinham ciência da perda progressiva de renda petrolífera que estavam cedendo ao ocidente (MARTIN, 1990).

Naquele contexto, passou a existir uma política mais firme dos países produtores na negociação de contratos de concessão, o que conduziu à criação das grandes estatais de petróleo, e nacionalização das indústrias existentes. Podem ser citados como os pontos mais relevantes de mudança de estrutura da indústria mundial de petróleo: a estatização das empresas petrolíferas nos países produtores, a criação da OPEP em 1960, o surgimento de novos produtores e, por fim, os choques de preços em 1973 e 1979.

De acordo com Hémary (1993), em 1973 existiam as condições necessárias à ruptura da oferta crescente de petróleo a baixos preços: i) uma progressiva elevação da demanda nos países industrializados; ii) diminuição da margem de segurança da produção; iii) instabilidades políticas no Oriente Médio, possuidor das maiores reservas mundiais. Neste cenário, quando a Guerra do Yom Kippur entre Israel, Egito e Síria emergiu em 1973, os países exportadores do Oriente Médio, aumentaram unilateralmente o preço do

⁵⁴ A indústria automobilística foi essencial ao estabelecimento da moderna sociedade de consumo na metade do século XX, caracterizada pela demanda de massa por bens industriais de consumo durável padronizados, suporte para a ocorrência tanto dos saltos de industrialização como do padrão de consumo capitalista no mundo, e mesmo da vida social (HOBSBAWN, 1995).

barril de petróleo do tipo Árabe Leve em cerca de três vezes e decidiram embargar as exportações para os EUA e Holanda, aliados de Israel. Esta sequência de eventos políticos foi um fator incentivador, pois os choques aconteceram, sobretudo, por razões de natureza econômica.

Após cinco anos de aparente estabilidade nos preços e regularidade na exploração, novo abalo aconteceu. Com a vitória da Revolução Iraniana, a produção foi cortada em 4 milhões de barris/dia de 1978 a 1981. Os países importadores de petróleo começaram a formação de estoque para o caso em que os conflitos se estendessem por todo Oriente Médio. Desta forma, o mercado mundial de petróleo passou de um estado de excesso de oferta para de escassez em um pequeno intervalo de tempo. Os preços do barril dobraram de valor de 1978 a 1979⁵⁵.

Os choques dos preços do petróleo no mercado internacional na década de 1970 expuseram dramaticamente a fragilidade geopolítica do suprimento do energético para o Ocidente. Diante da perspectiva futura de progressiva escassez e encarecimento do petróleo, foi evidenciada a impossibilidade de existência de um crescimento ilimitado do consumo de energia, o que marcou o fim dos anos dourados da indústria do petróleo.

Segundo Alveal (2003),

O conceito de geopolítica, sempre referido ao tema petróleo, designa o objetivo (possível ou real) das nações de controlar os meios de produção próprios e das outras nações para gerar mais valor para si próprias, face a uma regulação mundial inadequada e insuficiente para lidar com essa realidade. A energia-petróleo, enquanto chave da prosperidade das nações, desde o início do século XX, foi impregnada por este designio.

Em termos econômicos, os choques foram um dos principais fatores responsáveis pela notória guinada da economia mundial, materializada na quebra do ritmo de crescimento vivenciado no pós-Guerra. Com os extraordinários aumentos do preço, as economias de diversos países foram fortemente impactadas e desestabilizadas, sobretudo as mais dependentes do petróleo importado, caso do Brasil. Os enormes *déficits* na balança comercial conduziram às pressões inflacionárias e ao aumento do desemprego, gerando estagnação e um grande óbice ao desenvolvimento econômico e social na chamada “década perdida”. Dado o cenário de *déficits* na balança corrente, o choque de juros do Banco Central estadunidense ocasionou o enxugamento da liquidez internacional de

⁵⁵ O valor nominal (valor do ano corrente) em 1978 era US\$14,02/barril; em 1979, US\$ 31,61/barril. Em valores constantes (US\$2015), seriam US\$50,97 em 1978 e US\$103,20 em 1979 (BP, 2016a).

capital, a elevação das taxas de juros internacionais e, conseqüentemente, a crise da dívida externa da América Latina da década de 1980 (CANELAS, 2007).

Um processo de transformação da estrutura do consumo de energia no mundo foi desencadeado pelos choques petrolíferos. No pós-crise energética, dada a imperativa necessidade de redução da dependência mundial de petróleo iniciou-se a busca pela racionalização do uso da energia através de equipamentos mais eficientes e modificação dos hábitos de consumo. Observou-se também a pesquisa e o desenvolvimento de outras fontes de energia que pudessem substituir os derivados no atendimento ao uso final das demandas requeridas pela sociedade.

As deficiências estruturais do aprovisionamento energético das nações e as suas fragilidades geopolíticas e sociais foram evidenciadas pelos choques do petróleo na década de 1970. Nesse contexto, a procura por alternativas que propiciassem a redução da dependência das importações, bem como o estímulo à produção doméstica e à diversificação de fontes e tecnologias, com vistas a reduzir a vulnerabilidade dos países, passou a orientar a formulação das políticas energéticas por todo o planeta.

A partir destes eventos, a busca da segurança energética passou a ser prioritária no planejamento das nações dependentes do recurso importado. Com o objetivo de superação da crise energética vivenciada, uma série de estratégias e políticas foram traçadas. Pelo lado da oferta, houve o incentivo à exploração de petróleo e desenvolvimento de fontes alternativas. Pelo lado da demanda, ocorreu a adoção de medidas objetivando a redução do consumo.

No Brasil, as respostas da política energética aos choques foram a intensificação dos esforços de prospecção *off-shore* com vistas ao aumento da produção nacional de petróleo e o lançamento de programas de substituição de seus derivados por fontes nacionais de energia, como o etanol de cana-de-açúcar, hidreletricidade, lenha, carvão vegetal, gás natural e carvão mineral. No campo da biomassa, destaca-se o Proálcool – Programa Nacional do Álcool, descrito adiante.

3.3 A Indústria Petrolífera e as Oportunidades para os Biocombustíveis

Os elementos apresentados apontam que foi neste período de instabilidades do mercado de petróleo que a pesquisa, desenvolvimento e uso dos biocombustíveis mostrou-se como uma possibilidade doméstica com significativo potencial para substituição ou complementação dos combustíveis fósseis.

Adicionalmente ao benefício da redução da dependência ao petróleo, com o fortalecimento da segurança do abastecimento energético dos países, o uso de biocombustíveis está associado a uma série de vantagens, de natureza econômica, social e ambiental. Tais características são consonantes com os objetivos da política energética das nações, cuja adequada formulação requer a orientação dos pontos basilares que são assinalados a seguir, com vistas ao aprofundamento da análise ora em curso.

Segundo Munasingue (1994), o planejamento energético é parte essencial do planejamento econômico global, e deve desenvolver-se em estreita coordenação com este último. O objetivo do planejamento energético nacional é fazer o melhor uso dos recursos para promover o desenvolvimento socioeconômico e melhorar o bem-estar e a qualidade de vida da sociedade. O autor assinala que tal planejamento deve buscar a redução da dependência externa de recursos, favorecendo a diminuição do *déficit* do balanço de pagamentos; garantir as necessidades energéticas de todos os setores da sociedade; assegurar o abastecimento a preços estáveis e; preservar o meio ambiente.

Neste mesmo sentido, Pistonesi (1994) afirma que a formulação da política energética e a identificação de seus instrumentos constituem passos essenciais para o processo de planejamento energético. Dadas as inflexibilidades que um sistema energético apresenta a curto prazo, os objetivos desta política devem referir-se necessariamente à evolução do sistema a médio e longo prazos e, idealmente, deveriam ser coerentes com os objetivos gerais das políticas de desenvolvimento socioeconômico, dentre os quais destacam-se: o uso de recursos energéticos nacionais, o nível de segurança no abastecimento e o tipo e nível dos impactos ambientais.

Considerando que as nações devem buscar o bem-estar dos seus cidadãos e o “bom funcionamento da economia”, é fundamental que a estratégia a longo prazo de segurança do abastecimento assegure que os produtos energéticos estejam fisicamente disponíveis no mercado de forma contínua e com preço acessível a todos consumidores, respeitando-se as preocupações ambientais e a perspectiva do desenvolvimento sustentável, como

observa o Livro Verde da Comissão Europeia (2000). Com vistas a diminuir os riscos associados à dependência energética, são necessários o equilíbrio e a diversificação das várias fontes. Dada a inércia dos sistemas energéticos, o Livro Verde aponta que os investimentos em energia (tanto de substituição, como para dar resposta a necessidades crescentes) impõem às economias a necessidade de fazer escolhas que condicionarão várias décadas posteriores, devendo ser aproveitada a oportunidade para se promover uma política energética coerente aos Estados Nacionais.

3.3.1 Aspectos Político-Econômicos

Para o atendimento a algumas das necessidades básicas da sociedade, como mobilidade, eletricidade e calor, os serviços energéticos devem estar acessíveis a todos os cidadãos, a qualquer tempo, sob o risco de perda de bem-estar social que pode advir da interrupção no fornecimento de energia, ou mesmo de uma mudança no seu preço e disponibilidade.

A Comissão Europeia define segurança energética no seu Livro Verde (COM, 2000) como a "ininterrupta disponibilidade física dos produtos de energia no mercado, a um preço que seja acessível para todos os consumidores". Já a Agência Internacional de Energia define como seguro um fornecimento de energia que seja adequado, acessível e confiável (IEA, 2007). A Agência classifica os riscos de segurança em três tipos: falhas técnicas; ameaças à segurança física; e instabilidades do mercado.

O primeiro tipo refere-se às falhas nos sistemas de fornecimento de energia que são ocasionadas por acidentes ou erro humano e que podem proporcionar uma interrupção temporária do abastecimento. Os efeitos verificados são particularmente nítidos e de amplo alcance em grandes sistemas interligados, como os observados no Brasil. Oportuno registrar a crise energética⁵⁶ vivenciada pelo Brasil nos primeiros anos da década de 2000, que foi caracterizada pelo risco iminente de corte de eletricidade e interrupções ou falta de energia elétrica frequentes, como os blecautes de maior duração. O "apagão de 2001", como foi historicamente denominado, mostra-se como emblemático de falha no planejamento energético. Rosa (2001) apontou naquela ocasião que "a crise de energia elétrica não é apenas uma crise de energia, é uma crise do modelo econômico, já que diz

⁵⁶ Rosa, Tolmasquim e D'Araújo (2000) alertaram em junho de 2000 que estava em curso uma grave crise do setor elétrico, em consequência de três fatores principais. O primeiro, associado à "falta de investimento do Estado na expansão do setor elétrico". O segundo, devido ao processo de reestruturação do setor elétrico "feito às pressas, tendo como linhas gerais a competição nos segmentos de geração e comercialização (...). O governo passaria do papel de empreendedor para o de regulador e o mercado por si só se ajustaria. Contudo, (...) a iniciativa privada não promoveu os investimentos necessários". O terceiro fator "diz respeito às condições climáticas", pois a escassez de chuva agravou a crise.

respeito às restrições de investimentos públicos e à privatização - restrita à venda de ativos das estatais, sem atenção à expansão da oferta de energia”.

Segundo a IEA (2007), os riscos associados às ações físicas dizem respeito a eventos climáticos extremos⁵⁷ que podem afetar qualquer parte da cadeia de abastecimento de energia e cujos efeitos podem ser semelhantes ao de falhas técnicas.

Já o terceiro e mais permanente risco refere-se às restrições no fornecimento de energia que podem acontecer devido à instabilidade política, conflitos ou embargos comerciais. No caso do mercado de petróleo, têm consequências imediatas para a evolução dos preços. O impacto dessas ameaças geopolíticas sobre a volatilidade do mercado de energia é agravado pela distribuição desigual dos recursos de combustíveis fósseis no mundo, concentrados em um pequeno número de países. Como exemplo, os choques do petróleo, que evidenciaram que a segurança do aprovisionamento de energia constitui-se um grande desafio das nações, sobretudo aquelas pequenas economias em desenvolvimento, altamente dependentes de petróleo importado.

É importante destacar que o impacto e a percepção de riscos de segurança energética variam bastante entre nações, sobretudo aquelas em desenvolvimento. Em muitos casos, interrupções no fornecimento de energia são consideradas normais. Além disso, considerável parcela da população mundial sequer tem acesso à energia elétrica: cerca de 1,2 bilhão de pessoas, 16% do total. Em relação ao uso tradicional da biomassa para cocção, são mais de 2,7 bilhões de habitantes (38% da população global) que ainda a utilizam, tipicamente de forma ineficiente e insustentável (IEA, 2016b), o que leva à degradação ambiental e à própria escassez do recurso. Obviamente, para a população que vive nessas condições, a importância de assegurar o acesso à energia contínua precede a discussão sobre a qualidade da segurança deste abastecimento.

Com vistas ao fortalecimento da segurança do abastecimento, os países podem adotar distintas medidas, como ações voltadas à melhoria da eficiência energética e à diversificação e ao uso de fontes locais de energia na matriz.

Neste sentido, é bastante significativo o potencial das fontes renováveis em reduzir riscos geopolíticos de segurança e a dependência de importação, contribuindo para a diversificação da matriz energética dos países altamente dependentes dos combustíveis fósseis. Tipicamente um recurso de origem doméstica, as renováveis possibilitam mitigar

⁵⁷ Também se referem a atos de terrorismo ou sabotagem, felizmente de ocorrência rara.

o impacto das variações de fornecimento, ajudando a melhorar a segurança do abastecimento, sobretudo para os setores de transporte e de geração elétrica.

No caso do consumo energético do setor de transportes, em que a participação dos derivados de petróleo é superior a 90%, os biocombustíveis têm potencial para deslocar uma quantidade substancial do recurso. Dado o elevado grau de dependência desse energético, cuja oferta está majoritariamente concentrada em países econômica e politicamente instáveis, os biocombustíveis representam uma importante fonte de diversificação para reduzir a vulnerabilidade da infraestrutura de transportes.

Nesse contexto, visando à redução da dependência do petróleo importado, vários países vêm incentivando o desenvolvimento de sua indústria doméstica de biocombustíveis, através da utilização de instrumentos diversos, sejam de comando e controle ou econômicos, como políticas, regulamentações legais, subsídios, isenção de impostos e tarifas. Ressalta-se que a viabilidade comercial dessa indústria está atrelada aos preços do petróleo e das matérias-primas. Avanços tecnológicos na área agrícola e industrial também podem ajudar a reduzir os custos de produção e aumentar sua competitividade.

Assevera-se que a produção sustentável de biocombustíveis nos países tropicais em desenvolvimento (cujas lavouras são altamente produtivas, como a cana-de-açúcar) pode representar um importante vetor de desenvolvimento social, rural e agrícola. Ademais, pode ser integrada à produção de alimentos, energia elétrica e coprodutos, como proposto por Tolmasquim (1984) em “Avaliação de sistemas integrados de produção de energia e alimentos”. Por outro lado, a diversificação dos países produtores amplia as fontes de importação, o que também reduz os riscos de segurança do abastecimento. Esses potenciais benefícios indicam a importância do incentivo ao desenvolvimento de uma indústria internacional de biocombustíveis.

É importante assinalar que, tanto a infraestrutura de distribuição utilizada para os combustíveis fósseis, quanto as tecnologias de uso final podem ser facilmente utilizadas para os biocombustíveis, em certos casos sem qualquer alteração e, em outros, com reduzidas modificações, sem custos elevados. Com vistas a assegurar a compatibilidade dos motores e melhoria da eficiência energética mostram-se pertinentes parcerias entre governos, fabricantes de motores e empresas de petróleo.

No campo da geração de eletricidade, além de reduzir a dependência das importações, o uso de renováveis contribui para a flexibilidade do sistema elétrico. Em geral, tais

recursos são amplamente distribuídos, o que permite minimizar perdas de transmissão, através da geração descentralizada, localizada próxima à carga de demanda de usuários finais. Também é possível deslocar a demanda elétrica pela produção de calor direto.

3.3.2 Aspectos Ambientais

O panorama mundial do uso dos recursos energéticos caracteriza-se pela elevada dependência dos combustíveis fósseis para a produção de bens e serviços e por diversos impactos ambientais associados à exploração, produção, transformação, transporte, distribuição, armazenagem e uso final, como já mencionado. De acordo com Odum (1988), a incorporação da energia fóssil à produção de bens e serviços pelo homem será necessariamente acompanhada da emissão de resíduos (matéria/energia) sobre o meio externo, causando uma série de impactos ambientais. Dada a estreita relação entre energia, meio ambiente e desenvolvimento, as nações deparam-se com o grande desafio de assegurar a sustentação do seu desenvolvimento, incorporando a dimensão ambiental nas tomadas de decisão acerca da produção e uso da energia.

Considerando que o desenvolvimento dos diferentes setores da atividade econômica está intimamente associado ao uso final das fontes de energia que são disponibilizadas, é fundamental que o sistema de abastecimento energético seja de fácil acesso e de alto nível de segurança do provisionamento. A partir da década de 1990, também as restrições ambientais passaram a exercer influência na escolha entre distintas fontes de energia e tecnologias para seu aproveitamento. Nesse sentido, o uso dos recursos renováveis mostra-se como uma alternativa para viabilizar o estabelecimento de sistemas energéticos mais sustentáveis e em consonância com a capacidade de suporte do planeta. No entanto, o peso da sua influência varia de acordo com o grau de desenvolvimento político, social e econômico de cada país.

Em todas as etapas que integram a cadeia petrolífera existe um imenso potencial para a degradação ambiental. Além do esgotamento de um recurso não renovável, a indústria do petróleo é um grande consumidor de energia e água e, ao mesmo tempo, um grande gerador de poluição do ar, água e solo. Suas atividades estão associadas à produção de enormes quantidades de efluentes líquidos, à liberação de diversos gases nocivos para a atmosfera e à geração de resíduos sólidos de difícil tratamento e disposição.

Uma importante forma de contaminação do ambiente aquático refere-se à poluição por óleo⁵⁸, que tem como principais fontes antropogênicas o transporte de petróleo e derivados (por via marítima ou através de oleodutos) e os efluentes industriais (onde estão incluídas as refinarias). A relevância desta forma de contaminação e consequente necessidade de controle justificam a extensa regulamentação ambiental existente no contexto internacional e no contexto brasileiro (COSTA, 2003).

No que tange à poluição atmosférica, a queima de combustíveis fósseis emite para a atmosfera diversos contaminantes que produzem impactos ambientais, tanto na esfera local e regional como os de alcance global, com destaque para a chuva ácida, o *smog* fotoquímico e o aquecimento global. No caso da chuva ácida, os principais responsáveis são os óxidos de enxofre e de nitrogênio. Em combinação com o vapor d'água, estes reagem, formando os ácidos sulfúrico e nítrico, que se precipitam pela ação das chuvas, acidificando solos, recursos hídricos, vegetação e construções. Já o fenômeno do *smog* fotoquímico tem os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos (Compostos Orgânicos Voláteis – COVs) como precursores. A partir da presença da radiação solar, estes reagem fotoquimicamente para formar o ozônio (O₃) troposférico e outros oxidantes fotoquímicos, como aldeídos, cetonas e peróxidos, notadamente o peroxiacetil nitrato (PAN)⁵⁹.

É importante ressaltar a relação entre os efeitos adversos da poluição atmosférica local sobre a saúde humana, os quais compreendem diferentes níveis de gravidade, desde um desconforto vago, irritações nas mucosas da boca e dos olhos, problemas respiratórios de diferentes gravidades e, em muitos casos, até a morte. A Organização Mundial de Saúde estima em 7 milhões de mortes prematuras por ano, em todo o mundo, relacionadas à poluição atmosférica (WHO, 2014). Nos ambientes urbanos, a frota veicular é um dos principais responsáveis. Consumindo, preponderantemente, derivados de petróleo, a exaustão desses veículos constitui-se em uma importante fonte de partículas e gases que impactam diretamente a saúde das pessoas.

Neste contexto, o uso de biocombustíveis pela frota de veículos agrega o benefício da melhoria da qualidade do ar, principalmente nas grandes metrópoles. Tanto a utilização

⁵⁸A problemática da poluição por óleo foi abordada pela autora em sua Dissertação de Mestrado “Poluição por Óleo na Baía de Guanabara: O Caso do Complexo Industrial REDUC-DTSE”. 2003. PPE/COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵⁹O principal produto destas reações é o ozônio, por isso mesmo utilizado como indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera.

do biocombustível “puro” quanto o uso de misturas adicionadas aos derivados de petróleo em qualquer teor proporcionam a redução de alguns poluentes atmosféricos, como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado. No entanto, ressalta-se o possível aumento das emissões de outros poluentes, como os óxidos de nitrogênio (NO_x).

De acordo com Saldiva (2007), “é inegável o impacto dos poluentes veiculares sobre a saúde humana”, que estão “associados a aumentos significativos de admissões hospitalares e à mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares”. Desta forma, “torna-se defensável argumentar a favor de que os efeitos à saúde humana devam fazer parte das políticas de transportes” (SALDIVA, 2008). Saldiva *et al.* (2010) estimaram a diminuição de mortes e de internações hospitalares pela utilização de etanol em diferentes proporções de substituição da gasolina, e da frota de veículos pesados e concluíram que, “no que tange aos efeitos decorrentes das emissões veiculares, o etanol possui vantagens em relação à gasolina e ao diesel”.

O aquecimento global vem se mostrando uma das maiores preocupações e um dos principais desafios mundiais a serem superados neste século XXI e também nos porvindouros, tanto nos países desenvolvidos quanto nos que se encontram em desenvolvimento. Conforme apontado pelo IPCC⁶⁰ em seu IV Relatório (IPCC, 2007):

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar.

O clima é fortemente influenciado por mudanças nas concentrações atmosféricas dos Gases de Efeito Estufa (GEE), “caracterizados pelo fato de suas moléculas terem níveis de energia capazes de serem excitados por absorção de fótons de ondas eletromagnéticas da radiação térmica emitida pela Terra. Por outro lado, não absorvem fótons de ondas com frequências da luz solar” (ROSA, 1996). O vapor d’água e o dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera originam um efeito estufa natural. Outros gases que contribuem para o efeito estufa antropogênico são o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e compostos halogenados, tais como os CFCs, HFCs e PFCs.

⁶⁰ IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). Estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o Painel examina a literatura técnica e científica mundial sobre mudança do clima e publica periodicamente os relatórios de avaliação reconhecidos como fontes confiáveis acerca do tema.

A Mudança do Clima, como definido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC⁶¹, é uma alteração “direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, alterando a composição da atmosfera mundial, e que seja adicional àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo” (UNFCCC, 1992).

O objetivo final da Convenção do Clima é a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera em um nível que impeça uma interferência perigosa no sistema climático. Para reduzir as emissões a este nível serão demandadas mudanças substanciais no uso da energia, incluindo a inovação tecnológica, melhorias de eficiência energética, conservação, e uso de fontes renováveis de energia.

A principal causa da intensificação do efeito estufa é a queima de combustíveis fósseis, originando emissões de CO₂. Agricultura e mudanças no uso do solo (desmatamento inclusive), certas atividades industriais, deposição de resíduos em aterros, refrigeração e uso de solventes são atividades que também contribuem para tal.

Neste contexto de alta relevância do consumo de combustíveis fósseis como agente causador das mudanças climáticas de origem antrópica, destaca-se o setor de transporte, que ocupava o terceiro lugar das emissões mundiais de CO₂ decorrentes das atividades energéticas em 2010 (IPCC, 2014).

É consenso da comunidade internacional que não há uma solução tecnológica única para atingir as metas de redução das emissões globais de GEE. Entretanto, dentre as alternativas apontadas para a mitigação do problema, tem recebido especial atenção o uso de biocombustíveis líquidos no setor de transportes em substituição aos derivados de petróleo, nomeadamente etanol e biodiesel.

O uso de etanol e biodiesel permite obter significativas reduções de emissões de GEE comparativamente ao uso de gasolina e diesel, respectivamente. No entanto, deve-se ressaltar que tal contribuição é extremamente dependente da fonte de biomassa que lhe deu origem e da rota tecnológica adotada, bem como da área utilizada para seu cultivo. Diversas pesquisas realizadas no mundo inteiro avaliando a redução de emissões para etanol de milho, trigo, beterraba, cana-de-açúcar e lignocelulose, assim como para biodiesel de canola e soja foram consolidadas em IEA (2004). Os resultados sinalizam

⁶¹ UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*. A Convenção foi assinada em 1992 na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro (Rio 92) e entrou em vigor em 1994.

que, considerando a análise de ciclo de vida, o uso do etanol brasileiro, oriundo da cana, é o que resulta em maior redução líquida de emissões de GEE para a rota de primeira geração. Este resultado encontra explicação em ser a energia usada no processo produtivo das usinas sucroenergéticas brasileiras de origem renovável, proveniente do bagaço da cana, enquanto os outros insumos demandam energia fóssil. Ressalta-se que o cultivo da biomassa para fins energéticos deve ser priorizado nas áreas degradadas ou previamente usadas para outros cultivos, visando maximizar os benefícios ambientais.

Outra vantagem ambiental associada aos biocombustíveis é que estes são menos tóxicos do que os derivados de petróleo e sua produção pode, em alguns casos, representar uma oportunidade de aproveitamento de resíduos, como é o caso do biodiesel de óleo de fritura, gordura animal, borra de ácidos graxos e esgoto.

Assevera-se que em um contexto em que a produção e uso de biocombustíveis pode contribuir para mitigação dos impactos ambientais, o acirramento do debate em torno do aquecimento global pode representar uma janela de oportunidades para vários países, ampliando o grau de importância desses renováveis na pauta do comércio internacional.

3.3.3 Aspectos Sociais

Além dos benefícios ambientais e daqueles associados à segurança energética, a produção sustentável de biocombustíveis pode representar um importante vetor de criação de empregos, que são uma variável chave para a promoção do desenvolvimento social rural. Pode, ainda, ser consorciada com a produção de alimentos e energia elétrica, como proposto por Tolmasquim (1984).

O estabelecimento de uma estratégia voltada à maior promoção da biomassa como fonte de energia tem grande potencial de criação de novos postos de trabalho, sobretudo no setor agrícola. Contudo, são também geradas oportunidades em outros segmentos, como na pesquisa e desenvolvimento e no setor industrial, incluso no processo de conversão da biomassa. Cabe assinalar que, caso a renda adicional dos novos postos de trabalho seja gasta localmente, é provável haver um efeito multiplicador, o que pode estimular ainda mais o desenvolvimento (UNEP, s.d.).

A produção de biomassa para fins energéticos tem potencial para incentivar e diversificar a produção agrícola doméstica, proporcionando novas oportunidades de mercado para os agricultores. Desta forma, é possível ampliar as receitas agrícolas e aumentar a capacidade produtiva das terras cultivadas, beneficiando as comunidades rurais e

contribuindo para um crescimento econômico sustentável. A melhoria da produtividade agrícola e da eficiência podem ser conseguidas especialmente através de algumas formas de mecanização possibilitadas pelo acesso à energia mais barata, oriunda da biomassa local.

Adicionalmente à criação de empregos, a produção e uso de biocombustíveis podem proporcionar outros benefícios para a população rural, como os relacionados à educação e saúde⁶², os quais ajudam a reduzir a disparidade entre as facilidades rurais e urbanas, diminuindo as taxas de migração para as cidades.

No entanto, é preciso atentar ao fato de que uma expansão mal direcionada da bioenergia pode prejudicar as práticas agrícolas tradicionais e o uso sustentável da terra. Em muitas regiões, as economias de escala e de comércio global tendem a deslocar os pequenos agricultores e favorecer os grandes, altamente mecanizados, que fornecem empregos mais qualificados e melhor remunerados, porém, em menor quantidade. Para obter o máximo dos benefícios colaterais do desenvolvimento rural, é imprescindível o foco nos pequenos agricultores, que deve ser reforçado através de políticas e ações voltadas à sua participação direta, como através da organização em cooperativas.

Vale destacar que a produtividade em biomassa é mais elevada nas regiões tropicais, que reúnem as condições ideais para o plantio de várias espécies: radiação solar mais intensa, maiores médias de precipitações pluviométricas e maior disponibilidade de terras para cultivo. Essas condições edafoclimáticas ótimas lhes conferem uma maior vantagem comparativa para a produção de biocombustíveis e alimentos. Considerando que tais regiões também concentram a maior parte dos países pobres e com baixo IDH⁶³ - Índice de Desenvolvimento Humano - do planeta, pode-se inferir que a produção dos biocombustíveis tem grande potencial em contribuir para redução da pobreza, aumento de renda e o desenvolvimento socioeconômico, particularmente nas localidades rurais.

Assevera-se que a produção de biocombustíveis de forma descoordenada pode deslocar culturas alimentícias, aumentando seu preço. Ademais, países em desenvolvimento enfrentam uma importante dificuldade que é o protecionismo dos países desenvolvidos. Uma vez que a produção agrícola para o mercado local recebe incentivo financeiro,

⁶² Segundo a UNEP (s.d.) a eletricidade gerada pelas fontes renováveis possibilita a iluminação necessária para o ensino e aprendizagem. Também pode beneficiar a saúde das famílias, através da purificação da água, refrigeração de medicamentos, esterilização de equipamentos, e energia para os postos de saúde.

⁶³ O IDH é composto por três indicadores: expectativa de vida, educação e produto interno bruto, com base na paridade do poder de compra (PPP do inglês *power parity purchase*) *per capita* (UNDP, 2016).

penaliza a competitividade do produto importado de um país em desenvolvimento. Por outro lado, tais produtos subsidiados chegam ao mercado consumidor desses últimos a preços mais baixos, com os quais os produtores locais têm dificuldades em competir.

Há que se reconhecer que existem diferenças entre os países em desenvolvimento, bem como uma problemática ambiental, econômica e social. Na produção dos biocombustíveis, o Brasil tem desempenhado o papel de líder por sua reconhecida competência. Nos últimos anos, o país tem sido também um defensor da inclusão social e redução de pobreza através da produção sustentável de combustíveis renováveis, marco da política de biodiesel nos mandatos do Partido dos Trabalhadores.

3.3.4 Outros Aspectos

O etanol é atualmente um dos principais compostos oxigenados utilizados em adição à gasolina no mundo, com o propósito de melhorar a qualidade do combustível queimado nos motores do ciclo Otto e reduzir o nível de emissão de alguns poluentes.

Até os choques do petróleo, os esforços da indústria automobilística eram direcionados ao aumento da produção e ao desenvolvimento de tecnologias para a elevação da potência dos motores. Com as crises energéticas, voltaram-se para a redução de consumo e o desenvolvimento e utilização de novos combustíveis e, posteriormente, para a redução da poluição atmosférica.

O chumbo tetraetila, que vinha sendo empregado desde a Primeira Guerra Mundial para proporcionar o bom desempenho e durabilidade do motor (FEUP, 2010), teve a sua presença progressivamente proibida no mundo devido à sua toxicidade e efeitos negativos à saúde humana. O uso de compostos oxigenados mostrou-se, então, como uma das alternativas de contorno para a sua substituição.

Silva (2008) avaliou os compostos oxigenados (dentre os quais, o etanol) puros e em formulações com gasolinas em testes de desempenho em motores de combustão interna ciclo Otto. A autora assinala que tais compostos “alteram as propriedades físico-químicas como volatilidade, densidade, viscosidade, composição, número de octano, entalpia de combustão”. Aliadas ao tipo de motor e às condições de operação, estas propriedades afetam diretamente o consumo de combustível e o nível de emissões. É de essencial importância o índice de octano⁶⁴, definido como a capacidade de uma gasolina de resistir à autoignição, ou seja, gerar potência sem que ocorram detonações. Quanto maior o índice

⁶⁴ Maiores informações encontram-se em sua Tese de Doutorado (SILVA, 2008).

de octano, mais antidetonante o combustível e, conseqüentemente, maior sua capacidade de suportar altas compressões sem sofrer detonação. Portanto, melhor a qualidade da gasolina.

O uso do MTBE (metil-terc-butil-éter) como aditivo oxigenado nos Estados Unidos e Europa vem sofrendo uma série de restrições devido a problemas ambientais. Na Europa, o ETBE (etil-terc-butil-éter) é o principal oxigenante utilizado. Industrialmente produzido a partir da conversão do etanol, o ETBE fornece alta octanagem com menor volatilidade do que o álcool etílico, embora parcialmente renovável (IEA, 2004).

O principal composto oxigenado totalmente renovável empregado na formulação de gasolinas automotivas no mundo é o álcool etílico. Enquanto no Brasil a adição de etanol anidro à gasolina varia de 18% a 27,5% em volume, nos Estados Unidos o mais usual é a mistura com 10%, conhecida como E10, como exposto adiante.

O etanol possui um índice de octano muito alto. Desta forma, sua adição à gasolina contribui para o atendimento da octanagem desejável, resultando em misturas de melhor qualidade e proporcionando um melhor desempenho do motor. Como possui oxigênio em sua molécula (C_2H_5OH), também favorece o processo de combustão e, conseqüentemente, a diminuição das emissões de alguns poluentes atmosféricos, sobretudo o monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre. Uma desvantagem refere-se a seu menor poder calorífico, o que leva a um maior consumo de combustível. Contudo, é possível minimizar tais perdas⁶⁵.

No que tange ao biodiesel, sua utilização nos motores do ciclo Diesel permite melhorar a lubricidade do diesel e aumentar o número de cetano (NC), auxiliando o desempenho do combustível. O NC é um indicador da qualidade de um combustível diesel, e mede a rapidez com que este entra em autoignição a uma dada pressão e temperatura. Quanto maior o NC de um combustível, menor é o atraso entre a sua injeção e o início da combustão. Além disso, sua composição rica em oxigênio também contribui para um processo de queima mais completo, similarmente ao etanol, promovendo a redução de emissões de alguns poluentes atmosféricos, sobretudo o SO_x , como já descrito.

⁶⁵ Neste sentido, IEA (2004) sinaliza que veículos operando com níveis de mistura de etanol superiores a 10% podem ser reotimizados, ajustando o sincronismo do motor e aumentando a taxa de compressão, o que pode resultar em economia de combustível.

3.4 As alternativas para os Biocombustíveis Líquidos: Etanol e Biodiesel

O termo biocombustíveis refere-se a todas as fontes de energia derivadas da biomassa, seja de origem vegetal ou animal. Podem ser sólidos, como a lenha e o bagaço de cana queimado nas usinas do setor sucroenergético; ou gasosos, como o biometano obtido da decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários. Podem, ainda, ser líquidos, como o etanol de cana-de-açúcar ou de milho e o biodiesel de soja ou de sebo bovino.

Os biocombustíveis líquidos etanol e biodiesel são as alternativas mais simples para substituição dos derivados de petróleo no setor de transportes. Utilizados na forma pura ou adicionados aos fósseis em diferentes proporções, são os principais combustíveis renováveis atualmente produzidos no mundo. Enquanto o etanol anidro (quase isento de água) geralmente é misturado com a gasolina pura para utilização nos motores do ciclo Otto, o uso do etanol hidratado (até 5% de água), puro, requer algumas modificações nos motores. Já o biodiesel é adicionado ao diesel normalmente em misturas de 5%, 10% ou 20% para uso nos motores do ciclo Diesel, mas também pode ser empregado puro, o que demanda pequenas alterações nesses engenhos, como será visto adiante.

O etanol é o biocombustível para transporte mais utilizado em todo o mundo. Em 2015, o consumo de etanol carburante alcançou 98 bilhões de litros, sendo 52,8 bilhões nos Estados Unidos e 29,7 bilhões no Brasil. Já a demanda mundial de biodiesel nesse mesmo ano foi 30 bilhões de litros.

Existem diversos tipos de matéria-prima e rotas tecnológicas para a produção de etanol e biodiesel, como será exposto a seguir. A produção de biodiesel emprega principalmente culturas de oleaginosas, incluindo colza, dendê e soja. Já o etanol é geralmente produzido a partir de cultivos que contêm açúcar, como a cana e a beterraba ou que contenham matérias-primas amiláceas, como o milho e o trigo.

3.4.1 Biodiesel

O termo "biodiesel" é usualmente empregado para designar os ésteres metílicos⁶⁶ obtidos através do processo de transesterificação, que reage uma matéria-prima graxa com metanol na presença de hidróxido de potássio como catalisador. A matéria graxa pode ser de origem vegetal ou animal, como o óleo vegetal novo (óleos de soja, dendê, colza, entre

⁶⁶ O termo biodiesel geralmente se refere aos ésteres metílicos de ácidos graxos, comumente denominados FAME - *Fatty Acid Methyl Ester* (IEA, 2004).

outros), ou residual (óleo de fritura) ou, ainda, gordura de origem animal, como o sebo bovino, gordura de frango ou banha de porco.

Além do éster (biodiesel), o processo normalmente gera como coprodutos glicerina e farelo proteico, cujos aproveitamentos desempenham importante papel para viabilidade econômica da produção do biocombustível. De acordo com IEA (2004), a produção de biodiesel envolve tecnologias bem estabelecidas que não deverão sofrer alterações significativas no futuro.

Por constituir-se o objeto principal desse estudo, os processos de produção e os dados relacionados ao mercado internacional de biodiesel serão detalhados no próximo capítulo.

3.4.2 Etanol

O etanol pode ser produzido a partir de qualquer biomassa que possua quantidades significativas de açúcar ou de substâncias que possam ser convertidas em açúcar, como o amido ou a celulose.

Nos processos de primeira geração, o etanol é produzido a partir da fermentação de açúcar por leveduras que convertem açúcares de seis carbonos (principalmente glicose) em etanol. A cana-de-açúcar e a beterraba são exemplos de matérias-primas que já contêm açúcar, sendo necessária apenas a sua extração para a produção do biocombustível. Já o milho e o trigo contêm amido, que pode facilmente ser convertido em açúcar através de um processo enzimático a altas temperaturas. É importante destacar que tanto os microorganismos necessários para a conversão do amido em glicose quanto para a fermentação dessa glicose estão disponíveis em escala comercial.

Nos processos de segunda geração, diversos materiais compostos de celulose e hemicelulose⁶⁷, como árvores, gramíneas e resíduos de colheitas, são também convertidos em açúcares e, posteriormente, em etanol. No entanto, tal processo é bem mais complexo e apresenta um maior grau de dificuldade do que as tecnologias convencionais. O material celulósico geralmente é convertido não somente em açúcares de seis átomos de carbono (glicose), mas também de cinco (pentose), o que demanda microorganismos especiais para a fermentação completa. Muito embora tenha havido consideráveis progressos nos últimos anos, a obtenção de etanol celulósico ainda encontra-se em fase de pesquisa e desenvolvimento, o que deverá resultar em uma produção de etanol mais eficiente.

⁶⁷ A biomassa lignocelulósica também contém a lignina, um polímero complexo de grupos metoxi e fenilpropânicos, que mantém as células unidas (DUFF; MURRAY, 1996).

3.4.2.1 *Produção de etanol a partir de açúcar*

A rota mais simples para produzir etanol envolve o uso de biomassa que contenha açúcares de seis carbonos que possam ser diretamente fermentados ao biocombustível. A cana-de-açúcar é a matéria-prima mais comum utilizada para a produção de etanol nessa rota, empregada no Brasil e na maioria dos países tropicais. Vale destacar que os custos de produção de etanol nesses países situam-se entre os mais baixos para os biocombustíveis líquidos (IEA, 2004). A beterraba é outra cultura que também contém quantidades significativas de açúcar, sendo empregada na produção de etanol em alguns países da União Europeia, a exemplo da França. Tanto para a cana como para beterraba, a produção do biocombustível envolve extração da sacarose, fermentação e destilação.

Nesse processo, as colheitas primeiramente devem ser processadas para a extração do açúcar (moagem, embebição e tratamento químico). O açúcar extraído passa, então, pela etapa de fermentação para ser convertido a etanol, utilizando-se leveduras e outros microorganismos. A última etapa consiste na destilação do etanol até a concentração desejada.

É importante destacar que na produção de etanol a partir da cana, o próprio bagaço resultante do esmagamento dos colmos da planta é usado como insumo energético. Por este motivo, o consumo de energia de origem fóssil e as emissões de GEE são significativamente baixos.

3.4.2.2 *Produção de etanol a partir de amido*

Essa rota de produção de etanol a partir do componente amiláceo dos cereais envolve uma etapa a mais do que a anterior, uma vez que os açúcares não estão presentes de forma direta na matéria-prima. Enquanto o milho é a principal biomassa empregada nos Estados Unidos, na Europa são o trigo e a cevada. Cabe registrar que somente a parte com material amiláceo da planta é utilizada, o que representa uma percentagem relativamente pequena da massa total.

O processo inicia com a separação, limpeza e moagem da matéria-prima com amido. A moagem pode ser por via úmida ou por via seca (mais comum), dependendo se as diferentes frações do grão são separadas antes da conversão do amido em açúcar (via úmida) ou durante o processo (via seca). Normalmente, a hidrólise do amido em cadeias menores de açúcar é promovida através de um processo enzimático a alta temperatura. Após esta etapa, as cadeias de açúcares formadas sofrem a ação da glico-amilase para

serem sacarificadas, e a solução resultante segue para as dornas de fermentação, assim como ocorre na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar (BNDES; CGEE, 2008).

A partir de então, o processo é semelhante ao anteriormente descrito, com as etapas de fermentação dos açúcares formados e destilação do etanol para a concentração desejada. Esse processo produz simultaneamente vários coprodutos, tais como alimentação para animais, como por exemplo, os DDGS⁶⁸. Coprodutos da obtenção de etanol de milho os DDGS são usados na ração animal, devido ao alto teor de proteínas e fibras, bem como seu baixo custo (CARMO, 2013).

3.4.2.3 Produção de etanol a partir de lignocelulose

As tecnologias de conversão a partir de material lignocelulósico compreendem rotas bioquímicas ou termoquímicas. A rota bioquímica consiste em três etapas principais: pré-tratamento, hidrólise e posterior fermentação dos açúcares. Já o processo termoquímico⁶⁹ compreende a produção do gás de síntese (por pirólise ou gaseificação), seguida de síntese catalítica, ou fermentação do gás por microorganismos específicos.

A rota bioquímica utiliza agentes químicos, físicos ou biológicos para desconstruir a lignocelulose em seus polímeros e para a quebra da celulose e hemicelulose em açúcares monoméricos que podem, então, ser fermentados para produção de etanol.

O pré-tratamento objetiva quebrar a proteção de lignina e expor a celulose e hemicelulose para posterior hidrólise. Cada biomassa requer um método para minimizar a degradação do substrato e maximizar o rendimento de açúcares, que pode ser biológico, físico, químico ou uma combinação. Finalizado o pré-tratamento, o material deverá sofrer hidrólise, que permitirá que a celulose seja convertida em açúcares, com a reação catalisada por ácido diluído, ácido concentrado ou enzimas (celulase) (HAMELINCK *et al.*, 2005). Posteriormente, deverá haver a fermentação dos açúcares para produção de etanol. As hexoses são fermentadas por microorganismos disponíveis comercialmente, o que ainda não ocorre para as pentoses (GRAY *et al.*, 2006).

⁶⁸ DDGS - *Distillers Dried Grains with Solubles* (Grãos Secos de Destilaria com Solúveis).

⁶⁹ Os processos da rota termoquímica são conhecidos como processos BTL- "*Biomass to Liquid*".

3.4.3 O Mercado Mundial de Biocombustíveis

A produção mundial de biocombustíveis evoluiu em taxas muito expressivas de 2000 a 2010, ano a partir do qual sofreu uma desaceleração, retomando a trajetória de crescimento em 2012. Dados sobre a evolução das fontes renováveis de energia para o intervalo compreendido entre 2000 e 2015 foram compilados no relatório “*Renewables 2015 Global Status Report*” (REN21, 2016), divulgado pela Rede de Políticas de Energia Renovável para o Século 21 (REN21)⁷⁰. Conforme ilustra o Gráfico 12, o etanol seguiu em todo o período como o principal biocombustível produzido no mundo, muito embora a produção de biodiesel tenha se tornado representativa nos últimos anos.

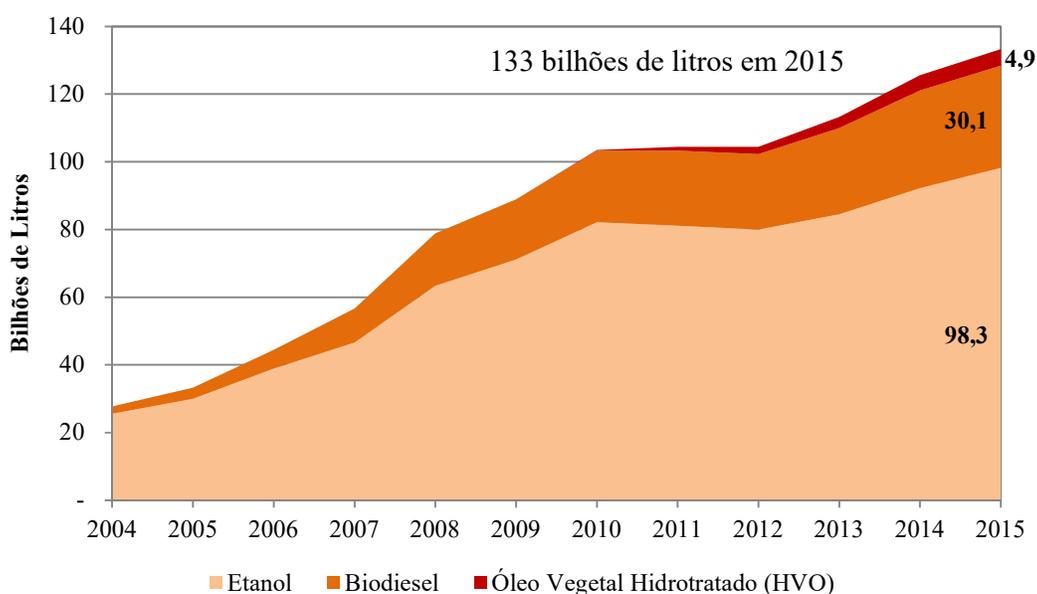


Gráfico 12 – Produção Mundial de Biocombustíveis 2000-2015 (bilhões de litros)
Fonte: elaboração própria a partir de REN21 (2015 e 2016)

Informações sobre a produção e uso de biocombustíveis no mundo para o período 2005-2015 também foram consolidados no estudo “*2015 Renewable Energy Databook*” (NREL, 2016), publicado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL)⁷¹, e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Produção mundial de biocombustíveis 2005-2015 (bilhões de litros)

biL/ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Etanol	46,0	51,1	49,6	65,6	73,9	87,1	84,6	82,6	88,7	93,0	98,3
Biodiesel	3,9	6,0	9,0	12,0	16,6	19,0	21,4	22,5	26,3	29,7	30,1

*A produção de HVO cresceu rapidamente nos últimos anos, alcançando 4,9 bilhões de litros em 2015.

Fonte: elaboração própria a partir de NREL (2016)

⁷⁰ REN21 – *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*.

⁷¹ NREL - *National Renewable Energy Laboratory / U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*.

Note-se que, não obstante o volume produzido de etanol em 2015 ser mais de 3 vezes superior ao de biodiesel, esse último foi o biocombustível que apresentou a maior taxa de crescimento, em muito superior à do etanol, respectivamente 22,7% a.a. contra 7,8% a.a.. No intervalo considerado, enquanto a produção mundial de etanol mais do que dobrou, evoluindo de 46,0 bilhões de litros em 2005 a 98,3 bilhões em 2015, a de biodiesel foi multiplicada por 8: 30,1 bilhões de litros em 2015 contra 3,9 bilhões em 2005.

A seguir, será realizada uma breve descrição do mercado internacional de etanol. Dados relacionados ao mercado mundial de biodiesel serão detalhados no próximo capítulo.

3.4.3.1 O Mercado de Etanol Carburante

No que tange ao etanol, o Brasil e os Estados Unidos mantêm-se como os principais mercados, concentrando mais de 80% de sua produção e consumo.

3.4.3.1.1 Etanol nos Estados Unidos

O etanol carburante nos Estados Unidos tem no milho a sua matéria-prima principal. O país se tornou o maior produtor mundial em 2006, em consequência de políticas de incentivo que impulsionaram um crescimento acelerado da produção e consumo do biocombustível, como será visto adiante.

Nos Estados Unidos, o etanol é adicionado à gasolina em diversas proporções. A principal mistura consiste em 10% de etanol em volume (E10). Classificado pela EPA como similar à gasolina pura, e, portanto, comercializável em todos os postos de abastecimento, o E10 representa mais de 95% da gasolina vendida no país. O consumo da mistura E15 foi autorizado pela EPA em 2011 para veículos de ciclo Otto fabricados a partir de 2001. Já o E85 pode ser usado somente pela frota de veículos *flex fuel*⁷², não sendo permitido seu uso em veículos convencionais a gasolina (AFDC, 2016).

O Gráfico 13 apresenta a evolução da produção, consumo carburante e balanço de etanol para o período 2005-2015.

⁷² FFV's - *Flex fuel vehicles*: projetados para funcionar com E85, gasolina, ou qualquer mistura dos dois.

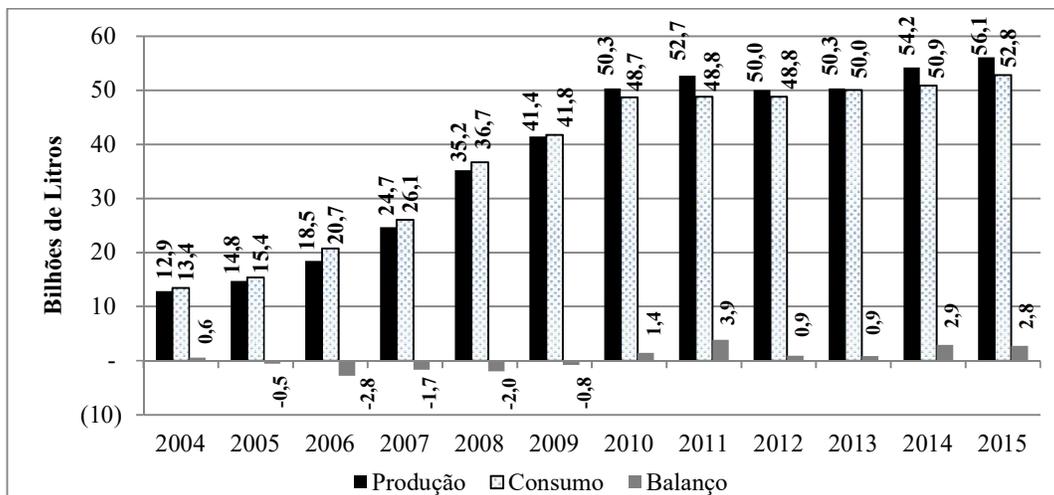


Gráfico 13- Produção, consumo carburante e balanço de etanol nos EUA (10⁶ L)
 Fonte: EIA (2016a)

Observa-se que a produção e a demanda carburante de etanol têm sido crescentes e que o país passou a ser exportador líquido em 2010. Em 2015, o país produziu 56,1 bilhões e consumiu 52,8 bilhões de litros de etanol, máximos históricos (EIA, 2016b).

A evolução da capacidade instalada de produção de etanol é apresentada no Gráfico 14. Observa-se que, depois da expansão acelerada de 2006 a 2009, o ritmo de crescimento diminuiu e, desde 2012 vinha se mantendo em torno de 56,5 bilhões de litros anuais, subindo para 59,0 bilhões em janeiro de 2016, em 214 usinas (RFA, 2016).

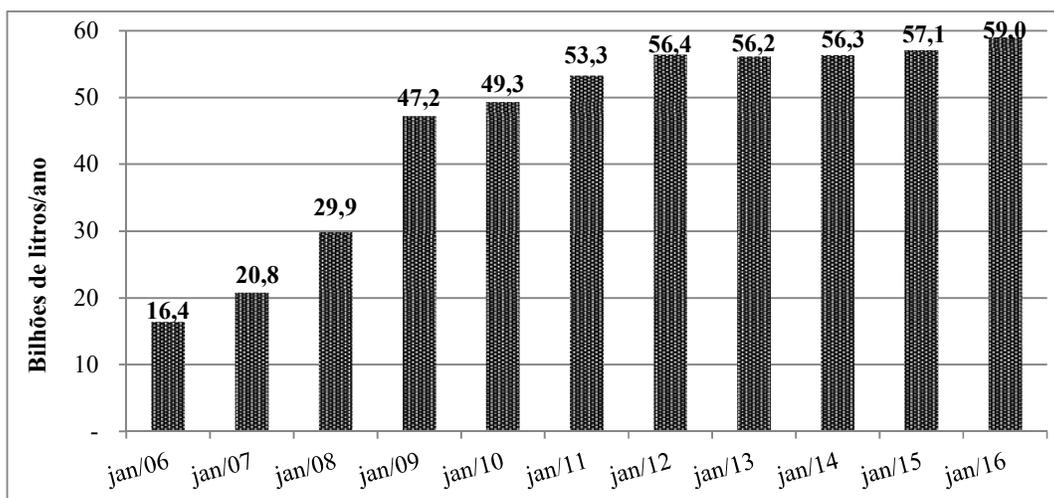


Gráfico 14- Capacidade Instalada de Produção de Etanol - Estados Unidos (bi L/ano)

Fonte: elaboração própria a partir de RFA (2016)

Considerando que o consumo de etanol carburante nos Estados Unidos está atrelado ao da gasolina, é importante apresentar a recente evolução da demanda estadunidense desse combustível fóssil, conforme Gráfico 15:

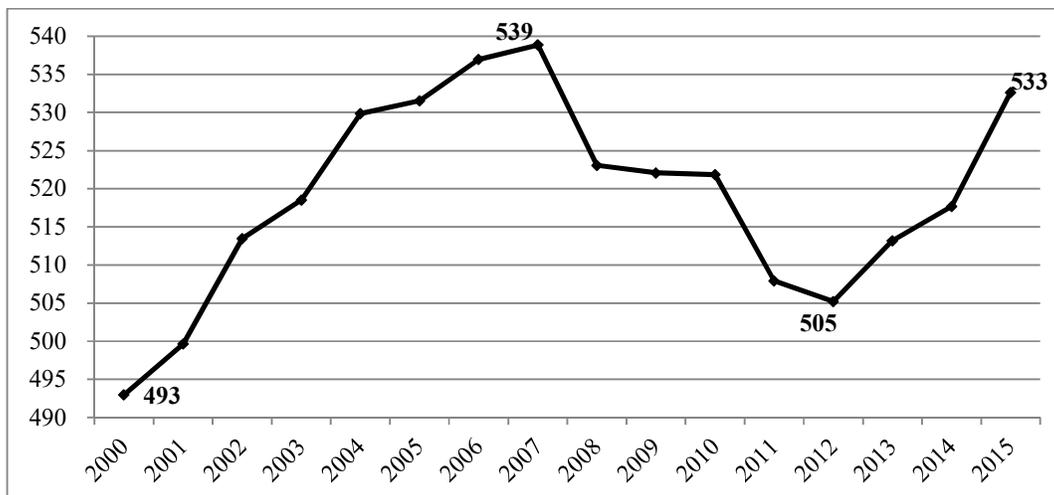


Gráfico 15– Demanda de Gasolina - Estados Unidos (bilhões de litros)
 Fonte: EIA (2016e)

Pode-se observar uma demanda crescente de gasolina nos Estados Unidos até 2007, quando ocorreu o recorde histórico de consumo (539 bilhões de litros). Dado o alto grau de dependência externa, com vistas à redução da demanda do combustível, o governo estadunidense tomou uma série de medidas de efficientização energética, aumento do uso de renováveis e diversificação da matriz de transportes, como será visto no próximo item. A partir de 2007, observa-se que o consumo de gasolina iniciou uma trajetória de queda, especialmente devido à efficientização veicular, reduzindo-se a um mínimo de 505 bilhões em 2012 e voltando a subir até 533 em 2015. A média de consumo foi de 522 bilhões de litros/ano no último decênio e 515 bilhões nos últimos cinco anos.

Considerando que o E10 corresponde a mais de 95% da gasolina comercializada nos Estados Unidos, a capacidade já instalada de produção de etanol e o programa de efficientização energética em curso, o país encontra-se em uma situação de restrição denominada “*E10 Blend Wall*”, em que a gasolina automotiva está saturada com etanol. Neste contexto, é possível inferir que a demanda de etanol carburante deverá permanecer em patamares próximos ao atual. A EIA (2016d) projeta em seu *Annual Energy Outlook* de 2016 um consumo praticamente estável em torno de 50 bilhões de litros, até 2035, quando passa a crescer, alcançando 55 bilhões em 2040.

3.4.3.1.2 Etanol no Brasil

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo e o primeiro de etanol de cana-de-açúcar. Composta pelas parcelas de anidro e hidratado, a produção brasileira é destinada ao atendimento do mercado carburante, etanol para outros usos e exportação.

O mercado brasileiro de etanol carburante é composto pelas vendas de anidro e de hidratado. O consumo de etanol anidro está relacionado ao da gasolina C, uma vez que é misturado na proporção de 18-27,5% a este combustível. O etanol hidratado, por sua vez, é consumido pela pequena parcela remanescente da frota dedicada, movida puramente a etanol ou pelos veículos *flex fuel*, que no Brasil funcionam com etanol hidratado e/ou gasolina C em quaisquer proporções.

A tecnologia *flex* foi lançada no mercado brasileiro em 2003 e rapidamente conquistou o mercado consumidor: já em 2007 alcançou 86% das vendas, e vem mantendo essa elevada participação. Como ilustra o Gráfico 16, o licenciamento de veículos leves, que mantinha-se em um patamar de cerca de 1,4 milhão de unidades, também em 2003 iniciou uma trajetória contínua de crescimento bastante acelerada até o ano de 2012 (12% a.a.), quando alcançou o ápice de 3,63 milhões de veículos licenciados. No entanto, desde 2013 vêm ocorrendo quedas sucessivas. Em 2015, foram comercializados 2,5 milhões de veículos, média observada em 2007 e 2008. Observe-se que, mesmo considerando-se todo o intervalo 2003 a 2015, a taxa é de 5,6% a.a.

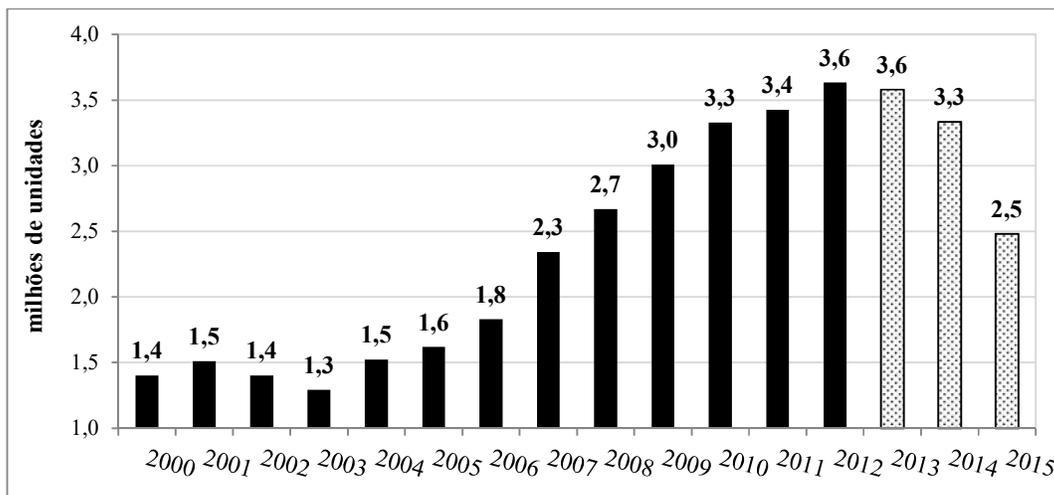


Gráfico 16 – Licenciamentos de veículos leves – 2000-2015

Fonte: EPE (2016b)

A expressiva inserção da tecnologia *flex* associada à significativa expansão do setor automobilístico nesse período proporcionou a retomada do aumento do consumo doméstico de etanol carburante. O consumo de etanol no setor de transportes representou, na média dos últimos dez anos, cerca de 95% do consumo total, 83% da produção nacional e 93% da oferta doméstica (considera exportação e importação), conforme os dados reportados no Balanço Energético Nacional (EPE, 2016a).

O Gráfico 17 apresenta a evolução da produção de etanol no Brasil para o período 2000-2015, puxada pelo aumento do consumo carburante.

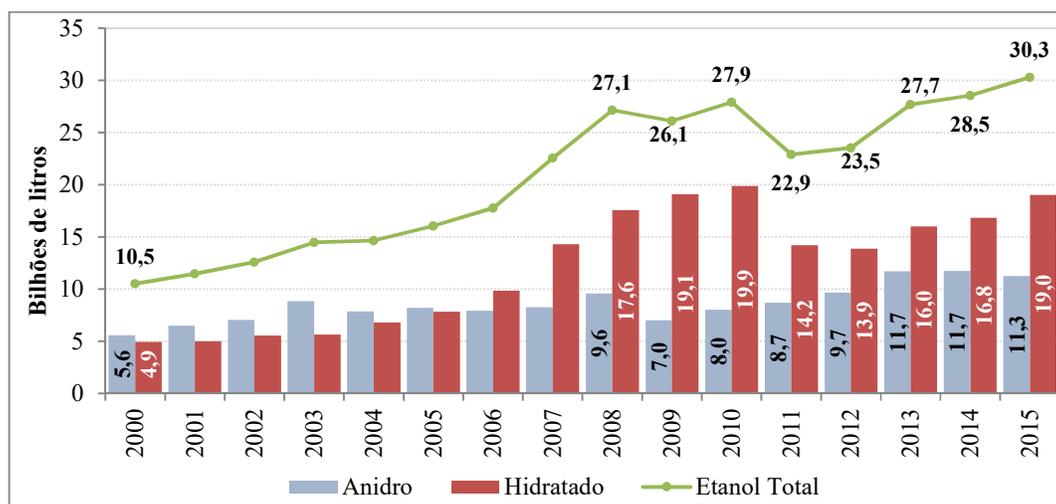


Gráfico 17 – Produção brasileira de etanol – 200-2015

Fonte: EPE (2016b)

Ao contrário do mercado estadunidense de combustíveis de ciclo Otto, que dava sinais de estagnação nos últimos anos, o mercado brasileiro vivenciou períodos de forte expansão até o ano 2014, com uma taxa de 6,4% a.a. no período 2005-2014. Em 2015, manteve-se praticamente estagnado, conforme Gráfico 18. Considerando-se o intervalo 2005 a 2015, a taxa é de 5,6% a.a..

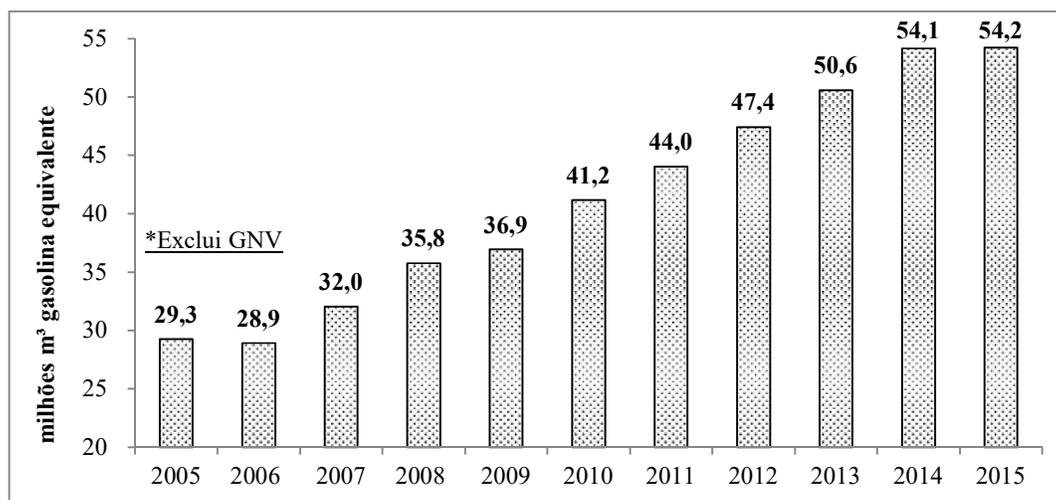


Gráfico 18 – Demanda de Combustíveis da Frota de Veículos Leves do Ciclo Otto

Fonte: EPE (2016b)

O Gráfico 19 ilustra a evolução da balança comercial brasileira de etanol para o período 2005-2015.

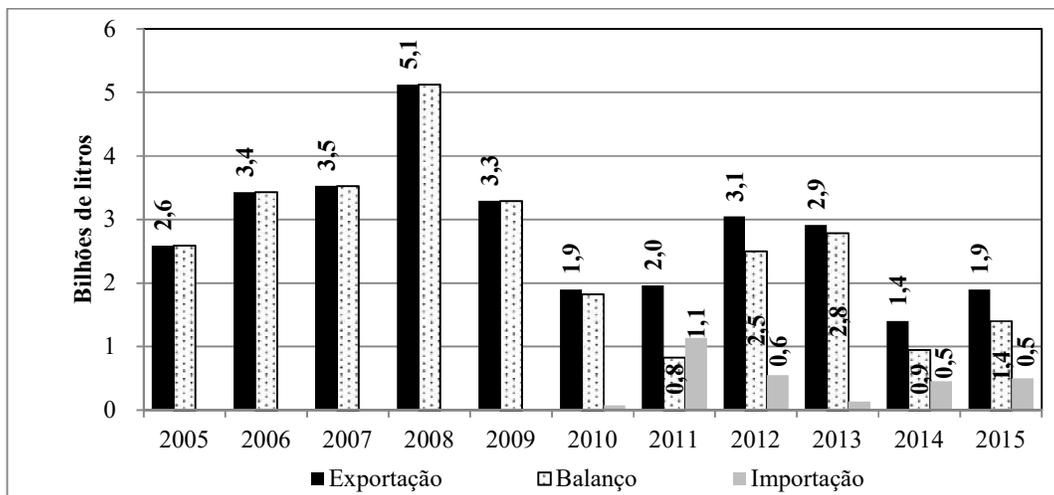


Gráfico 19 – Balanço nacional de etanol
 Fonte: elaboração própria a partir de MDIC (2016)

Observa-se que o recorde de exportação foi de 5,1 bilhões de litros em 2008. Somente a partir de 2010 o Brasil começou a importar etanol, sendo o máximo de importação observado em 2011 (1,1 bilhão de litros). Em 2015 as exportações brasileiras totalizaram 1,9 bilhão de litros e as importações, 0,5 bilhão de litros.

3.5 Arcabouço Institucional Orientado à Promoção dos Biocombustíveis

A produção e o uso dos biocombustíveis possuem significativo potencial para substituição ou complementação dos combustíveis fósseis e estão associados a uma série de características consonantes com os objetivos da política energética das nações. Além de fortalecerem a segurança do abastecimento energético, com a redução da dependência ao petróleo, a adequada produção e uso de biocombustíveis pode proporcionar uma série de vantagens, de natureza econômica, social e ambiental.

No entanto, uma vez que o atual sistema de preços não consegue refletir todas as externalidades positivas e negativas decorrentes das atividades da cadeia energética, enquanto seus benefícios ambientais e sociais são negligenciados, a penetração de fontes de energia renováveis na matriz vem sendo restringida por motivos financeiros. Neste contexto, diversos mecanismos de viabilização e de incentivo têm sido adotados pelas nações para a promoção das fontes renováveis, como políticas e regulamentações (níveis federal e estadual) e incentivos fiscais e subsídios. A seguir, são descritos os principais esquemas adotados para o fomento dos biocombustíveis nos principais produtores mundiais: Estados Unidos, União Europeia e Brasil. A Política Energética Nacional será apresentada no próximo item.

3.5.1 Estados Unidos

Há uma série de ações governamentais que foram decisivas para o desenvolvimento da capacidade instalada, produção e uso de biocombustíveis nos Estados Unidos. Ressaltam-se a modificação de 1990 do *Clean Air Act*, o estabelecimento do *Energy Policy Act* de 1992, a criação do Programa de Bioenergia do *Commodity Credit Corporation* (CCC - USDA) em 2000, o *Jobs Act* de 2004, o *Energy Policy Act* de 2005 e o *Energy Independence and Security Act* de 2007.

As alterações de 1990 do *Clean Air Act*⁷³ (CAA) tiveram contribuição decisiva para o aumento da produção e uso de etanol carburante nos EUA. Através dessa legislação, o Congresso tornou obrigatório o uso de gasolina oxigenada em áreas com níveis insalubres de poluição atmosférica. Dentre as opções de aditivos oxigenantes, o MTBE foi inicialmente o escolhido pela maioria das refinarias, sobretudo por razões econômicas. Contudo, no final da década de 1990, vários estudos constataram a presença desse composto em algumas fontes subterrâneas de água potável⁷⁴. A partir de então, começaram a ser estabelecidas diversas regulamentações estaduais para a eliminação e restrição ao uso do MTBE, favorecendo sobremaneira o uso do etanol como oxigenante para a gasolina (EPA, 2013).

O EPAAct 1992 (*Energy Policy Act: Lei de Política Energética*) foi promulgado com o objetivo de “reduzir a dependência do petróleo importado e melhorar a qualidade do ar, abordando todos os aspectos da oferta e demanda de energia, incluindo combustíveis alternativos, energia renovável e eficiência energética” (AFDC, 2015b). O EPAAct 1992 estabeleceu que uma parcela das compras de veículos para as frotas do Governo Federal, estadual e de fornecedores de combustíveis alternativos fosse de veículos que usassem estes combustíveis. Inicialmente favoreceu-se o uso de etanol. Com a alteração feita em 1998, também foi incentivado o uso de biodiesel, como será visto no próximo capítulo.

Importante registrar a criação do Programa de Bioenergia do CCC - *Commodity Credit Corporation* em 2000, que visou incentivar a demanda e aliviar os excedentes de safra, cooperando para o fortalecimento de preços e estímulo à produção de biocombustíveis (USDA, 2000). O programa terminou em junho de 2006 (USDA, 2008).

⁷³ *The Clean Air Act Amendments of 1990: Alterações de 1990 da Lei do Ar Limpo.*

⁷⁴ De acordo com a EPA (2013), mesmo em baixas concentrações o MTBE torna imprópria a água para consumo, dados o sabor e odor desagradáveis.

Por intermédio do *American Jobs Creation Act* de 2004 (*Jobs Act*), foram criados incentivos fiscais para a indústria de biocombustíveis. Essa regulação permitiu que os misturadores reivindicassem uma certa quantia por galão do biocombustível produzido⁷⁵, o que aumentou a sua competitividade em relação ao fóssil (GPO, 2004).

Em 2005, foi promulgado o *Energy Policy Act* de 2005, que enfatizou o uso e o desenvolvimento de infraestrutura para os combustíveis alternativos. A legislação estabeleceu o primeiro mandato de mistura de biocombustíveis em combustíveis fósseis nos EUA, através da criação do Programa de Combustíveis Renováveis (*Renewable Fuel Standard* – RFS). O RFS trata-se de uma integração progressiva para renováveis no abastecimento dos veículos automotivos. Foi estipulada a inclusão mínima de 4 bilhões de galões em 2006 e 7,5 bilhões até 2012. Com o objetivo de diminuir os custos de produção do biocombustível, o EPAAct2005 também fornecia créditos de imposto para os misturadores, remunerando o formulador de combustíveis com US\$0,10/galão de biodiesel (pequenos produtores) misturado ao diesel e US\$0,51/galão de etanol adicionado à gasolina (GPO, 2005).

O volume de combustível renovável que as partes obrigadas (tipicamente, refinadoras ou companhias distribuidoras de combustíveis) são forçadas a vender para o cumprimento da meta obrigatória de mistura é determinado pela EPA com base no percentual das vendas totais de combustíveis de cada agente de mercado e nas metas do RFS para cada ano. Para fins de controle do cumprimento da RFS, foi criado um sistema de comercialização de certificados de aquisição de combustíveis renováveis, denominados RINs – *Renewable Identification Numbers*. Cada galão de biocombustível produzido ou importado em território americano, dá origem a um RIN, que deve ser registrado na EPA e pode ser comercializado livremente pelas partes obrigadas (AFDC, 2015c). A Agência fiscaliza o cumprimento do mandato utilizando os RINs para acompanhar o fluxo dos biocombustíveis ao longo da cadeia de distribuição.

O Programa de Combustíveis Renováveis foi fortalecido com o estabelecimento do *Energy Independence and Security Act* de 2007 (EISA - Lei de Segurança e Independência Energética), cujos principais objetivos foram o aumento da segurança energética dos EUA (reduzindo a dependência em relação à gasolina automotiva), o

⁷⁵ US\$1/galão para o biodiesel obtido de óleos vegetais novos ou gorduras animais (agribiodiesel na legislação) e US \$0,50/galão para o feito a partir de óleos reciclados e gorduras misturadas com diesel.

incentivo do desenvolvimento da produção de combustíveis renováveis, e a melhoria da eficiência energética do veículo (GPO, 2007).

A EISA ampliou significativamente as metas de utilização de fontes renováveis no consumo final de combustíveis previstas no EPAct 2005. O *Renewable Fuel Standard* (RFS2) incluiu a substituição do óleo diesel, além da gasolina, e determinou a adição de 9 bilhões de galões em 2008 e 36 bilhões até 2022. Ademais, a regulação estabeleceu categorias diferentes para os biocombustíveis, de acordo com o grau de redução de emissões de GEE, e determinou metas específicas para cada uma destas. O etanol de milho corresponde à categoria de biocombustível convencional, assim como qualquer derivado de amido. Já a categoria de biocombustíveis avançados compreende todos aqueles diferentes do etanol de milho e cujo consumo gera emissões de GEE, no mínimo, 50% menores do que os fósseis (EISA, 2007) e subdivide-se basicamente em: biocombustíveis celulósicos; diesel de biomassa (inclui o biodiesel) e; biocombustíveis avançados (inclusive o etanol de cana-de-açúcar brasileiro) (GPO, 2007).

O Gráfico 20 apresenta os volumes de biocombustíveis, por tipo, que foram consumidos até 2014 e que estão previstos até 2022 para o atendimento das metas do RFS.

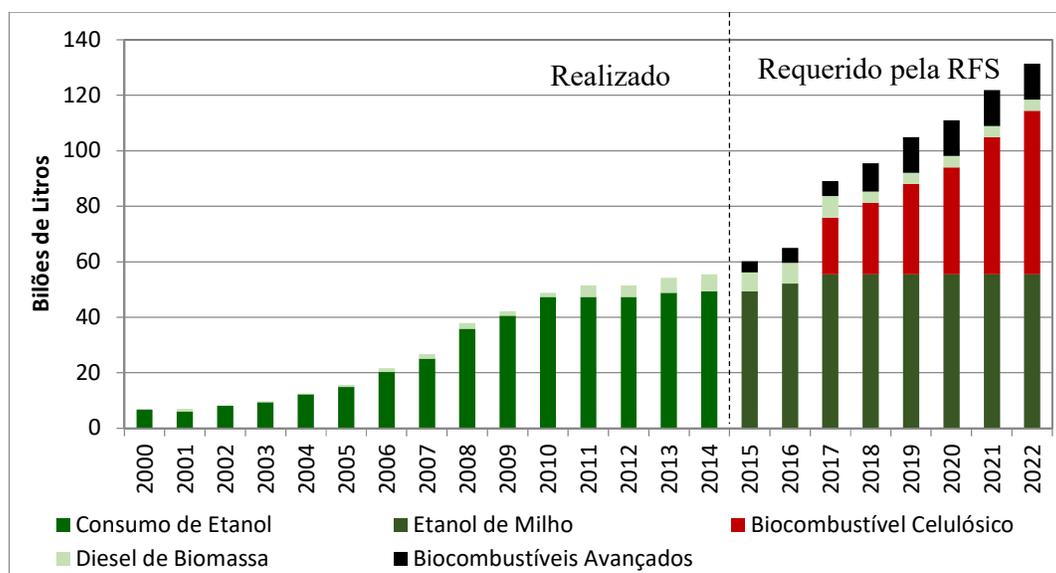


Gráfico 20 – Consumo de biocombustíveis por tipo - RFS

Fonte: CBO (2015)

Cabe à EPA determinar e publicar anualmente a revisão das metas de combustíveis renováveis que foram estabelecidas inicialmente pela EISA⁷⁶. Oportuno assinalar que a

⁷⁶ A EPA é obrigada a definir todos os padrões até 30 de novembro do ano anterior, conforme 42 U.S.C. § 7545(o)(3)(B)(i) (CRS, 2016).

Agência tem sucessivamente adiado as metas originais para os biocombustíveis celulósicos. As metas originais estabelecidas no RFS para a produção de combustíveis celulósicos eram de 3 bilhões de galões para 2015 e 4,25 bilhões para 2016, mas foram revisadas, no final de 2014, para 123 milhões de galões e 203 milhões, respectivamente (cerca de 5% da meta original do RFS) (CRS, 2016).

É importante também registrar a promulgação do *Food and Energy Security Act* de 2008 (FESA), que contém inúmeras disposições relacionadas com energia e agricultura, com destaque para os biocombustíveis, incluindo etanol de milho, etanol celulósico e biodiesel. A referida lei expandiu significativamente os programas existentes de promoção dos biocombustíveis (GPO, 2008).

Como exposto no item 3.4.3.1, os Estados Unidos vivenciam uma situação de restrição denominada “*E10 Blend Wall*”, em que a gasolina automotiva está saturada com etanol. Em decorrência das diversas medidas governamentais aqui expostas, que foram direcionadas ao aumento do uso de renováveis, diversificação da matriz de transportes e, sobretudo, eficientização veicular, o consumo de gasolina nos Estados Unidos tem permanecido relativamente estável.

3.5.2 União Europeia

O desenvolvimento da indústria de biocombustíveis na União Europeia foi suportado por um conjunto de medidas governamentais, dentre as quais destacam-se as Diretivas 2003/30/CE e 2003/96/CE, de 2003, e a 2009/28/CE, de 2009, e o Triplo 20 de 2008, direcionadas à produção e uso de renováveis. As modificações de 1992 e de 2003 da Política Agrícola Comum Europeia (PAC) são precedentes que também favoreceram o desenvolvimento da indústria de biocombustíveis. Como o setor de transportes é o principal consumidor de energia na região, o uso dessas fontes permite deslocar grandes quantidades de combustíveis fósseis e, desta forma, mitigar as emissões de GEE.

Com a alteração de 1992, o âmbito da Política Agrícola Comum Europeia (PAC) passou do “apoio ao mercado para o apoio aos produtores”, incentivando o desenvolvimento rural (CE, 2012). Com o objetivo de controlar a produção, foi criado o regime de “*set-aside*”, que previa a retirada de 15% das terras aráveis da produção de cereais (setor excedentário), garantida através de subsídio compensatório de valor idêntico ao que seria obtido, caso a área tivesse sido cultivada. Como as terras poderiam ser usadas para o cultivo não alimentício, tal medida contribuiu significativamente para a produção de

biomassa destinada à indústria de biocombustíveis. A reforma de 2003 conservou na PAC o regime de retirada das terras da produção em vigor e concedeu um novo subsídio direcionado aos cultivos energéticos⁷⁷ (COM, 2006).

O grande desencadeador da política europeia de promoção dos biocombustíveis foi a Diretiva 2003/30/CE. A denominada Diretiva dos Biocombustíveis foi o primeiro marco de incentivo à produção e uso de biocombustíveis na União Europeia, como forma de reduzir as emissões de GEE e aumentar a segurança do abastecimento e a promoção das fontes renováveis (CE, 2003). Foi atribuído aos Estados-Membros assegurarem uma proporção mínima de biocombustíveis (e de outros combustíveis renováveis) em seus mercados e, para tanto, estabelecerem metas indicativas nacionais. Os objetivos recomendados eram de 2% para 2005 e 5,75% de quota de mercado até 2010. Ressalta-se que a meta não se referia à produção, mas sim ao mercado, tornando possível a importação de biocombustíveis para seu cumprimento. Foi revogada pela Diretiva 2009/28/CE.

A Diretiva 2003/96/CE reestruturou o quadro comunitário de tributação dos produtos energéticos e eletricidade e criou a possibilidade dos Estados-Membros aplicarem isenções totais ou parciais ou reduções do nível de tributação dos biocombustíveis (CE, 2003b). Na União Europeia, os incentivos para a produção de biocombustíveis variam entre países, mas têm sido historicamente inclinados para biodiesel do que para o etanol. Apesar do crescimento rápido da produção e consumo de biocombustíveis desde 2003, no geral, a quota de mercado alcançada como resultado na União Europeia tem sido inferior às metas estabelecidas.

O objetivo da política energética da União Europeia é garantir um aprovisionamento energético seguro, sustentável e a preços acessíveis. Com esta finalidade, em 2008 os Estados-Membros da UE assumiram o compromisso de redução de 20 % das emissões de GEE em relação a 1990, alcançar 20 % de fontes renováveis no consumo final bruto de energia, e um aumento de 20 % da eficiência energética até 2020. O conjunto de metas da Europa 2020 foi denominado “Objetivos 20-20-20”, “Triplo 20” ou “*Climate and Energy Package*” (COM, 2008).

⁷⁷ “A reforma da PAC de 2003 (...) mantém o regime existente de retirada das terras da produção (e o NFSA) e introduz (...) uma nova ajuda a favor da produção de culturas energéticas. O montante da ajuda é de 45 €/ha, para uma superfície máxima garantida de 1,5 milhão de hectares, não repartida pelos Estados-Membros” (COM, 2006).

A Diretiva 2009/28/CE, denominada Diretiva das Energias Renováveis, revogou a 2003/30/CE, dos Biocombustíveis. A regulação ampliou os objetivos recomendados para a participação mínima de biocombustíveis (e outros renováveis) na União Europeia em 20% da quota de mercado para 2020, o que converge com o objetivo global “20-20-20”. Além disso, foi estabelecida a meta indicativa mínima de 10% de renováveis no consumo final de energia do setor de transporte até 2020 (CE, 2009). Sua inovação principal foi a definição de critérios de sustentabilidade que devem ser acatados tanto pelos biocombustíveis produzidos na UE, como por aqueles que sejam importados.

Em janeiro de 2014 foi divulgada a Comunicação da Comissão Europeia “Um quadro político para o clima e a energia no período de 2020 a 2030” (COM, 2014a). Essa proposta, já adotada pelo Conselho Europeu, prevê uma redução de 40% das emissões de GEE em relação aos níveis de 1990 e um objetivo vinculativo para toda a União de, pelo menos, 27% de energias renováveis no consumo total (COM, 2014b).

3.6 A Política Energética Nacional

A matriz energética nacional destaca-se mundialmente pela expressiva participação das fontes renováveis. É de salientar que o Brasil possui, ainda, um considerável potencial para ampliar a participação de tais recursos no abastecimento energético futuro. Foi decisiva para a construção desse panorama a contundente atuação governamental, abrangendo diversos mecanismos de incentivo às renováveis, inclusive aqueles direcionados aos biocombustíveis.

O desenvolvimento da capacidade instalada, produção e uso de biocombustíveis no Brasil tem sido fortemente suportado pela ação do Estado. Em decorrência de uma série de medidas governamentais, o grau de renovabilidade da matriz veicular brasileira é bastante expressivo: por obrigatoriedade legal, toda a gasolina automotiva atualmente comercializada contém 27%⁷⁸ de etanol anidro, assim como a todo diesel consumido, adiciona-se 8% de biodiesel⁷⁹, como será descrito adiante.

⁷⁸ A Lei 13.033, de 24 de setembro de 2014, estabeleceu uma faixa controlada pelo Poder Executivo de 18% a 27,5% de adição obrigatória de etanol anidro à gasolina em todo o território nacional (BRASIL, 2014). A Portaria MAPA 75, de 05 de março de 2015, definiu o teor de 27% para a gasolina comum, vigente desde 16 de março de 2015. Para a gasolina *Premium*, o teor é de 25% (MAPA, 2015).

⁷⁹ A Lei 13.263 de 23 de março de 2016 estabeleceu 8% de adição de biodiesel para 2017 e percentuais maiores para 2018 (9%) e 2019 (10%) (BRASIL, 2016b). Desde 1º de março de 2017, o percentual mínimo é de 8%, conforme Resolução CNPE nº 11, de 14 de dezembro de 2016 (MME, 2017).

A Política Energética Nacional, consubstanciada na Lei 9.478/1997, contempla o aproveitamento das fontes renováveis (BRASIL, 1997). Em seu Artigo 1º, destacam-se dentre os objetivos traçados em 1997 para o aproveitamento racional das fontes de energia:

I – preservar o interesse nacional; II – promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos; IV – proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia; VIII – utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis.

Ressalta-se que, objetivos especificamente direcionados aos biocombustíveis foram acrescentados, posteriormente, à Política Energética Nacional. Primeiramente, cita-se a meta inserida através da Lei nº 11.097, de 2005 (BRASIL, 2005a):

XII – incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional.

Assinalam-se também os seguintes objetivos que foram incluídos pela Lei nº 12.490, de 2011 (BRASIL, 2011):

XIII - garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional; XIV - incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis (...); XV - promover a competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis; XVI - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis; XVIII - mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis.

Pode-se, assim, afirmar que a produção e uso dos biocombustíveis estão consonantes com os objetivos traçados para a Política Energética Nacional, congregando aos benefícios ambientais, a diversificação das fontes de energia, o favorecimento à criação de emprego e geração de renda.

Os principais esquemas adotados para o fomento das fontes renováveis no Brasil, destacando-se os biocombustíveis, são descritos a seguir.

3.6.1 Proálcool

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), estabelecido pelo Decreto nº 76.593/1975 (BRASIL, 1975), surgiu como uma das respostas da Política Energética Nacional aos

choques de preços do petróleo na década de 1970, atuação norteadada pela máxima utilização de fontes nacionais e substituição de derivados de petróleo, conforme exposto. O programa visava substituir pelo biocombustível produzido no Brasil uma parcela da gasolina automotiva consumida, reduzindo, assim, as importações de petróleo e, por conseguinte, o *déficit* no balanço de pagamentos⁸⁰.

Por outro lado, o Proálcool coadunava-se com a pertinente ajuda ao setor sucroalcooleiro, bastante vulnerável às oscilações dos preços internacionais de açúcar⁸¹, que se encontrava com uma grande capacidade produtiva ociosa. A produção de álcool etílico permitiria, assim, ocupar essa ociosidade, aumentando a flexibilidade na produção da *commodity* para o mercado internacional.

A **primeira fase** do Proálcool, entre 1975 a 1979, teve como objetivo ampliar a produção de etanol anidro para adição obrigatória crescente à gasolina automotiva consumida nos veículos de ciclo Otto disponíveis no mercado, substituindo o chumbo tetraetila ora empregado para aumentar sua octanagem, acrescentando o benefício ambiental. Essa etapa do Programa caracteriza-se pela produção do biocombustível, sobretudo, em destilarias anexas, acopladas às usinas de açúcar, utilizando-se basicamente de infraestrutura já existente⁸².

Piacente (2006) aponta como os principais mecanismos de fomento à produção do biocombustível empregados pelo governo brasileiro naquele momento: “a fixação de preços remuneradores, a concessão de empréstimos para investimentos em condições vantajosas, e a garantia de mercado”.

É importante ressaltar que, não somente a meta de 20% de mistura do Programa foi cumprida, como, além disso, a produção superou a demanda. Segundo Xavier (2008), “a existência de capacidade ociosa das usinas paulistas levou a um aumento substancial da produção de álcool anidro em 1977/1978 (...). O setor começou a pressionar o governo

⁸⁰ Em sua origem, o Programa também objetivava a diminuição das disparidades regionais de renda, o aumento da renda interna e a expansão da produção nacional de bens de capital (COPERSUCAR, 1989). No entanto, a História evidencia que a primeira meta não foi alcançada.

⁸¹ “Os mercados mundiais de açúcar encontravam-se conturbados no início da década de 1960, o que prosseguiu até meados da década seguinte, configurando um longo período de significativa instabilidade” (RAMOS, 2007).

⁸² As destilarias anexas são acopladas às usinas de açúcar e podem produzir açúcar e álcool. Já as autônomas só podem produzir álcool. Scandiffio (2005) assinala: “É um típico exemplo de economia de escopo, no qual a diversificação da produção, neste caso o AEAC, causa redução do custo de cada unidade produzida”.

para criar uma demanda para o volume de álcool produzido”. A produção de etanol passou de 580 milhões de litros para cerca de 3 bilhões de litros (EPE, 2016a).

A **segunda fase** do Programa (1979-1985) é marcada pelo segundo choque do petróleo em 1979, conjugado aos elevados estoques de etanol anidro existentes na ocasião. Diante desse contexto, o governo modificou os objetivos do Proálcool, ampliando as metas de produção e de consumo do etanol carburante. Além do uso do anidro, através do Decreto 83.700, de 05/7/1979 (BRASIL, 1979), a atuação governamental buscou viabilizar o uso do etanol hidratado combustível. Os incentivos concedidos à indústria automobilística resultaram no desenvolvimento⁸³ e na produção de veículos com motores de ciclo Otto que pudessem ser movidos exclusivamente a álcool hidratado, de forma que o biocombustível não fosse tão somente um aditivo à gasolina.

Dessa feita, o crescimento da produção de etanol ocorreu sobretudo em destilarias autônomas, com aumento da produção em áreas pioneiras⁸⁴. Essa fase requereu adaptações na linha de produção da indústria automobilística e na rede de distribuição.

Várias medidas governamentais foram tomadas para incentivar o uso do etanol hidratado carburante. A viabilização do combustível requereu a adoção de incentivos fiscais e tributários, bem como uma série de acordos com a indústria automotiva, destacando-se a redução do Imposto de Produtos Industrializados (IPI) e a isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e de Serviços (ICMS) para veículos a álcool, o que alavancou sua comercialização. O governo também assegurou que o preço do álcool ao consumidor seria mantido em um valor inferior ao da gasolina ($\leq 65\%$, por litro de combustível), bem como a obrigatoriedade de venda do hidratado em todos os postos de abastecimento e a manutenção de estoques para assegurar preço e suprimento.

Estimulados por essa associação de medidas, os consumidores aderiram fortemente ao Programa. Como resultado, a produção e o licenciamento de veículos a álcool no Brasil rapidamente alcançaram a liderança. Em 1980, o licenciamento de veículos leves movidos a etanol representou 27,1%. Em 1985, já tinha alcançado a expressiva marca de

⁸³ Segundo Piacente (2006), “dentro de um notável esforço de engenharia, principalmente do Centro de Tecnologia Aeroespacial (CTA), em pouco menos de quatro anos a maioria dos problemas enfrentados (para operação dos motores ciclo Otto com etanol hidratado) foram contornados, viabilizando tecnicamente a produção do carro a álcool”.

⁸⁴ A implantação de um grande número de destilarias autônomas, unidades produtoras somente de etanol, promoveu uma expansão geográfica da produção da cana-de-açúcar em direção às regiões tradicionais clássicas produtoras de gado de corte e café, as “áreas de *“fronteira”*, como o Noroeste e o Oeste de São Paulo, o Centro-Oeste do Brasil, o Triângulo Mineiro e o Paraná” (PIACENTE, 2006).

92,2% (ANFAVEA, 2016). Nesse período, a produção de etanol triplicou, passando de 3,7 bilhões de litros para 11,6 bilhões (EPE, 2016a).

A segunda metade da década de 1980 é comumente denominada como a **fase** de desaceleração, crise e declínio do Proálcool (1986-1990). Uma conjunção de fatores conduziu ao panorama observado, destacando-se: i) a queda dos preços do petróleo no mercado internacional; ii) o aumento da produção nacional de petróleo, com redução da dependência externa; iii) a elevação dos preços de açúcar no mercado internacional.

Como resultado da redução acentuada dos preços internacionais do petróleo, a partir de 1986, observou-se uma forte diminuição no preço da gasolina. Uma vez que o preço do combustível fóssil era utilizado como referência para o do etanol hidratado, sua competitividade foi bastante reduzida. A garantia ora concedida pelo governo de que o preço do biocombustível fosse inferior ao da gasolina⁸⁵ passou a requerer subsídios cada vez maiores.

Diante da grave crise econômica que o país vivenciava nesse período, focando no controle da inflação e do *déficit* público e na estabilização monetária, o governo promoveu o corte de gastos e subsídios de diversos programas não prioritários, incluso o Proálcool. A brusca diminuição dos recursos públicos⁸⁶ evidenciou que “o setor sucroalcooleiro deveria expandir o Programa através de aumento de produtividade das atividades agrícolas e industriais” (SCANDIFFIO, 2005).

Em contrapartida, o açúcar voltou a apresentar elevados preços no mercado internacional. A fim de aproveitar essa janela de oportunidade, os produtores⁸⁷ passaram, a destinar parte da cana que seria utilizada como matéria-prima para a produção de álcool para a fabricação do açúcar.

A conjunção entre os incentivos à demanda de etanol, que conduziram à massiva participação da frota cativa a etanol hidratado naquele período, e o desestímulo à sua produção, proporcionado pela retirada dos subsídios, gerou uma crise de desabastecimento do etanol hidratado em 1989.

⁸⁵ Em uma relação de 70%, por litro de combustível.

⁸⁶ As normas válidas para o conjunto da agricultura brasileira foram estendidas pelo Governo Federal para o setor sucroalcooleiro, o que resultou na redução da rentabilidade média da agroindústria canavieira (PIACENTE, 2006).

⁸⁷ Principalmente os que eram proprietários de destilarias anexas (PIACENTE, 2006).

No final daquele ano, o desajuste entre a oferta e a demanda de etanol resultou na falta do biocombustível em diversos postos do país, afetando milhares de proprietários de veículos leves. Por essa ocasião, fez-se necessária a importação de etanol e metanol para o atendimento da demanda. Desde então, o licenciamento de veículos cativos a álcool diminuiu drasticamente, uma vez que caiu a confiança do mercado consumidor na garantia do abastecimento. O licenciamento de veículos leves movidos a etanol, que representou 92,2% em 1985, reduziu em cinco anos a apenas 12,4% em 1990 (ANFAVEA, 2016). Nesse período, a produção de etanol manteve-se em torno de 11,5 bilhões de litros (EPE, 2016a).

Scandiffio (2005) reflete sobre as condicionantes que levaram à criação, ao auge e ao fim do Proálcool e pondera que “a atuação do Estado situa-se no centro da problemática”. Pois, se por um lado, a forte intervenção governamental esteve intimamente associada ao sucesso do Programa; por outro, a mudança institucional foi o principal vetor para o seu declínio. A autora aponta também o setor sucroalcooleiro e o setor automobilístico como atores importantes nesse enfraquecimento, por priorizarem, respectivamente, as produções de açúcar e de automóveis populares de 1.000 cilindradas, movidos exclusivamente a gasolina.

É importante registrar que, desde o início do Proálcool, o teor de etanol anidro obrigatoriamente adicionado à gasolina automotiva vem evoluindo e, atualmente, é de 27%, como mencionado.

3.6.2 Proóleo

O Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo) foi criado em 1975, também voltado ao máximo emprego de fontes nacionais e substituição de derivados de petróleo. Nesse caso, o foco era a substituição parcial do óleo diesel fóssil importado pelo combustível doméstico, oriundo da biomassa renovável. O Programa foi instituído pela Resolução nº 7 de 22 de outubro de 1980 do Conselho Nacional de Energia.

Dentre os objetivos do Proóleo, ressaltam-se a substituição de diesel por óleos vegetais em mistura de até 30% em volume e a produção nacional de óleos vegetais para fins energéticos, sem prejuízo da demanda para fins alimentícios e industriais (MMA, 2006). Para tanto, far-se-ia essencial a geração de um excedente significativo que conseguisse tornar seus custos de produção competitivos com os do diesel mineral.

O Proóleo não conseguiu alcançar as metas traçadas em sua formulação, sobretudo devido à estabilização dos preços do petróleo. No entanto, o Brasil tornou-se um dos pioneiros nas pesquisas com biodiesel, em função dos diversos estudos realizados nesse período. É importante destacar que, em 1980, o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) concedeu à empresa PROERG (Produtora de Sistemas Energéticos Ltda.), do saudoso Professor da UFCE Expedito Parente, sob o número PI 8007957 “a primeira patente, a nível mundial, do biodiesel e do querosene vegetal de aviação, a qual entrou em domínio público, pelo tempo e desuso” (PARENTE, 2003).

Cabe mencionar a criação do Programa de Óleos Vegetais (Projeto Oveg), em 1983, pelo Governo Federal. Coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, seu objetivo principal consistia na formação de base tecnológica e na realização de testes de frota com biodiesel puro e com diferentes teores de adição ao diesel, que permitissem analisar a viabilidade técnica da sua utilização em motores ciclo Diesel. O Projeto OVEG contou com a participação de diferentes institutos de pesquisa, das indústrias automobilística, de autopeças, de óleos vegetais, de combustível, de lubrificantes; e de empresas de transportes (ABREU *et al.*, 2006). A frota de teste percorreu mais de 1 milhão de quilômetros e os motores funcionaram normalmente com até 30% de mistura, sem nenhuma alteração ou adaptação. No entanto, os altos custos de produção em relação ao diesel impediram seu uso em escala comercial.

3.6.3 Programa Nacional de Florestas Energéticas

Estudos para a criação do Programa Nacional de Florestas Energéticas e a instituição de um Grupo Interministerial para propor condições para sua execução foram determinados pela Resolução nº 6, de 22 de outubro de 1980.

Oportuno registrar que o Ministério de Minas e Energia, em seu Modelo Energético Brasileiro⁸⁸ - MEB de 1979, definiu como objetivo principal a redução da dependência das fontes externas de energia, especialmente do petróleo importado (PATUSCO, 1998). Tendo em vista as características peculiares do Brasil, o MEB orientou que a escolha das fontes energéticas deveria considerar como pressupostos básicos a utilização regional e a diversificação das fontes alternativas. A diretriz estabelecida pelo MEB foi a da

⁸⁸ O MEB - Modelo Energético Brasileiro foi elaborado pelo MME em 1979, diante do grande peso das importações de petróleo nas contas externas nacionais naquele momento. O MEB estabeleceu as estratégias do governo, consistindo em “um instrumento de política energética baseado em metas a serem alcançadas” (PATUSCO, 1998).

substituição parcial ou total dos derivados de petróleo, recomendando as seguintes substituições: “gasolina por álcool carburante; óleo diesel por óleo vegetal e álcool aditivado e; óleos combustíveis por carvão mineral ou vegetal”.

Nesse sentido, em 1981, o Ministério da Agricultura estabeleceu em suas "Diretrizes para a Área de Agroenergia", o objetivo de ampliar a oferta de biomassa com finalidade energética. A EMBRAPA constituiu naquele mesmo ano o Programa Nacional de Pesquisa de Energia - PNPE, para contribuir na redução da dependência externa do suprimento de petróleo. Seus objetivos principais consistiam no desenvolvimento de “sistemas de produção de "biomassas energéticas”, assim entendidas aquelas que contêm substâncias (açúcares, amido, óleos, lignina e celulose) passíveis de ser economicamente transformadas em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos” (EMBRAPA, 1981).

É importante registrar que, tanto o Proálcool, como o Proóleo e o Programa Nacional de Florestas Energéticas integravam o PNPE da EMBRAPA. Entretanto, os estudos realizados com vistas à criação do Programa Nacional de Florestas Energéticas não alcançaram seu objetivo. Por diversas razões, incluindo as mudanças no cenário de preços internacionais de petróleo, este sequer chegou a ser instituído.

3.6.4 Proinfa

O Programa de Incentivos a Fontes Alternativas de Energia – Proinfa foi criado pela Lei 10.438, de 26 de abril de 2002 (BRASIL, 2002), visando ampliar a participação no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) da energia elétrica gerada em projetos de Produtores Independentes Autônomos⁸⁹, através do uso das fontes biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCH).

Além do estímulo às fontes renováveis de energia, o Programa também busca a diversificação da matriz energética nacional e a valorização das potencialidades regionais e locais. Também a indústria de base nacional foi incentivada, considerando o elevado conteúdo local estabelecido pelo Proinfa (60%) para os equipamentos de geração de energia elétrica (MME, 2010).

⁸⁹ “§ 1º Produtor Independente é Autônomo quando sua sociedade, não sendo ela própria concessionária de qualquer espécie, não é controlada ou coligada de concessionária de serviço público ou de uso do bem público de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum” (BRASIL, 2002).

O Proinfa é dividido em duas fases, através do Artigo 3º da Lei 10.438. A primeira refere-se à implementação de projetos em curto prazo, assegurando uma contratação de 3.300 MW de capacidade em projetos de biomassa, PCH e eólica. Alcançada essa meta, a segunda etapa estabelece regras para que as fontes biomassa, eólica e PCHs abasteçam 10% de toda a demanda de energia elétrica no Brasil, meta a ser alcançada em até 20 anos.

Apesar do amplo escopo do Proinfa, englobando outras fontes renováveis, importa ressaltar que, por seu intermédio, foram contratados por um prazo de 20 anos mais de 119 empreendimentos. Juntos, estes têm capacidade instalada de 2.650 MW, compreendendo 964 MW em usinas eólicas, 1.153 MW em PCHs e 533 MW em plantas de biomassa, que utilizam majoritariamente a fonte oriunda do setor sucroenergético (ELETROBRAS, 2016). A comercialização da bioeletricidade da cana contribui para a segurança e a competitividade desse segmento, o que converge para estimular a produção de etanol. Nesse sentido, após o estabelecimento do Novo Modelo do Setor Elétrico em 2004⁹⁰, já foram contratados mais de 1,9 MW méd, em 21 Leilões de energia realizados pelo Governo Federal, até maio de 2016, com comercialização de bioeletricidade da cana (EPE, 2016b).

3.6.5 Probiodiesel

O Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiodiesel) foi instituído pela Portaria MCT nº 702, de 30/10/2002, para “promover o desenvolvimento científico e tecnológico de biodiesel” (MCT, 2002). O Artigo 2º da Portaria atribuiu ao Ministério da Ciência e Tecnologia a coordenação de “uma rede de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para avaliar a viabilidade técnica, socioambiental e econômica do mercado brasileiro de biodiesel”, com vistas à sua inserção na matriz energética nacional. Ressalta-se que, de acordo com a Portaria, os escopos traçados originalmente pelo Probiodiesel se limitavam aos ésteres etílicos de óleos vegetais puros e/ou residuais.

Nesse contexto, foi montada a Rede Brasileira de BIODIESEL, uma ampla organização de institutos de pesquisa, congregando diversos especialistas e instituições⁹¹ responsáveis

⁹⁰ A Lei 10.848/2004 instituiu o novo marco regulatório do setor elétrico, que incentivou a adoção de um mercado competitivo e a garantia do suprimento elétrico, através de leilão para a contratação de energia pelas distribuidoras, com o critério de menor tarifa (BRASIL, 2004).

⁹¹ A autora participou como Pesquisadora da “Avaliação da Viabilidade e Competitividade Socioambiental do Mercado Brasileiro de Biodiesel”, parceria entre CENBIO e COPPE, sob a coordenação do Professor Luiz Pinguelli Rosa, executado a pedido do MCT, em 2003.

por dar suporte ao desenvolvimento das tecnologias de produção e consumo de biocombustíveis, bem como atestar a viabilidade e competitividade técnica, econômica, social e ambiental através da pesquisa em testes de laboratório, bancada e campo.

Coordenado pelo MCT, nesse primeiro momento o Programa se manteve no nível das pesquisas acadêmicas, sendo as principais motivações: a redução da dependência dos derivados de petróleo; a mitigação das emissões de gases de efeito estufa; e a formação de outros mercados para as oleaginosas. De acordo com Flexor *et al.* (2011), a reformulação completa do Probiodiesel foi determinada pela chegada de Luiz Inácio Lula da Silva à Presidência da República em 2002.

3.6.6 Política Nacional sobre Mudança do Clima

O Decreto presidencial nº 6.263, promulgado pelo Presidente da República Luís Inácio Lula da Silva em 21 de novembro de 2007, instituiu o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM)⁹² com a função de elaborar a Política Nacional e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2007).

Nesse contexto, o Plano foi construído com o objetivo de estimular o desenvolvimento e aperfeiçoamento de ações de mitigação das emissões de GEE no Brasil, bem como incentivar a criação de condições internas para adaptação aos impactos das mudanças climáticas globais. O Plano Nacional elaborado foi lançado oficialmente no dia 1º de dezembro de 2008 (MMA, 2010).

Um dos principais objetivos descritos nesse Plano consiste em “fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis”. O documento reconhece a importância dos biocombustíveis, afirmando que estes são “fontes de riqueza incontestes para o País. Sua produção gera renda no campo e sua utilização desloca fontes fósseis que tanto impactam no clima, quanto na qualidade do ar que se respira”. Dentre as metas apresentadas, destacou-se o aumento expressivo do consumo interno de etanol nos próximos dez anos. Ademais, foi citada a possibilidade de

⁹² O CIM é coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, sendo composto por: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério da Defesa, Ministério da Educação, Ministério da Fazenda, Ministério da Integração Nacional, Ministério da Saúde, Ministério das Cidades, Ministério das Relações Exteriores, Ministério de Minas e Energia, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério dos Transportes, e Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. O § 1º do Artigo 2º estabelece que O Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas será convidado para as reuniões do CIM.

antecipar, de 2013 para 2010, a obrigatoriedade de adição de 5% de biodiesel ao diesel, o que de fato se concretizou (CIM, 2008).

A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC foi instituída através da Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009, buscando assegurar que o desenvolvimento econômico e social cooperem para a proteção do sistema climático global (BRASIL, 2009). A PNMC oficializou o compromisso voluntário do Brasil de redução de emissões de GEE projetadas até 2020 junto à 15ª Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP15). Para auxiliar no alcance das metas de redução, a lei estabelece em seu Artigo 11 o desenvolvimento de planos setoriais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

A PNMC foi regulamentada pelo Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010, que estabelece que os Planos Setoriais devem compreender ações, indicadores e metas específicas de redução de emissões e mecanismos para comprovação do seu cumprimento (BRASIL, 2010b). O Plano Decenal de Expansão de Energia, elaborado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética, é a referência para as informações relacionadas ao Setor Energia⁹³, incluindo aquelas relacionadas ao planejamento da expansão da produção e do uso dos biocombustíveis, nomeadamente etanol e biodiesel. O Decreto menciona em seu Artigo 2º as revisões do Plano Nacional sobre Mudança do Clima e dos planos setoriais. Na COP 21, realizada em Paris, em 2015, foi lavrado um novo compromisso climático entre as nações: o Acordo de Paris. Oportuno assinalar que, na trajetória proposta para o setor de energia na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC⁹⁴) do Brasil (MMA, 2015), a meta expressa para o ano 2020 pela Lei nº 12.187/09 e seu decreto regulamentar é automaticamente atingida.

3.6.7 Plano Nacional de Agroenergia

O Plano Nacional de Agroenergia, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), apresenta as ações estratégicas e os objetivos do Governo Federal, que foram consubstanciados no documento “Diretrizes de Política de Agroenergia”. Como meta prioritária, o Plano estabelece “tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte às políticas públicas voltadas à inclusão social, à regionalização do desenvolvimento e à sustentabilidade ambiental” (MAPA, 2006).

⁹³ O Decreto apresenta cinco setores: Energia, Mudança de Uso da Terra; Agropecuária; e Processos Industriais e Tratamento de Resíduos.

⁹⁴ NDC: *Nationally Determined Contribution*.

Considerando a relevância da agroenergia para a matriz energética brasileira, o Plano explicita a imperativa definição de objetivos estratégicos nacionais que incentivem o aumento da produção e do consumo de biocombustíveis, a diminuição do uso de combustíveis fósseis, a inclusão social e o respeito ao meio ambiente. Para tanto, destaca as seguintes metas específicas:

Assegurar o aumento da participação de energias renováveis (...); Garantir a interiorização e a regionalização do desenvolvimento (...); Criar oportunidades de expansão de emprego e de geração de renda (...), com mais participação dos pequenos produtores; Contribuir para o cumprimento do compromisso brasileiro no Protocolo de Quioto (...); Otimizar o aproveitamento de áreas (...) antropizadas⁹⁵, maximizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Registra-se que tais metas estão compreendidas nas orientações de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), que foram divididas em quatro grandes grupos: biodiesel de origem animal e vegetal; etanol e cogeração de energia da cana-de-açúcar; biomassa florestal cultivada; e resíduos e dejetos agropecuários e da agroindústria. O Plano Nacional de Agroenergia objetiva coordenar e ampliar os esforços das instituições nacionais de ciência, tecnologia e inovação direcionados à competitividade e à sustentabilidade das cadeias produtivas da agroenergia.

Cabe assinalar que o documento Diretrizes de Política de Agroenergia, elaborado em 2005 por uma equipe interministerial⁹⁶ coordenada pelo MAPA, estabeleceu uma orientação para as políticas e ações públicas associadas ao aproveitamento nacional de oportunidades e do potencial da agroenergia, considerando critérios de competitividade, sustentabilidade e equidade social e regional (MAPA, 2005).

O documento aborda as funções e características da política de agroenergia e define ações para sua implementação, “contemplando a matriz energética, a capacidade e escala produtiva, a inovação e o desenvolvimento tecnológico, a inclusão social, a sustentabilidade ambiental e a inserção externa”. Também aponta questões concernentes à legislação e mecanismos de incentivo à produção e recomenda ações de coordenação e operação destas Diretrizes⁹⁷. Destaca-se a diretriz relacionada ao desenvolvimento da

⁹⁵ Áreas antropizadas: áreas resultantes da ação humana sobre a vegetação natural.

⁹⁶ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério de Minas e Energia; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

⁹⁷ De acordo com as Diretrizes de Política de Agroenergia, “a concretização da expansão da agroenergia pressupõe o alinhamento de diversas políticas governamentais, como política tributária, de abastecimento, agrícola, agrária, creditícia, fiscal energética, de ciência e tecnologia, ambiental, industrial, de comércio

agroenergia, contemplando a ampliação do setor de etanol e a implantação da cadeia produtiva do biodiesel.

3.6.8 Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB tem como marco relevante a vitória de Luiz Inácio Lula da Silva à Presidência da República do Brasil, em 2002, dada a absoluta prioridade que seus mandatos atribuíram à necessária inclusão social, convergente com as metas do PNPB.

Nesse sentido, Flexor *et al.* (2011) afirmam que a reformulação completa do Probi biodiesel foi ocasionada pela posse do Presidente Lula, destacando as metas de inclusão social como sendo “desde o início um dos pilares da legitimidade do novo governo”. Os autores apontam que a transferência da gestão da política de biodiesel do MCT para a Casa Civil demonstrou um aumento da sua importância na agenda política nacional.

No histórico de implantação do PNPB, em julho de 2003 o governo brasileiro instituiu um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI)⁹⁸, coordenado pela Casa Civil, encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização do biodiesel como fonte alternativa de energia e indicar as ações necessárias para sua implantação (BRASIL, 2003a). Cumprindo o disposto em seu Artigo 4º, o GTI apresentou, em 04 de dezembro daquele ano, Relatório Técnico recomendando as ações essenciais para viabilizar a produção e uso do biocombustível no Brasil. Com o propósito de implementar tais sugestões, foi criada a Comissão Executiva Interministerial de Biodiesel - CEIB, em 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003b).

Destacam-se dentre os objetivos iniciais do PNPB elencados nesse Relatório Técnico (GTI, 2003):

“Sinalizar a opção política e socioeconômica adotada pelo País (...) para estimular a produção e o uso dessa fonte de energia renovável”;

“Adotar a inclusão social e o desenvolvimento regional, especialmente via geração de emprego e renda, (...) sua produção e consumo devem ser promovidos de forma

internacional e de relações exteriores e, quando for o caso, do seu desdobramento em legislação específica” (MAPA, 2005).

⁹⁸ O Grupo de Trabalho foi instituído através do Decreto Presidencial 9.920, de 02/7/2003. Tal GT foi coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, sendo composto por: Ministério da Fazenda, Ministério dos Transportes, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério de Minas e Energia, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades.

descentralizada e não excludente em termos de rotas tecnológicas, matérias-primas utilizadas, categorias de produtores, portes de indústria ou regiões”;

“Inserir, de forma sustentável, a agricultura familiar nas cadeias produtivas do biodiesel como vetor para seu fortalecimento, apoiando-a com financiamentos, assistência técnica e organização produtiva, visando a oferta de matérias-primas de qualidade e em escala econômica, assim como a participação dos agricultores familiares e suas associações como partícipes de empreendimentos industriais, de modo a ampliar os benefícios socioeconômicos auferidos”;

“Promover a realização de estudos técnicos objetivando identificar, qualificar e quantificar matérias-primas economicamente viáveis à produção de biodiesel em nível regional”;

“Estabelecer normas, regulamentos e padrões de qualidade do biodiesel, inclusive quanto às emissões, de acordo com os diferentes usos a que se destina”;

“Implementar políticas públicas (financiamentos, assistência técnica e extensão rural, fomento à pesquisa, etc.) objetivando o aumento da eficiência na produção do biodiesel, incluindo as fases agrícola e agroindustrial”.

Transcorrido um ano de amadurecimento após a publicação do Relatório Técnico e criação da CEIB, o PNPB foi oficialmente lançado pelo Presidente Lula em sessão solene no Palácio do Planalto, em 06 de dezembro de 2004 (MME, 2005a). Assevera-se que a implantação do marco regulatório estipulou as condições legais para a inserção do biodiesel na matriz energética nacional, objetivando assegurar a produção do biocombustível, com total enfoque em uma política de inclusão social e desenvolvimento regional.

A estrutura do PNPB fundamenta-se em três pilares básicos: a inclusão social através da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica, de acordo com Roussef (2004). O desafio do projeto Biodiesel no Brasil, segundo a autora, consistia em “implantar um projeto energético autossustentável, considerando preço, qualidade e garantia de suprimento do biodiesel, propiciando a geração de renda com inclusão social”. Oportuno salientar a importância atribuída pelo Programa ao fortalecimento da agricultura familiar (AF), especialmente do Norte e Nordeste do país, através da sua inserção na cadeia de produção do biocombustível. Dado o enfoque do PNPB na promoção da inclusão social e do desenvolvimento regional, observa-se que o Programa foi construído de forma a possibilitar, através de distintas rotas tecnológicas, o emprego

das diversas oleaginosas existentes no Brasil, de acordo com as potencialidades de cada região, atenuando as desigualdades econômicas entre elas.

Em 13 de janeiro de 2005, foi sancionada pelo Presidente Luís Inácio Lula da Silva a Lei nº 11.097⁹⁹, que introduziu o biodiesel na matriz energética nacional e estipulou o papel regulador da Agência Nacional do Petróleo – ANP, o que permitiu ao órgão fiscalizar todas as etapas que envolvem sua comercialização (BRASIL, 2005a). Esta Lei fixou percentuais mínimos de adição de biodiesel ao diesel mineral, estabelecendo o consumo compulsório do biocombustível a partir de 2008, no percentual mínimo de 2% de adição ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em qualquer parte do território nacional, ampliado para 5% de obrigatoriedade em 2013. Ademais, estipulou que o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) poderia antecipar os níveis de mistura, caso necessário. Neste sentido, visando agilizar a inserção do biodiesel no país, a Resolução CNPE nº 03, de 23/09/2005, autorizou a adição do percentual de 2% (B2) do biocombustível, a partir de 01 de Janeiro de 2006 (MME, 2005b).

Em janeiro de 2008, por força de Lei, passou a vigorar a mistura mandatória B2 no Brasil. Inicialmente, a mistura alcançaria 5% em 2013. No entanto, conforme autorizava a Lei, esta meta foi antecipada, como descrito a seguir. A Resolução CNPE nº 02, de 13/03/2008, aumentou o percentual mínimo obrigatório para 3%, a partir de 1º de julho de 2008 (MME, 2008) e a Resolução CNPE nº 02, de 27/04/2009, elevou este teor para 4%, desde 1º de julho de 2009 (MME, 2009a). A Resolução CNPE nº 06, de 16/09/2009 antecipou o percentual de 5% para 1º de janeiro de 2010 (MME, 2009b). Desta forma, a mistura B5, cuja meta prevista era o ano de 2013, foi adiantada em três anos.

A Lei nº 13.033, sancionada pela Presidenta da República Dilma Vana Rousseff em 24 de setembro de 2014¹⁰⁰, estabeleceu que a adição obrigatória de biodiesel passaria a ser de 6%, a partir de 1º de julho e 7%, a partir de 1º de novembro de 2014 (BRASIL, 2014). Tal regulamentação previu que o CNPE pode diminuir a qualquer tempo o percentual de 7% para 6%, por motivo justificado de interesse público, restabelecendo-o com a normalização das condições que motivaram a redução. Além disso, a Lei autorizou o uso voluntário em maiores percentuais de adição, em casos específicos. Com a finalidade de definir as diretrizes para autorizar a comercialização e o uso voluntário, foi publicada a Resolução nº 3 do CNPE, em 21 de setembro de 2015 (MME, 2015a). A Portaria MME

⁹⁹ A Lei 11.097 é a conversão da Medida Provisória 214, assinada em 13 de setembro de 2004.

¹⁰⁰ A Lei 13.033 é a conversão da Medida Provisória 647, de 28 de maio de 2014.

nº 516, de 11 de novembro de 2015 (MME, 2015b), fixou os percentuais autorizados de mistura voluntária de biodiesel ao óleo diesel, já incluído o percentual de adição obrigatória, de acordo com sua utilização: “I - vinte por cento em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento; II - trinta por cento no transporte ferroviário; III - trinta por cento no uso agrícola e industrial; e IV - cem por cento no uso experimental, específico ou em demais aplicações”.

Em 23 de março de 2016, foi sancionada pela Presidenta Dilma Roussef a Lei 13.263, ampliando o percentual mandatório de biodiesel para 8%, 9% e 10% em, respectivamente, até doze, vinte e quatro e trinta e seis meses após a data de sua promulgação (BRASIL, 2016). Destaca-se que esta Lei também autoriza o CNPE a elevar a mistura obrigatória em até 15% após serem “realizados os testes e ensaios em motores que validem a utilização da mistura”. Desde 1º de março de 2017, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel mineral comercializado ao consumidor final é de 8%, conforme Resolução CNPE nº 11, de 14 de dezembro de 2016 (MME, 2017).

Além do mandato obrigatório de biodiesel, o Governo Federal também tem concedido incentivos fiscais para estimular e direcionar o desenvolvimento do setor. Em 18 de maio de 2005, foi sancionada a Lei nº 11.116¹⁰¹ (BRASIL, 2005b), que dispôs acerca da incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins sobre a venda do biocombustível, autorizando o Poder Executivo a fixar coeficiente para redução das alíquotas, diferenciando-as em função: “I - da matéria-prima utilizada na produção (...); II - do produtor-vendedor¹⁰²; III - da região de produção da matéria-prima; IV - da combinação dos fatores (...) I a III”. O uso dessas alíquotas diferenciadas objetivou incentivar a produção de determinadas matérias-primas e a aquisição dos insumos produzidos pela Agricultura Familiar, gerando emprego e renda, além de estimular a produção do biodiesel em regiões carentes.

Observe-se que a Lei 11.116 estabeleceu o modelo tributário para as operações com o biocombustível, em conformidade com mecanismo específico de fomento à agricultura familiar na cadeia produtiva. Ao estabelecer que a incidência daquelas contribuições sobre o biodiesel poderia ter coeficientes de redução diferenciados em função das

¹⁰¹ A Lei 11.116 é a conversão da Medida Provisória 227, assinada em 06 de dezembro de 2004.

¹⁰² “O produtor-vendedor será o agricultor familiar ou sua cooperativa agropecuária, assim definidos no âmbito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – Pronaf”.

aquisições de insumos oriundos da AF, a Lei tanto estimulou a produção e uso do biodiesel, como gerou uma alternativa de receita para estas propriedades familiares.

Cabe registrar que a Lei 11.116/2005 também dispôs sobre a necessidade da autorização da ANP e do Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel.

O Decreto 5.297, de 06 de dezembro de 2004, regulamentou os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins incidentes na produção e na comercialização de biodiesel (BRASIL, 2004a). Por seu intermédio foi instituído o “Selo Combustível Social” - SCS, concedido ao produtor de biodiesel que adquirir matéria-prima dos agricultores familiares enquadrados no PRONAF, promovendo a garantia de renda e a inclusão social das famílias produtoras. O Decreto estabelece que o SCS poderá conferir ao produtor de biodiesel o “direito a benefícios de políticas públicas específicas voltadas para promover a produção de combustíveis renováveis com inclusão social e desenvolvimento regional”. Este Decreto delega ao Ministério do Desenvolvimento Agrário a competência “para a concessão, renovação e cancelamento de uso do SCS a produtores de biodiesel”. Para cumprir tal finalidade, o MDA elaborou uma série de regulamentações, com destaque à Instrução Normativa MDA nº 1, de 19.02.2009¹⁰³ (MDA, 2009) e à Portaria MDA nº 337, de 18 de setembro de 2015¹⁰⁴ (MDA, 2015a).

Visando assegurar o alcance das metas estabelecidas pelo PNPB sem problemas de desabastecimento, o Governo Federal instituiu a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel, garantindo assim que todo o diesel comercializado no país possua o teor de biocombustível estabelecido pela lei. O mecanismo dos leilões foi muito importante para incentivar a produção, desenvolvimento e consolidação do mercado de biodiesel em um primeiro momento do Programa.

Nestes certames promovidos pela ANP, refinarias e importadores de óleo diesel adquirem o biodiesel dos produtores para misturá-lo ao diesel derivado do petróleo, compondo a mistura (BX) determinada por lei, assim como para o atendimento para fins de uso voluntário. A ANP estipula nos editais dos leilões o volume que deverá ser comercializado, as características técnicas, as condições de entrega e o preço máximo de

¹⁰³ Esta IN MDA nº 1/2009 revogou a Instrução Normativa MDA nº 1, de 05/07/2005 (MDA, 2005).

¹⁰⁴ A Portaria MDA nº 337/2015 foi retificada pelas Portarias MDA nº 362, de 16/10/2015 (MDA, 2015b) e MDA nº 04, de 05/01/2016 (MDA, 2016a).

referência do biodiesel. Para a realização dos leilões de biodiesel, a Agência deve observar as diretrizes específicas da Portaria MME 476, de 15/05/2012 (MME, 2012).

A realização dos leilões segue algumas regras formuladas pelo Governo Federal com o objetivo de incentivar a agricultura familiar, aumentando sua competitividade. A primeira regra diz respeito a uma reserva do mercado obrigatório para os produtores que possuem o SCS. A primeira etapa do certame, que corresponde geralmente a 80% do volume arrematado, destina-se exclusivamente àqueles produtores. Na segunda fase, o volume restante é aberto para todas as empresas cadastradas para o leilão, possuindo ou não o SCS. Além disso, a Agência estabelece um Preço Máximo de Referência (PMR) Regional, que apresenta um valor distinto para produtores que possuem ou não o SCS. Posteriormente, dá-se a contratação de biodiesel para fins de uso voluntário, quando “os adquirentes selecionarão as ofertas mais vantajosas, de acordo com seus próprios interesses e com base na identificação das necessidades e dos interesses de seus clientes (as distribuidoras de combustíveis)”¹⁰⁵ (ANP, 2015b).

Registra-se que para uso como B100 ou em misturas superiores ao teor obrigatório e diferentes do B20 e B30 autorizados, o biodiesel será adquirido “por compra direta (...) de: (i) Produtor ou Distribuidor, quando se tratar de B100; (ii) Distribuidor, quando se tratar de mistura de biodiesel com óleo diesel”, segundo ANP (2016a).

No que tange aos estoques estratégicos de biodiesel, é a Portaria MME nº116, de 04 de abril de 2013, que estabelece diretrizes para sua formação, definindo que a responsabilidade pela compra e estocagem é dos produtores e importadores de óleo diesel, de acordo com sua participação no mercado (MME, 2013). Não obstante, ressalta-se que seu Artigo 4º possibilitou a transferência de responsabilidade do estoque regulador e estratégico para as usinas de biodiesel, através da modalidade do leilão de opção de compras¹⁰⁶. Neste caso, adquire-se o direito de retirar o biocombustível, a qualquer tempo, o que reduz a possibilidade de sua degradação.

Assim, em acordo com o estabelecido no Decreto 5.297/2004 (BRASIL, 2004a) sobre o “direito a benefícios de políticas públicas específicas”, o produtor de biodiesel que é

¹⁰⁵ “2.1.8.6. *Todo o biodiesel arrematado por meio do leilão para fins de uso voluntário (...), somente pode ser comercializado pelos distribuidores com seus clientes desde que garantidos os documentos (...):(para casos previstos na Portaria MME 516/2015, art. 1º, inciso IV)*” (ANP, 2015).

¹⁰⁶ “Art. 4º *Os adquirentes poderão adotar qualquer uma das seguintes modalidades de aquisição: I - compra do produto para ser armazenado em instalação do próprio adquirente ou sob sua responsabilidade direta; e/ou II - contratação de opção de compra, ficando o produto armazenado em instalação do fornecedor e sob sua integral responsabilidade*” (MME, 2013).

detentor do SCS é favorecido com essa “reserva de mercado” para a primeira etapa dos leilões de aquisição de biodiesel, com a redução de alíquotas de PIS/Pasep e Cofins, bem como o acesso a melhores condições de financiamento junto aos “bancos oficiais – Banco do Brasil (BB), Banco do Nordeste do Brasil (BNB), Banco da Amazônia (Basa) e BNDES”, nominados por BNDES (2006a).

3.6.9 Outros Instrumentos

A expressiva participação das fontes renováveis na matriz energética nacional é resultado de uma série de ações governamentais direcionadas ao seu fomento, conforme apresentado ao longo deste item. No que tange especificamente à matriz veicular, é notória a importância dos biocombustíveis líquidos, biodiesel, etanol anidro e etanol hidratado, que representaram 3,2%, 7,5% e 12,3% em 2015, conforme EPE (2016a).

Pode-se depreender dos elementos apresentados que, como resultado das políticas públicas descritas, toda a gasolina automotiva e todo o diesel atualmente comercializados no Brasil mandatoriamente contêm 27% de etanol anidro e 8% de biodiesel, respectivamente. Além da obrigatoriedade legal do uso do biocombustível, é significativo também o emprego do etanol hidratado nos veículos *flex fuel*. Ademais, é autorizado no país o uso de percentuais voluntários superiores de adição de biodiesel.

Adicionalmente aos mandatos estabelecidos, a ação do Estado também compreende um conjunto de instrumentos econômicos de incentivo à indústria de biocombustíveis, como a viabilização de linhas de financiamento diferenciadas, os incentivos financeiros e as isenções e/ou diferenciações tributárias entre os combustíveis.

Por intermédio do BNDES, o Governo tem disponibilizado diversas linhas de financiamento para o mercado de biocombustíveis ao longo dos anos. Para o etanol, são contempladas várias atividades do setor sucroenergético, através de programas como PRORENOVA, PASS, PAISS, PROGEREN, FINEM, conforme detalhado em EPE (2016b). Para o biodiesel, pode-se destacar o Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel do BNDES, que apoiou¹⁰⁷ investimentos “em todas as fases da produção do biodiesel, inclusive no que se refere à armazenagem e à logística do escoamento da produção” (BNDES, 2006b).

¹⁰⁷ Dentre os objetivos do BNDES também constava o apoio à aquisição de máquinas e equipamentos homologados para uso de biodiesel, bem como ao beneficiamento de coprodutos e subprodutos do biodiesel (BNDES, 2006b).

Os tributos e contribuições federais incidentes sobre os combustíveis (de origem renovável ou fóssil), nomeadamente a CIDE, o PIS/Pasep e a Cofins, também vêm sendo empregados pelo Governo Federal como fomentadores dos biocombustíveis, visando torná-los mais competitivos, uma vez que são aplicados de forma diferenciada em relação aos fósseis.

Em relação à CIDE, a alíquota de incidência para o biodiesel é zero. Para o etanol, desde 1º de maio de 2004 sua alíquota também é zero (BRASIL, 2004b). Quanto aos fósseis (diesel e gasolina), a alíquota tem oscilado ao longo dos anos. Desde 1º de maio de 2015, é de R\$ 50,00/m³ para o diesel A, e de R\$ 100,00/m³ para a gasolina (BRASIL, 2015).

Quanto ao PIS/Pasep e à Cofins, as alíquotas também variam ao longo do tempo. De setembro de 2013 a dezembro de 2016, estiveram zeradas para o etanol (BRASIL, 2013). Desde janeiro de 2017, perfazem R\$ 120,00/m³. Já para a gasolina, houve um aumento na tributação a partir de 2015 (BRASIL, 2015). Para o diesel, esses tributos somados totalizam R\$ 248,00/m³. Para o biodiesel, conforme estabelecido pela Lei 11.116/2005, irá depender do insumo, da região produtora e do produtor (se agricultura familiar ou não), podendo variar de R\$ 148,00/m³ até zero (EPE, 2016b).

3.7 Conclusões

O consumo de energia global, notadamente a partir da Segunda Grande Guerra, evoluiu a um ritmo sem antecedentes na história, em decorrência do desenvolvimento econômico dos países em industrialização ou reconstrução. Tal crescimento acelerado esteve fortemente atrelado ao da indústria automobilística que, em função da criação da demanda mundial por derivados, desempenhou papel chave para o desenvolvimento da indústria de petróleo, o qual se transformou na principal fonte de energia primária do planeta. O petróleo desbancou a hegemonia do carvão, o principal energético entre a Revolução Industrial e a Segunda Guerra, em grande parte por suas vantagens em termos caloríficos e de facilidade de utilização, e deverá manter sua supremacia nas próximas décadas. O principal setor que ainda permanece com alta utilização de petróleo é o de transportes, cuja participação dos seus derivados é superior a 90%.

No entanto, apesar de sua supremacia, além dos riscos normais de custos, mercados, demanda e preços, a indústria do petróleo está associada a uma série de outros riscos e incertezas, com destaque aos de natureza geopolítica, tecnológica e exploratória.

Os choques do petróleo em 1973 e 1979 elevaram o preço do barril a níveis extremamente altos, impactando seriamente uma infraestrutura industrial e de transportes baseada no recurso, onde o paradigma era de seu suprimento ininterrupto e a baixo custo. Dado o elevado grau de dependência das importações do energético, houve graves crises de abastecimento e foram gerados grandes *déficits* na balança comercial de diversos países. No Brasil, foram desencadeadas pressões inflacionárias e aumento do desemprego, gerando estagnação e um grande óbice ao desenvolvimento econômico e social na chamada “década perdida”.

A partir destes choques, as nações consumidoras se perceberam vulneráveis em relação à sua segurança no suprimento energético. Assim, entrou na agenda dos países, notadamente dos mais dependentes de importação de petróleo, a busca de soluções voltadas à garantia de abastecimento. Inaugurou-se a busca pela racionalização do uso da energia através de equipamentos mais eficientes e modificação dos hábitos de consumo. Observou-se também a pesquisa e o desenvolvimento de outras fontes de energia que pudessem substituir os derivados no atendimento ao uso final das demandas requeridas pela sociedade.

Diante desse cenário, a procura por alternativas que propiciassem a redução da dependência das importações, bem como o estímulo à produção doméstica e à diversificação de fontes e tecnologias, com vistas a reduzir a vulnerabilidade dos países, passou a orientar a formulação das políticas energéticas por todo o planeta.

No Brasil, as primeiras respostas da política energética aos choques foram a intensificação dos esforços de prospecção *off-shore* com vistas ao aumento da produção nacional de petróleo e o lançamento de programas de substituição de seus derivados por fontes nacionais de energia, como o etanol de cana-de-açúcar e a hidreletricidade.

Entre as soluções promissoras para diminuir a dependência do petróleo, os biocombustíveis líquidos desempenham um papel de destaque, uma vez que tanto a infraestrutura de distribuição utilizada para os combustíveis fósseis, como as tecnologias de uso final, podem ser facilmente utilizadas por estes, em certos casos sem qualquer alteração e, em outros, com reduzidas modificações, sem custos elevados.

Adicionalmente ao benefício da redução da dependência ao petróleo, com o fortalecimento da segurança do abastecimento energético dos países, o uso de biocombustíveis está associado a uma série de vantagens, de natureza econômica, social e ambiental, em consonância com os objetivos da política energética das nações.

Nesse contexto, vários países vêm incentivando o desenvolvimento de sua indústria doméstica de biocombustíveis, através da utilização de instrumentos diversos, sejam de comando e controle ou econômicos, como políticas, regulamentações legais, subsídios, isenção de impostos e tarifas. Ressalta-se que a viabilidade comercial dessa indústria está atrelada aos preços do petróleo e das matérias-primas. Avanços tecnológicos na área agrícola e industrial também podem ajudar a reduzir os custos de produção e aumentar sua competitividade.

A partir dos anos 1990, também a questão ambiental vem progressivamente assumindo maior importância, influenciando a tomada de decisão para a promoção de políticas de incentivo ao uso de fontes renováveis de energia. Embora não haja uma solução tecnológica única para mitigar a mudança do clima, dentre as alternativas apontadas está o uso de biocombustíveis líquidos no setor de transportes, em substituição aos derivados de petróleo.

No entanto, uma vez que o atual sistema de preços não consegue refletir todas as externalidades positivas e negativas decorrentes das atividades da cadeia energética, a

penetração de fontes de energia renováveis na matriz vem sendo restringida por motivos financeiros. Neste contexto, diversos mecanismos de viabilização e de incentivo têm sido adotados pelas nações para a promoção das fontes renováveis, como políticas e regulamentações (níveis federal e estadual) e incentivos fiscais e subsídios.

O etanol carburante nos Estados Unidos tem no milho a sua matéria-prima principal, tendo o país se tornado o maior produtor mundial deste biocombustível em 2006. O Brasil, por sua vez, é o segundo maior produtor de etanol do mundo e o primeiro oriundo de cana-de-açúcar. Ressalte-se que o consumo de energia de origem fóssil e as emissões de GEE do etanol brasileiro são significativamente inferiores aos do estadunidense, dado o uso do bagaço (biomassa residual) como insumo energético na produção.

Globalmente, sobretudo como resultado das políticas públicas, a produção mundial de biocombustíveis evoluiu em taxas muito expressivas desde 2000. Apesar do volume produzido de etanol em 2015 ser mais de três vezes superior ao de biodiesel, no intervalo entre 2005 e 2015, enquanto a produção mundial de etanol mais do que dobrou, a de biodiesel foi multiplicada por oito, crescendo a taxas muito superiores às do etanol.

No Brasil, muitos programas e incentivos foram implementados, sendo exemplos bem-sucedidos o Proálcool e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB.

A busca de garantia de abastecimento e a necessidade de mitigação da poluição local e global, ambos ameaçados pelo uso dos combustíveis fósseis, promovem um ambiente promissor para a penetração cada vez mais relevante dos biocombustíveis na matriz energética mundial. O Brasil, com a sua insolação intensa, disponibilidade hídrica e abundância de terras, reúne as vantagens competitivas para figurar entre as lideranças mundiais em biocombustíveis. O capítulo evidenciou que a produção e uso de biodiesel no país apresenta um enorme potencial em contribuir para atender aos interesses econômicos e sociais do Brasil bem como para conduzir o mundo a uma matriz global de baixo carbono.

4 Estado da Arte das Tecnologias de Produção de Biodiesel

4.1 Introdução

Entre as inúmeras fontes renováveis de energia capazes de substituir os combustíveis fósseis na matriz energética mundial, o biodiesel mostra-se como uma alternativa bastante factível para o suprimento do diesel mineral. Principal derivado de petróleo consumido mundialmente, este combustível possui uma participação ainda mais relevante no Brasil.

O termo biodiesel é usualmente empregado para referir-se a qualquer derivado de biomassa renovável que seja substituto do diesel mineral. Foi definido pela Lei Federal 11.097/2005 como um “combustível para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil” (BRASIL, 2005a). Não obstante, no presente estudo o termo biodiesel circunscreve-se ao estabelecido através da Resolução ANP 45/2014: “combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda à especificação” (ANP, 2014b). Desta forma, será utilizado somente para denominar o éster de origem renovável.

Com vistas a embasar a análise da substituição do derivado de petróleo pelo biodiesel, nesse Capítulo são inicialmente assinaladas algumas características do motor Diesel e do combustível a ser queimado, tanto aquele convencionalmente empregado, como possíveis fontes advindas da biomassa.

Em seguida, o Capítulo apresenta o estado da arte das tecnologias de produção de biodiesel, contemplando uma descrição do campo de aplicação e das diferentes rotas de obtenção do éster. Também será exposto o panorama mundial da produção e uso do biodiesel, com destaque para os principais atores, evidenciando o papel do Brasil nesse cenário.

4.2 Combustível para o Motor Diesel

Os motores do ciclo Diesel, conhecidos como motores de ignição por compressão, utilizam o aumento de temperatura devido à compressão de uma massa de ar para iniciar a reação de combustão. O ar aspirado para o interior do cilindro é comprimido pelo pistão a uma pressão elevada, de forma a provocar um aumento considerável na sua temperatura, até o momento em que os bicos injetores introduzem o combustível na câmara de combustão¹⁰⁸. Em contato com o ar a temperaturas elevadas, o combustível pulverizado pelo bico injetor entra em processo de queima, produzindo trabalho sobre o pistão.

Por essas características de funcionamento, os motores do ciclo Diesel necessitam de pressões elevadas e de um combustível que seja adequado à queima. O diesel a ser comercializado no Brasil deve atender a uma série de parâmetros especificados no Regulamento Técnico ANP nº 4, parte integrante da Resolução ANP 50/2013 (ANP, 2013b). Dentre as principais características que definem a qualidade do combustível a ser queimado nesses motores, destacam-se: número de cetano, viscosidade, ponto de fulgor, estabilidade à oxidação, massa específica, curva de destilação, enxofre total, lubrificidade, resíduo de carbono, ponto de entupimento de filtro a frio, e teor de água e sedimentos. Brasil *et al.* (2012) esclarecem que o atendimento a estes parâmetros visa garantir a qualidade do diesel aos seguintes requisitos:

- Apresentar adequada qualidade de ignição, para que a queima se inicie com o menor retardo em relação à injeção do combustível (número de cetano-NC);
- Vaporizar-se adequadamente no interior da câmara de combustão (curva de destilação, viscosidade);
- Queimar de forma limpa e completa, produzindo o mínimo de resíduos e cinzas e o mínimo de emissão de poluentes (NC, viscosidade, lubrificidade e teor de enxofre);
- Não formar cristais em baixas temperaturas, evitando problemas na partida a frio do motor (ponto de entupimento);
- Ser estável à oxidação, para evitar entupimentos e danos às peças do motor (estabilidade à oxidação);

¹⁰⁸ No motor Diesel de injeção direta, o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, acima do pistão. Já nos motores de injeção indireta, ele é queimado numa câmara de pré-combustão. A queima da mistura ar-combustível produz uma alta pressão neste compartimento que expelle os gases e a mistura não queimada para a câmara principal, criando assim uma grande turbulência e produzindo mistura e combustão mais eficientes.

- Não ser corrosivo para evitar desgastes do motor (teor de enxofre);
- Apresentar aspecto límpido, indicando ausência de água ou materiais em suspensão (resíduo de carbono, teor de água e sedimentos) e;
- Oferecer segurança no manuseio e estocagem (ponto de fulgor).

O combustível tradicionalmente utilizado no motor Diesel é um óleo pardo-escuro, produzido a partir do refino do petróleo e constituído de uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos e aromáticos (predominância dos dois primeiros) com tamanhos de cadeia de 10 a 25 átomos de carbono (destilados intermediários) e cuja faixa de destilação encontra-se entre 150 e 400° C, denominado diesel (BRASIL *et al.*, 2012).

Em relação às fontes renováveis que podem ser queimadas nos motores Diesel, óleos e gorduras de origem vegetal ou animal são produtos naturais que têm como componente principal os triglicerídeos, constituídos de uma molécula de glicerol e três moléculas de ácidos graxos¹⁰⁹. Dependendo do estado físico à temperatura ambiente, os triglicerídeos são classificados como óleos (líquidos) ou gorduras (sólidos). Geralmente, os triglicerídeos sólidos são obtidos dos animais e os líquidos, de plantas. Por tal motivo é comum referir-se a gordura animal e óleo vegetal.

As propriedades físicas e químicas dos óleos e gorduras são determinadas pela natureza dos ácidos graxos, resultado do grau de insaturação e do número de átomos de carbono das cadeias. De forma geral, os óleos são compostos de triglicerídeos com maior quantidade de ácidos graxos insaturados. Já as gorduras são constituídas predominantemente por ácidos graxos saturados. Quanto menor o número de insaturações, maior o número de cetano do combustível e mais estáveis quimicamente são as moléculas. No que se refere ao tamanho, quanto menor a cadeia carbônica, maior é a tendência de que a matéria graxa seja líquida em temperatura ambiente. Quanto maior a cadeia carbônica, maior o número de cetano e a lubricidade. Porém, maior o ponto de névoa e o ponto de entupimento (EMBRAPA, 2008).

Os óleos vegetais possuem elevado poder calorífico e não contêm enxofre em sua composição. Por outro lado, em relação ao diesel mineral, apresentam menor número de cetano, maior viscosidade, mais alto ponto de névoa e alto resíduo de carbono. A

¹⁰⁹ Os ácidos graxos são compostos orgânicos que se diferenciam tanto pelo tamanho como pelo número de duplas ligações da cadeia carbônica. Quando só existem ligações químicas simples entre os átomos de carbono, as cadeias carbônicas são denominadas como saturadas. Quando há, pelo menos, uma ligação química dupla entre os átomos de carbono, são classificadas como insaturadas.

diferença de propriedades entre o diesel e os óleos vegetais deve-se principalmente à sua diversidade molecular. Além da presença do grupamento funcional do tipo éster, os óleos vegetais possuem peso molecular cerca de três vezes superior ao diesel¹¹⁰.

O uso de óleos vegetais, ainda puros, em motores de combustão interna remete ao início do próprio motor Diesel, em fins do século XIX. No entanto, a formação de depósitos, o desgaste do motor, a dificuldade de partida a frio, a queima irregular, a menor eficiência térmica, o odor desagradável nos gases de exaustão e o elevado custo de produção desaconselharam o uso desses óleos em motores Diesel com injeção direta. Desta forma, a substituição do diesel fóssil nos motores do ciclo Diesel requer a escolha de uma das seguintes possibilidades: a adaptação do motor para a queima do óleo vegetal ou a modificação do combustível para o motor convencional.

No que tange à modificação do combustível como alternativa de contorno aos problemas mencionados, destacam-se: i) o uso de misturas de óleos vegetais com diesel; ii) o uso de óleos vegetais craqueados e; iii) o uso de ésteres de triglicerídeos e ácidos graxos (biodiesel). Em seguida, serão descritas as tecnologias de produção de biodiesel (item iii), objeto principal desse estudo.

4.3 Rotas de Produção

O biodiesel é o éster obtido através da reação entre triglicerídeos ou ácidos graxos com álcool, na presença de um catalisador.

Os triglicerídeos ou ácidos graxos, que representam cerca de 80% dos insumos, podem ser encontrados em óleos vegetais (novos ou residuais), gorduras animais, resíduos industriais ou no esgoto sanitário.

A produção de biodiesel pode empregar diferentes tipos de álcool, sendo os mais estudados o metílico e o etílico. No Brasil, o etanol é renovável, obtido da cana-de-açúcar. Já o metanol é normalmente oriundo de fonte fóssil (gás natural), muito embora também possa ser renovável, caso seja produzido através de biogás proveniente da decomposição anaeróbica da biomassa (madeira, resíduos rurais ou florestais, lixo urbano etc.).

¹¹⁰ O diesel é composto de hidrocarbonetos com número médio de carbonos em torno de 14. Os óleos vegetais são triésteres da glicerina, cujas cadeias laterais de ácidos graxos possuem entre 10 e 18 átomos de carbonos, com valor médio de 14 a 18 para os tipos de óleo mais abundantes (CASTRO *et al.*, 2004).

Do ponto de vista cinético, a reação de síntese pode ser realizada em processos catalisados por ácidos, enzimas ou bases fortes. Ademais, pode também ser conduzida em meio supercrítico, como será visto adiante.

Quando a reação para a produção de ésteres (biodiesel) utiliza triglicerídeos, é denominada transesterificação. Nos casos em que o ácido graxo é processado, trata-se de uma reação de esterificação.

Os produtos da transesterificação são um éster (o biodiesel) e glicerol. Na esterificação, os produtos são o biodiesel e água.

É importante ressaltar que, quer seja obtido através de esterificação ou quer o seja via transesterificação, o biodiesel deverá ter características físico-químicas similares ao diesel fóssil, de forma a poder substituí-lo. Além disso, são necessários padrões de qualidade restritos, como será apresentado posteriormente. O Brasil segue as especificações exigidas pela Agência Nacional de Petróleo em seu Regulamento Técnico ANP nº 3/2014, parte integrante da Resolução ANP 45/2014 (ANP, 2014b).

4.3.1 Esterificação

O esquema a seguir exemplifica a reação de esterificação.



Onde R representa a cadeia carbônica do ácido graxo, e R' a cadeia carbônica do álcool reagente.

A reação de esterificação utiliza álcoois de baixo peso molecular, preferencialmente o metanol e o etanol. Não se emprega a catálise alcalina, uma vez que a reação preferencial do catalisador seria reagir com quaisquer ácidos graxos livres, produzindo sabão. Por sua vez, o sabão formado propicia a ocorrência de emulsões entre o álcool e o ácido graxo, desfavorecendo a reação de esterificação.

A catálise enzimática para a esterificação de ácidos graxos livres com álcoois normais ou secundários, através da utilização de lipases, foi proposta por Nelson, Foglia e Marmer (1996). A reação se processa em baixas temperaturas e apresenta alto rendimento de ésteres. No entanto, torna-se necessária a separação e recuperação do solvente.

A catálise ácida, quando homogênea, apresenta como desvantagem a dificuldade de retirada do resíduo de catalisador após reação completa. Normalmente, tal remoção é

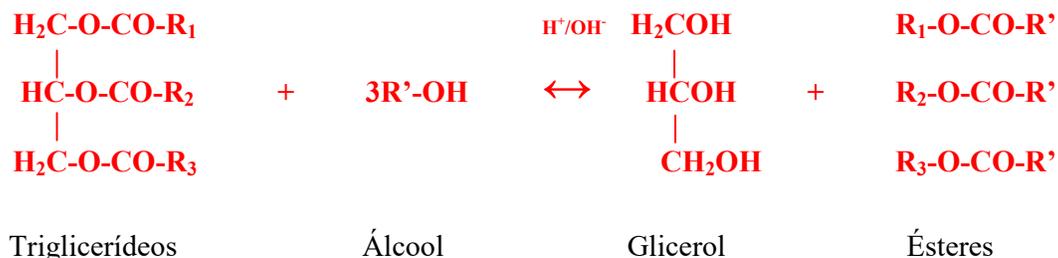
realizada através de lavagem da mistura com álcool, que é separado da fase óleo por extração. Desta forma, o rendimento do processo é diminuído, uma vez que se perde parte do éster obtido.

Como o objetivo de solucionar esse problema, podem ser empregados catalisadores ácidos heterogêneos. De forma geral, na indústria química os processos catalíticos heterogêneos agregam inúmeras vantagens, com destaque à menor contaminação dos produtos, facilidade de separação do catalisador e seu reaproveitamento e diminuição dos problemas de corrosão.

No caso da obtenção de biodiesel, a catálise ácida heterogênea reduz os custos de separação e purificação, trazendo maior atratividade à produção do biocombustível. Jeromin *et al.* (1987) propuseram o emprego de resinas trocadoras de cátions como catalisadores de esterificação. A reação se processa em baixas temperaturas e o catalisador é separado facilmente dos produtos reacionais.

4.3.2 Transesterificação

O método tradicional de obtenção de biodiesel ocorre através da reação de transesterificação entre óleos vegetais e álcool, na presença de um catalisador. Os produtos dessa reação química são um éster (o biodiesel) e glicerol, conforme esquema a seguir:



Onde R1, R2 e R3 representam as cadeias carbônicas dos ácidos graxos e R' a cadeia carbônica do álcool reagente.

A razão estequiométrica da transesterificação demanda três moles de álcool por mol de triglicerídeo, gerando três moles do éster e um mol de glicerol.

A transesterificação promove a quebra da molécula dos triglicerídeos, liberando glicerina como subproduto e gerando mistura de ésteres dos ácidos graxos correspondentes, que tem o peso e o aspecto molecular semelhante ao do óleo diesel, o que lhe confere propriedades similares.

A transesterificação emprega preferencialmente os álcoois de baixo peso molecular. Freedman *et al.* (1984) evidenciaram que, tecnicamente, a reação com o metanol é mais viável do que com etanol. O uso do etanol requer que este seja anidro, já que a água age como inibidor da reação. Além disso, no caso da síntese do éster metílico, a separação do glicerol é realizada mediante simples decantação, bem mais simplesmente do que com o éster etílico, em que é necessário um número maior de etapas.

Quanto ao catalisador, a reação de síntese comumente utilizada na indústria ocorre em meio básico, que tem melhor rendimento e menor tempo de reação do que o meio ácido, bem como menores problemas de corrosão dos equipamentos. O hidróxido de potássio (KOH) proporciona vantagens na etapa de separação do éster do glicerol em relação ao hidróxido de sódio (NaOH) (FREEDMAN *et al.*, 1986).

Cabe ressaltar que a conversão da transesterificação é comumente baixa em temperaturas brandas. No entanto, pode-se deslocar o equilíbrio químico da reação no sentido da produção de biodiesel, usando grandes excessos de álcool ou removendo o glicerol produzido. A remoção de glicerol por decantação natural é muito lenta, apesar de ser economicamente mais atraente. São possíveis alternativas como a centrifugação ou, ainda, o emprego de aditivos para aglomeração das moléculas de glicerol.

A produção industrial de biodiesel mediante transesterificação por catálise básica é a rota mais empregada mundialmente. Não obstante, essa reação pode também ser catalisada por ácidos, enzimas, ou, ainda, ser conduzida em meio supercrítico sem a presença de um catalisador, como exposto a seguir.

4.3.2.1 Catálise Básica

O processo básico emprega bases fortes como catalisadores, principalmente hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH), carbonatos, metóxidos, etóxidos e, em menor proporção, propóxidos e butóxidos de sódio e potássio.

As principais etapas envolvidas na produção de biodiesel por catálise básica são: mistura, reação de transesterificação, decantação do glicerol, recuperação do álcool em excesso, e separação do glicerol.

O catalisador básico é dissolvido no álcool a ser empregado e, posteriormente, adicionado ao óleo. São utilizados reatores com agitação, com ou sem aquecimento. O tempo típico de reação é de cerca de 1-2 horas. É obtida uma mistura de ésteres, glicerol, álcool, mono, di e triglicerídeos.

4.3.2.2 Catálise Ácida

Os catalisadores ácidos empregados na transesterificação compreendem ácido sulfúrico, sulfônico, fosfórico ou clorídrico, entre outros. Utiliza-se principalmente, dentre estes, o ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Cabe ressaltar a possibilidade da transesterificação *in-situ*, uma das alternativas associadas à catálise ácida. Neste processo, a matéria-prima rica em triglicerídeos é diretamente adicionada à solução alcoólica acidificada, em lugar da reação do óleo purificado com o álcool. Assim sendo, a extração do óleo e a transesterificação acontecem conjuntamente (FUKUDA *et al.*, 2001).

4.3.2.3 Catálise Enzimática

A utilização de biocatalisadores oferece como principais vantagens a alta especificidade, tanto em termos do substrato, como do grupo funcional.

Contudo, os processos enzimáticos ainda estão incipientes por causa do elevado custo do biocatalisador em comparação aos catalisadores alcalinos tradicionais (KÖSE *et al.* 2002; FUKUDA *et al.*, 2001).

Estima-se que o emprego de biocatalisadores para a obtenção de biodiesel poderá apresentar significativo avanço nos próximos anos, à medida que forem desenvolvidas novas técnicas de engenharia genética.

4.3.2.4 Transesterificação em Meio Supercrítico

Desenvolvido por Saka e Kusdiana (2001), o processo compreende a transesterificação não catalisada do óleo vegetal em metanol supercrítico, ou seja, acima da temperatura e pressão críticas e possibilita a conversão de óleos com alto teor de ácidos graxos livres.

A purificação dos produtos posteriormente à transesterificação é bem mais simples do que através da catálise básica, pois o processo não utiliza qualquer tipo de catalisador. No entanto, o emprego de temperaturas elevadas e altas pressões ocasiona um vultoso aumento de custos, tanto em termos de consumo de energia quanto para a instalação de reatores resistentes a altas pressões (FUKUDA *et al.*, 2001).

4.3.2.5 Escolha da Rota

Os parâmetros avaliados como sendo os mais importantes para a obtenção de biodiesel, no que tange à matéria-prima, são o teor de acidez (conteúdo de ácidos graxos livres) e o teor de água. No que diz respeito às condições reacionais, os principais fatores são a

concentração de catalisador, a relação molar álcool - óleo¹¹¹, o tempo e a temperatura de reação (MA; HANNA, 1999; FUKUDA *et al.*, 2001).

Comparativamente à rota enzimática, o custo das bases fortes é muito menor do que o das enzimas empregadas como biocatalisadores. Existem também vantagens relacionadas à fácil disponibilidade dos catalisadores básicos. No que tange à comparação com o processo em meio supercrítico, a rota básica possibilita o uso de temperaturas e pressões menores, reduzindo os custos energéticos e de instalação dos reatores.

Em comparação com a rota ácida, a catálise básica apresenta taxas de conversão de triglicérido muito superiores, demanda menores quantidades de catalisador e permite o uso de menores relações molares álcool/óleo para obter a mesma conversão em um mesmo período de tempo (FREEDMAN *et al.*, 1986). Ademais, na catálise ácida o consumo energético é maior, pois a maioria dos processos requer aquecimento.

É importante ressaltar que, não obstante as vantagens comparativas da rota básica, para que sejam obtidos os melhores resultados com esse processo, matérias-primas e reagentes utilizados devem enquadrar-se em duas principais especificações. A primeira diz respeito à exigência de um baixo conteúdo de ácidos graxos livres dos insumos empregados na transesterificação. Caso o valor de acidez seja superior, faz-se necessária uma quantidade maior de base para neutralizar os ácidos graxos livres¹¹².

A segunda especificação relevante refere-se ao teor de água nos reagentes, uma vez que a sua presença favorece a reação ácido-base paralela de saponificação¹¹³. A formação de sabão diminui a conversão a ésteres e gera um maior consumo de catalisador. Além disso, torna mais complexas as etapas posteriores de separação, recuperação e purificação do glicerol e dos ésteres obtidos. Os sabões formados também aumentam a viscosidade e a formação de géis e emulsões.

Mesmo para óleos com acidez relativamente elevada, podem ser alcançadas altas conversões a biodiesel com a rota básica, dependendo do ajuste dos principais parâmetros reacionais, quer sejam a razão molar álcool/óleo, a concentração de catalisador e a

¹¹¹ Altas razões molares do álcool em relação ao triglicérido favorecem conversão total do óleo a éster em um curto período de tempo (MA; HANNA, 1999).

¹¹² Ma e Hanna (1998) recomendam um teor inferior a 0,5 (p/p). Wright *et al.* (1944) apontam para 1%.

¹¹³ A reação paralela é favorecida pela presença de água no meio e quando utilizados insumos graxos com alta acidez (MA; HANNA, 1999).

temperatura reacional, como sinalizam vários estudos (ALCÂNTARA *et al.* (2000); NYE *et al.* (1983); TOMASEVIC; SILER-MARINKOVIC (2002))

Outras pesquisas consultadas avaliam a influência da concentração do catalisador (MA; HANNA, 1999; FUKUDA *et al.*, 2001; VICENTE *et al.*, 1998, ANTOLÍN *et al.*, 2001), do tempo de reação (FREEDMAN *et al.*, 1984, MA; HANNA, 1999) e da temperatura sobre as taxas de conversão da reação de transesterificação (FREEDMAN *et al.*, 1984).

Face ao exposto, pode-se inferir que a escolha da rota a ser empregada na produção de biodiesel irá depender, fundamentalmente, da matéria-prima utilizada. A rota alcalina, embora mostre-se, a princípio, como a melhor alternativa no presente, aplica-se com melhores resultados a insumos de baixo teor de acidez, que são mais caros. No caso do emprego de resíduos ou óleos não processados, insumos mais baratos, faz-se necessário o uso de metanol ou etanol anidro, mais caros que seus equivalentes hidratados.

Desta forma, caso a produção de biodiesel empregue óleos e gorduras com alto teor de ácidos graxos livres, a exemplo dos óleos de fritura residuais, óleos vegetais não refinados, assim como resíduos industriais ricos em triglicerídeos, a rota ácida pode vir a se apresentar como a melhor alternativa, desempenhando um papel relevante na obtenção de biodiesel.

4.3.2.6 Processo de Produção de Biodiesel

A rota básica para a produção de biodiesel é a que possui o maior grau de desenvolvimento e a mais amplamente empregada no mundo, como mencionado. Entre as justificativas, destacam-se: o baixo custo dos catalisadores, as altas taxas de conversão, a rápida cinética da reação e a fácil separação dos produtos.

As principais etapas operacionais da produção de biodiesel através da transesterificação alcalina são ilustradas na Figura 1 a seguir.

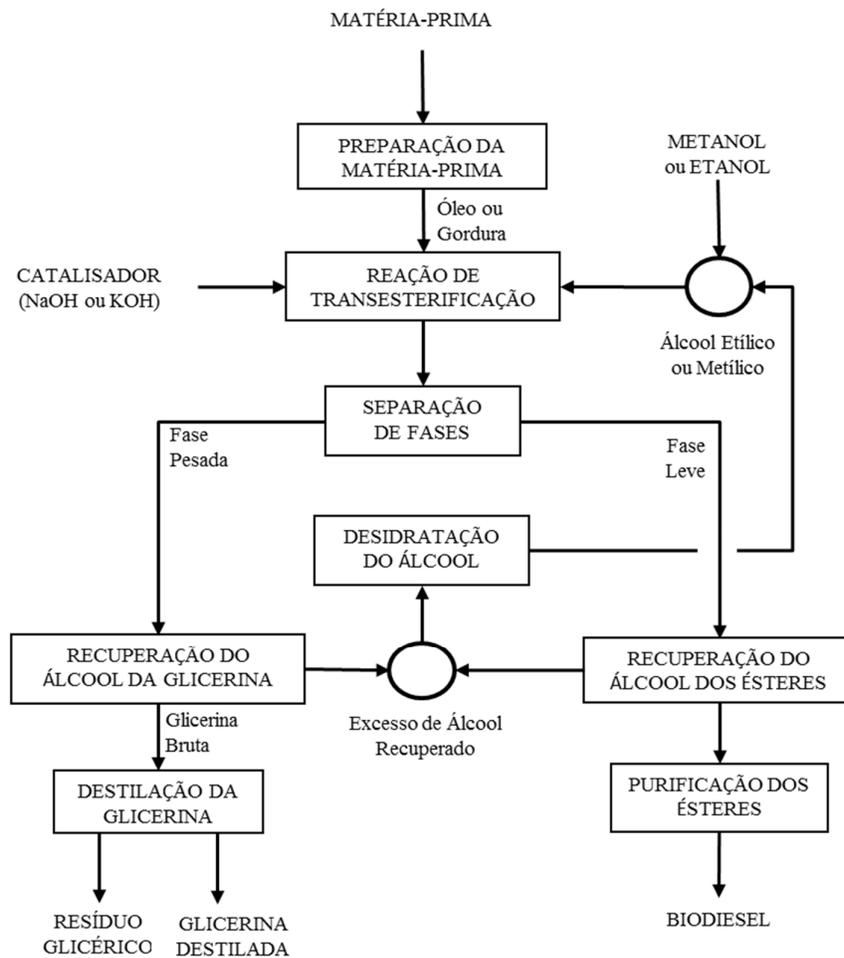


Figura 1 - Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel
Fonte: Parente (2003)

A preparação da matéria-prima é realizada com o objetivo de propiciar as melhores condições para a ocorrência da reação de transesterificação. Nesta primeira etapa do processo, busca-se minimizar os níveis de umidade e acidez, reduzindo a formação de sabão. Usualmente, isto é feito através da operação de lavagem, com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio¹¹⁴, seguida de secagem ou desumidificação.

A reação de transesterificação constitui a etapa em que a matéria-prima graxa reage com o álcool (etílico ou metílico) na presença do catalisador alcalino (usualmente, NaOH ou KOH), sendo convertida em éster etílico ou metílico (biodiesel). O processo requer agitação moderada (para evitar a formação de sabão) e temperatura na faixa ambiente até 70°C (para evitar a evaporação do álcool).

¹¹⁴ Nesta operação, os ácidos graxos presentes na matéria-prima são transformados em sais, o que diminui o rendimento da conversão.

A separação de fases é a etapa em que a massa reacional resultante da transesterificação é submetida à operação de decantação ou de centrifugação, promovendo a separação das duas fases que a compõem. A mais pesada é formada de glicerina bruta, junto com o excesso de álcool (usado para deslocar o equilíbrio da reação), água, resíduo de catalisador, sabão formado durante o processo, alguns traços de ésteres e glicerídeos, e impurezas advindas da matéria-prima. Já a fase mais leve é composta por uma mistura de ésteres e também contém álcool, resíduos de catalisador e outras impurezas.

Na etapa de recuperação do álcool, as fases previamente separadas são submetidas a um processo de evaporação, em que os vapores removidos são liquefeitos apropriadamente. Após tal processo, restam para as etapas posteriores: na fase pesada, a glicerina bruta; na fase leve, apenas o éster.

A purificação dos ésteres consiste na lavagem, secagem e desumidificação, resultando no biodiesel que deverá seguir a especificação definida na norma técnica vigente, conforme será apresentado no item 4.3.2.7 a seguir.

A desidratação do álcool é geralmente feita através da destilação. Para o metanol, esta etapa é simples, diferentemente do etanol, que requer um processo muito mais complexo, dada a formação de azeótropo.

A purificação da glicerina bruta é feita mediante destilação, gerando um produto de maior valor de mercado, como apresentado adiante.

4.3.2.7 Especificação do Biodiesel

O biodiesel deve possuir características físico-químicas similares ao diesel de petróleo, que possibilitem a substituição do fóssil.

Visando assegurar a qualidade do biocombustível, assim como o bom funcionamento dos motores e veículos e a preservação ambiental, são estipulados padrões de qualidade, definidos pela norma técnica vigente em cada país. Essa estabelece valores e limites para as diferentes propriedades e características do biodiesel, bem como os métodos de ensaio a serem utilizados para sua determinação.

É importante pontuar que a qualidade do biodiesel e suas características físico-químicas podem sofrer modificações, tanto em função das estruturas moleculares dos ésteres, como pela presença de contaminantes provenientes da matéria-prima, do processo produtivo ou mesmo produzidos na estocagem do biocombustível, conforme indicam Lôbo *et al.*

(2009). Em relação às estruturas moleculares, estas podem variar em função do comprimento da cadeia carbônica, do número e da posição de insaturações ou, ainda, da presença de certos agrupamentos. Registra-se que podem estar presentes no biodiesel contaminantes advindos da matéria-prima, como fósforo, enxofre, cálcio e magnésio. Ademais, de acordo com a eficiência do processo, o biodiesel também pode conter glicerina livre, álcool residual, resíduos de catalisadores, sabões, água e glicerídeos que não reagiram. De acordo com os autores, a “absorção de umidade e os processos de degradação oxidativa durante o armazenamento do biodiesel contribuem para a presença de água, peróxidos e ácidos carboxílicos de baixa massa molecular”.

Cabe assinalar que, quanto maior forem o número de saturações e o tamanho da cadeia carbônica, maior serão o número de cetano, a viscosidade e a lubrificidade do combustível. Todavia, outras propriedades de fluxo¹¹⁵ (como ponto de névoa, ponto de entupimento de filtro a frio e ponto de fluidez) também apresentarão valores mais altos. Isto se configura como uma condição indesejável, uma vez que significa valores mais elevados de temperaturas nas quais o biodiesel tende a solidificar-se, conduzindo à interrupção do fluxo e ao entupimento do sistema de filtração. Ressalte-se, ainda, a necessidade do controle adequado da viscosidade: valores muito altos ocasionam combustão incompleta¹¹⁶, com deposição de resíduos nas partes internas do motor. Por outro lado, baixos valores causam excessiva dispersão na câmara e lubrificação inadequada. A lubrificação depende também da presença de compostos polares. Como consequência da remoção do enxofre e do nitrogênio e oxigênio ligados à sua cadeia durante o processo de dessulfurização nas unidades de hidrotreatamento (HDT), o diesel mineral com baixo teor de enxofre tem perda de lubrificidade. Exatamente por conter quantidades muito pequenas de enxofre e ótima lubrificidade, o biodiesel funciona como aditivo para corrigir a lubrificidade do diesel fóssil (LÔBO *et al.*, 2009; BRASIL *et al.*, 2012).

Adicionalmente, a estabilidade do biodiesel também está diretamente associada ao grau de insaturação dos ésteres. A molécula estará mais sujeita à degradação, seja térmica ou oxidativa, quanto maior for o número de insaturações, “formando produtos insolúveis que

¹¹⁵ Propriedades de fluxo como: ponto de névoa (*cloud point* - CP), ponto de entupimento de filtro a frio (*cold-filter plugging point* - CFPP) e ponto de fluidez (*pour point* - PP).

¹¹⁶ Valores muito altos de viscosidade reduzem a capacidade de nebulização do combustível, causando penetração excessiva do seu jato na câmara de combustão e assim, ocasionando queima incompleta, com deposição de resíduos nas partes internas do motor.

ocasionam problemas de formação de depósitos e entupimento do sistema de injeção de combustível do motor” (LÔBO *et al.*,2009).

Desta forma, deve-se buscar um equilíbrio no grau de saturação, visando que o biocombustível consiga se enquadrar às normas de qualidade vigentes.

Resumidamente, comparativamente ao diesel mineral, o biodiesel apresenta maiores número de cetano, viscosidade e lubricidade, um ponto de fulgor mais alto (mais seguro armazenamento) e menor teor de enxofre (ou mesmo ausência). Por outro lado, possui menor estabilidade, alto resíduo de carbono e mais alto ponto de névoa (se cristaliza a temperaturas mais altas, o que é indesejável).

No Brasil, a Resolução ANP 45/2014 estabelece a especificação do biodiesel em seu Regulamento Técnico ANP nº 3/2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade para a comercialização do produto. Em seu Artigo 5º, a Resolução dispõe que “O Produtor, o Adquirente e o Importador ficam obrigados a garantir a qualidade do biodiesel a ser comercializado em todo o território nacional (...), cujos resultados deverão atender aos limites estabelecidos da especificação” (ANP, 2014b).

De acordo com a Resolução ANP 45/2014, a determinação das características do biodiesel constantes da Tabela de Especificação deverá ser feita através dos métodos de ensaio das normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e das normas internacionais da ISO (*International Organization for Standardization*), da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dos EUA, e do "*Comité Européen de Normalisation*" (CEN) da União Europeia.

O Regulamento Técnico ANP nº 3/2014 contém os valores limites e os métodos das características que devem ser certificadas para a comercialização do biodiesel¹¹⁷ (ANP, 2014b). Parente (2003) avalia que, dentre estas, as mais relevantes especificações do biodiesel para seu emprego em motores do ciclo diesel, são: “Água e Sedimentos, Cinzas, Glicerina Total e Livre, Resíduo de Carbono, Acidez e Corrosividade”, e que existe uma correlação entre o número de acidez e a corrosividade. Cada tipo de matéria-prima graxa empregada na produção do éster requer uma rota tecnológica que seja mais adequada,

¹¹⁷ As características referem-se a: Aspecto, Massa específica, Viscosidade Cinemática, Teor de água, Contaminação Total, Ponto de fulgor, Teor de éster, Cinzas sulfatadas, Enxofre total, Sódio + Potássio, Cálcio + Magnésio, Fósforo, Corrosividade ao cobre, Número de Cetano, Ponto de entupimento de filtro a frio, Índice de acidez, Glicerol livre, Glicerol total, Monoacilglicerol, Diacilglicerol, Triacilglicerol, Metanol e/ou Etanol, Índice de Iodo, Estabilidade à oxidação (ANP, 2014b).

como exposto. Neste sentido, o autor pondera que em determinados casos poderá ser originado um “produto com um número de acidez consideravelmente elevado, comprometendo a sua corrosividade na forma pura (B-100)”. Parente, então, sugere que os ensaios para a determinação dos parâmetros de Corrosividade e Índice de acidez possam ser conduzidos “nas condições de uso do combustível, isto é, utilizando como amostra a mistura biodiesel – diesel mineral, na proporção em que for empregada”, o que favorece que estes se ajustem a valores aceitáveis. É importante ressaltar que o processo que utiliza matéria graxa de origem residual comumente produz um biodiesel que possui dificuldade em atender a certos parâmetros do Regulamento Técnico ANP nº 3/2014. Considerando a pertinência de estimular o uso da matéria residual, que acarreta diversos benefícios colaterais, sugere-se que os ensaios sejam conduzidos com a mistura biodiesel – diesel, como aconselhado por Parente (2003).

4.3.3 Outras alternativas

Adicionalmente ao biodiesel, existem outras alternativas para a modificação do combustível para uso no motor Diesel convencional, como mencionado. Destacam-se o uso de misturas de óleos vegetais com diesel, o craqueamento e o Processo HBio.

4.3.3.1 Misturas de óleos vegetais com diesel

A mistura de óleos vegetais ao diesel visa a obtenção de um combustível cuja performance se assemelhe o suficiente do óleo diesel, de forma a dispensar qualquer modificação nos motores convencionais.

Dados relatados pela Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), pelo Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), pelo Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), apontam que misturas de óleo diesel com até 30% de óleo vegetal e seus ésteres possuem características físico-químicas bastante similares às do diesel (ROSA *et. al.*, 2003).

4.3.3.2 Craqueamento

Pirólise ou craqueamento térmico é a conversão de uma substância a outra por aquecimento a altas temperaturas, envolvendo queima na ausência de ar e quebra das ligações químicas, produzindo moléculas menores. O processo pode ser conduzido com o auxílio de catalisadores, que proporcionam um melhor controle dos produtos da reação e possibilitam maximizar a fração desejada.

Na decomposição térmica de triglicerídeos, é obtida mistura de compostos químicos com características muito similares às dos derivados de petróleo. Uma posterior destilação pode gerar frações com características físico-químicas semelhantes, inclusive, às do diesel, o que possibilita seu uso direto em motores do ciclo Diesel convencionais.

No craqueamento são obtidos hidrocarbonetos de diferentes pesos moleculares e compostos oxigenados, como alcanos, alquenos, alcadienos, aromáticos e ácidos carboxílicos. O uso do catalisador possibilita criar uma nova rota reacional, onde faz-se necessária uma menor temperatura para a quebra das ligações, acelerando a reação global, maximizando a fração desejada e reduzindo a produção de compostos oxigenados que elevam a acidez do produto final.

A qualidade e a proporção dos produtos do craqueamento são influenciados principalmente pela composição química da matéria-prima utilizada, pela temperatura do processo e pela presença de catalisadores.

A pirólise de óleos vegetais e gorduras vem sendo estudada há muitos anos, sobretudo em áreas desprovidas de produção de petróleo. Diversos países realizaram seus primeiros experimentos durante a I Guerra Mundial, buscando sintetizar combustíveis alternativos ao petróleo, devido à sua ausência no mercado internacional (MA; HANNA, 1999; CHANG; WAN, 1947; DEMIRBAŞ, 2003). Desde então, várias pesquisas para obtenção de produtos químicos e combustíveis têm sido desenvolvidas, evidenciando que a seletividade dos produtos da reação é fortemente influenciada pela presença e natureza de catalisadores heterogêneos (SCHWAB, 1988; IDEM *et al.* 1996). Santos (2007) destaca como catalisadores ativos para o craqueamento os aluminossilicatos, como argilas, zeólitas e sílica. Em seu estudo, o autor demonstrou que através do craqueamento térmico de borra de óleo de soja, gordura de frango e sebo bovino, ou seja, subprodutos agroindustriais, é possível produzir biocombustíveis cujas propriedades atendem as especificações da ANP para o diesel fóssil.

No processo de craqueamento há um gasto relativamente alto com energia térmica, uma vez que a quebra molecular ocorre a partir de 350°C, os equipamentos são caros, e a produção é de pequena escala.

Do ponto de vista ambiental, a retirada de oxigênio durante a pirólise elimina os benefícios ao meio ambiente que estão relacionados ao uso de compostos oxigenados, e

geralmente são produzidas maiores quantidades de gasolina do que diesel (FUKUDA *et al.*, 2001; MA; HANNA, 1999).

No Brasil, após 1976, a Petrobras começou um programa objetivando utilizar a capacidade ociosa das Unidades de Craqueamento Fluido-Catalítico (FCC) das suas refinarias, de forma a processar óleos vegetais em mistura com gasóleo¹¹⁸. As pesquisas concluíram ser viável tecnicamente o processamento de óleos vegetais nestas unidades.

4.3.3.3 O Processo H-BIO

O uso associado de processos de craqueamento, seguidos de hidrogenação, foi descrito como um procedimento eficiente para aperfeiçoar a seletividade nos produtos obtidos a partir da decomposição térmica de triglicérides, conforme Gusmao *et al.* (1989) e Pelisson (2008). Os autores verificaram que, na presença de hidrogênio molecular, a pirólise dos óleos de babaçu e soja conduziu à produção de hidrocarbonetos, quase que exclusivamente.

Com o objetivo de introduzir o processamento de insumos renováveis no esquema de refino de petróleo e possibilitar o uso das instalações já existentes, a Petrobras desenvolveu o processo H-BIO. Essa tecnologia consiste no coprocessamento do diesel junto com óleos e gorduras, na presença de hidrogênio molecular (PETROBRAS, 2007).

Nas Refinarias, as Unidades de Hidrotratamento (HDT) são empregadas principalmente para a diminuição do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel. No processo H-BIO, o triglicérido é misturado com frações de diesel de petróleo e encaminhado para um reator de HDT, sob condições controladas de elevada temperatura e pressão de hidrogênio. O processo envolve uma hidroconversão catalítica dessa mistura diesel/triglicérido, que é convertida em hidrocarbonetos parafínicos lineares, similares aos existentes no diesel de petróleo.

A Figura 2 a seguir apresenta o esquema do processo H-BIO:

¹¹⁸ Gasóleo é obtido no processo de refino do petróleo, na etapa da destilação a vácuo. É uma fração pesada, destinada à produção de lubrificantes ou, através de processos mais sofisticados como o craqueamento catalítico, transformado em GLP, gasolina e óleo diesel.

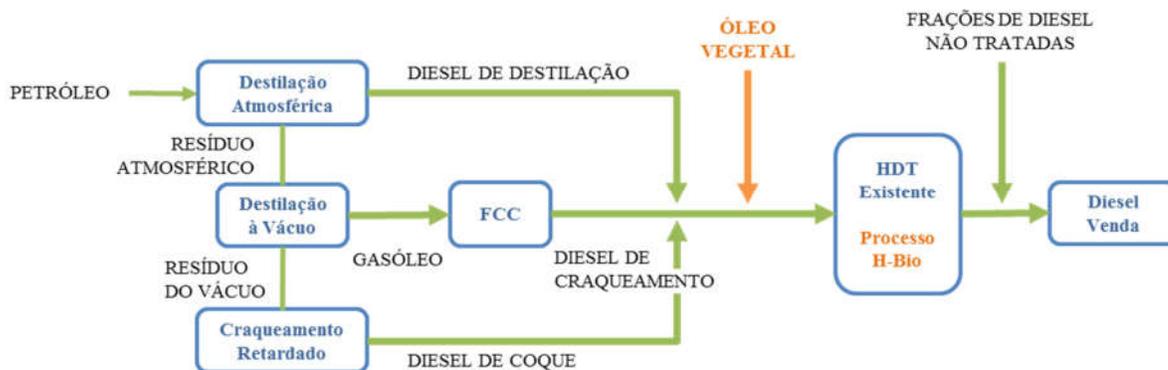


Figura 2 – Esquema de processo do H-Bio
 Fonte: PETROBRAS (2007)

Cabe ressaltar que o produto obtido do craqueamento ou do processo H-BIO não é um éster e, portanto, não se enquadra na definição de biodiesel estabelecida na Resolução ANP, mas sim um hidrocarboneto originário da biomassa, o que acaba por caracterizá-lo como um combustível não especificado.

4.3.4 Coprodutos

Na obtenção de biodiesel são gerados outros subprodutos para os quais é recomendável encontrar destinação, seja por razões de natureza técnica, ambiental ou econômica.

A produção mundial de biodiesel é realizada majoritariamente através da transesterificação, como mencionado. Neste processo, além do éster formado, obtém-se simultaneamente o glicerol, que corresponde a cerca de 20% da molécula do triglicerídeo. Dada essa significativa proporção, motivos técnicos e econômicos recomendam a sua recuperação no processo produtivo.

O termo glicerol refere-se unicamente ao componente químico puro 1,2,3-propanotriol. Já o nome glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados, contendo no mínimo 95% de glicerol. Diversas designações de glicerina estão comercialmente disponíveis e se diferenciam basicamente em seu conteúdo de glicerol.

“*Glicerina loira*” é o termo normalmente utilizado para denominar a glicerina advinda da produção do biodiesel (SUAREZ, 2007). É obtida da camada glicerinosa inferior, por decantação do sistema nas etapas de alcoólise de óleo, a qual contém sabões, álcool, éster (traços) e impurezas diversas, além do glicerol. Posteriormente, essa fase passa por um tratamento ácido para neutralização do catalisador e remoção de ácidos graxos eventualmente formados. Em geral, esta glicerina contém cerca de 80% de glicerol, além de água, metanol e sais dissolvidos.

Com vistas ao atendimento às especificações para a obtenção de glicerinas comerciais do tipo CP (*chemically pure* - quimicamente pura com 99,5% mínimo de glicerol) e HG (*high gravity* - para nitrção com 98,7% mínimo de glicerol), que possuem um mercado mais amplo e diversificado, a “*glicerina loira*” deve ser submetida a um processo de purificação (ROSA *et al.*, 2003).

A glicerina purificada tem grande aplicação nos setores de cosméticos, higiene pessoal, alimentos, medicamentos e fumo. No segmento de cosméticos, é bastante utilizada na produção de sabonetes, cremes, hidratantes, pasta de dentes e loções pós-barba, por ser um produto atóxico, inodoro, e que não irrita a pele. No setor farmacêutico pode ser utilizada como vasodilatador. Na indústria alimentícia é muito empregada, por ser uma substância doce que não contém açúcar. Já na Indústria Química, a glicerina destina-se sobretudo para a produção de tintas, lubrificantes e papel e celulose.

Suarez *et al.* (2007) estudaram algumas possíveis transformações químicas para a glicerina, objetivando seu uso como matéria-prima. Os autores concluem que o glicerol pode ser transformado em produtos com grandes aplicações industriais, destacando-se o uso como aditivo para combustíveis, surfactantes, flavorizantes e solventes para uso em medicina e que existem inúmeras oportunidades para o desenvolvimento da gliceroquímica¹¹⁹, “quer no desenvolvimento de novos produtos, processos e aplicações, ou na síntese de novos catalisadores, mais ativos e seletivos”.

Ainda em estágio de pesquisa, pode-se mencionar a possível aplicação da glicerina em pilhas combustível, que vem sendo estudada nos laboratórios da COPPE/UFRJ e o uso de glicerol como substituto do fluido de perfuração convencional, que foi testado pela Petrobras com bons resultados. Os benefícios ambientais desta substituição diminuem os impactos dos fluidos a base de óleo diesel, normalmente empregados quando se perfuram zonas com presença de argilas sensíveis à água, a fim de evitar danos à formação. Além disso, por seu caráter biodegradável, o impacto é menor em caso de derramamento (ROSA *et al.*, 2003). Outrossim, existe a possibilidade de destinação da glicerina em usinas de incineração de lixo ou em cimenteiras, uma vez que seu poder calorífico situa-se em cerca de 3.800 kcal/kg, correspondente a um combustível de médio conteúdo

¹¹⁹ Termo originalmente empregado pelo saudoso Professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará.

energético. Também é reconhecida sua possível contribuição para o aumento da produção de biogás em sistemas de codigestão.

Além do glicerol, na transesterificação alcalina, a reação do óleo vegetal com a base gera como subproduto ácidos graxos, que, também por motivações econômicas, devem ser aproveitados. Dependendo da forma em que sejam recuperados, estes têm preços e mercados distintos. Os ácidos graxos lavados e secados a vácuo podem ser comercializados no mercado interno, especialmente para as indústrias de tinta e resinas sintéticas. No caso de purificação do ácido graxo recuperado através de uma destilação complementar, são obtidos produtos de melhor qualidade e preço de mercado. Cabe mencionar que esses ácidos podem vir a ser utilizados na própria produção de biodiesel.

Observe-se que o excesso de álcool que é empregado com a finalidade de deslocar o equilíbrio, favorecendo a reação de transesterificação, também deve ser recuperado. Caso não possua um teor mínimo, será preciso submetê-lo a um processo de desidratação para que venha a ser reutilizado no processo.

Quando a reação química utiliza óleos vegetais novos como insumo graxo, o processo requer sua extração, através da prensagem da oleaginosa. Caso o teor de óleo que permaneça na fração restante seja elevado, segue-se uma extração por solvente orgânico, normalmente hexano. Dessa forma, a obtenção do óleo está associada à produção de farelo ou torta da oleaginosa que lhe deu origem, o que não ocorre quando do processamento do insumo residual.

Cabe assinalar que a principal fonte de receitas financeiras dos cultivos oleaginosos geralmente não consiste no óleo vegetal, que representa somente um coproduto, mas sim na fração proteica, que pode ser utilizada para fins alimentícios, humanos ou animais. Existe, ainda, a possibilidade de direcionamento de biomassa residual da oleaginosa como combustível para a geração de energia elétrica.

A Tabela 6, extraída do MAPA (2006), apresenta características agrícolas de algumas oleaginosas, com destaque para a produtividade em óleo por hectare.

Tabela 6 – Características de Culturas Oleaginosas

Espécie	Origem do óleo	Conteúdo de óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em óleo (t/ha)
Dendê/Palma	Amêndoa	22	12	3,0-6,0
Coco	Fruto	55-60	12	1,3-1,9
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,1-0,3
Girassol	Grão	38-48	3	0,5-1,9
Colza/Canola	Grão	40-48	3	0,5-0,9
Mamona	Grão	45-50	3	0,5-0,9
Amendoim	Grão	40-43	3	0,6-0,8
Soja	Grão	18	3	0,2-0,4
Algodão	Grão	15	3	0,1-0,2

Fonte: MAPA (2006)

A tabela evidencia que existem espécies que possuem um percentual de óleo por tonelada bem mais atrativo que o da soja, que nos últimos 15 anos¹²⁰ vem sendo o principal grão produzido no Brasil, responsável por cerca da metade da safra de grãos 2016/17 (CONAB, 2017). Cabe assinalar que, apesar de seu baixo teor de óleo (18%), a soja é a principal responsável pela oferta de óleo vegetal no país, o que acarretou sua posição privilegiada no setor de biodiesel, como será visto adiante.

As principais oleaginosas utilizadas na produção mundial de biodiesel são a soja, a colza e o dendê. No Brasil, também é utilizada uma pequena proporção de algodão. Apresenta-se a seguir algumas características sobre algumas dessas culturas.

i) Soja: Apresenta um baixo teor de óleo, cerca de 18%. É descascada de forma mecanizada. As cascas são utilizadas como fertilizante natural, formando uma cobertura vegetal sobre o solo. Posteriormente, o beneficiamento da soja em grão ocorre com o seu esmagamento e a separação do óleo e da pasta, convertida em farelo (EMBRAPA, 2015). Este é usado, principalmente, como ração animal, devido a seu elevado teor de proteína (43 - 48%), sendo a parcela mais lucrativa da indústria da soja.

ii) Dendê: O beneficiamento do dendê consiste nas seguintes etapas: esterilização; debulha; digestão; e prensagem, ocorrendo a separação do óleo de dendê (obtido da polpa) e de uma mistura de fibras e sementes, que são separadas através de um desfibrador (SOUZA, 2000).

O calor para o processo é obtido através da queima da própria fibra nas caldeiras. Após secagem, as sementes são quebradas, separando-se as cascas das amêndoas, as quais, prensadas, resultam no óleo de palmiste, que tem maior valor de mercado. A torta

¹²⁰ Na safra 2001/2002, a soja ultrapassou definitivamente o milho, com quem oscilava desde a safra 1996/1997 (CONAB, 2003).

resultante contém 14% a 18% de proteína e pode ser utilizada para ração animal. Os resíduos do beneficiamento do dendê (cachos vazios, fibra e cascas) também podem ser usados na geração de eletricidade.

iii) Algodão: o principal produto desta cultura é a fibra, destinada à indústria têxtil. Após sua separação, ocorre a extração do óleo. A torta e o farelo resultantes são ricas fontes de proteína, bastante empregados no preparo de rações.

A semente (caroço) do algodão representa entre 58 a 65% do peso da produção, dependendo da cultivar, do local e condições de cultivo e das condições de descaroçamento. Possui entre 12 a 27% de óleo e média de 15% de proteína bruta nos cultivares atuais (EMBRAPA, 2009).

4.4 Panorama Mundial da Produção e Uso de Biodiesel

De acordo com estudo publicado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL)¹²¹, o biodiesel é o biocombustível que tem apresentado a maior taxa de crescimento no mundo (NREL, 2016), conforme apresentado no Capítulo anterior. Intitulado “2015 *Renewable Energy Databook*”, o relatório consolidou dados sobre a evolução das fontes renováveis de energia para o período compreendido entre 2005 e 2015.

A Tabela 7 apresenta o histórico recente de produção mundial de biodiesel.

Tabela 7 - Produção mundial de biodiesel 2005-2015 (bilhões de litros)

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
3,9	6,0	9,0	12,0	16,6	19,0	21,4	22,5	26,3	29,7	30,1

Fonte: Elaboração própria a partir de NREL (2016)

A União Europeia (UE)¹²² permanece como o principal produtor regional do biodiesel, muito embora a sua participação no total mundial venha se mantendo estável nos últimos anos. Em 2015, sua produção totalizou 11,5 bilhões de litros (REN, 2016). Por outro lado, a contribuição dos Estados Unidos vem crescendo rapidamente e este se manteve como principal país produtor do éster naquele ano, com cerca de 5 bilhões de litros.

¹²¹ NREL - *National Renewable Energy Laboratory / U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.*

¹²² A União Europeia é uma parceria econômica e política com características únicas, constituída por 28 países europeus, que, em conjunto, abarcam uma grande parte do continente europeu (UE, 2016).

O biodiesel foi o primeiro biocombustível desenvolvido e empregado no setor de transportes na União Europeia, na década de 1990. A expansão acelerada foi estimulada, naquela ocasião, pelo aumento dos preços do petróleo, pelo Acordo de *Blair House*¹²³ e suas disposições acerca da produção de oleaginosas, bem como por incentivos fiscais generosos, sobretudo na Alemanha e na França. Posteriormente, as metas de biocombustíveis fixados na Diretiva 2003/30/CE (metas indicativas) e na RED 2009/28/CE (metas obrigatórias) incentivaram ainda mais o uso do éster. É de extrema relevância o papel do biodiesel nessa região, representando cerca de 80% da energia consumida no mercado de biocombustíveis do setor de transporte (USDA, 2016).

Nesse período 2005-2015, a produção mundial de biodiesel cresceu quase oito vezes: 30,1 bilhões de litros em 2015 contra 3,9 bilhões em 2005. Os Estados Unidos foram o principal país produtor em 2015 (4,8 bilhões de litros), seguido pelo Brasil (3,9 bilhões de litros). A Alemanha apareceu como a terceira colocada com 2,8 bilhões de litros, seguida pela França, com 2,4 bilhões e pela Argentina, com 2,1 bilhões de litros (REN21, 2016). A seguir, será descrito o mercado de biodiesel para os principais países citados.

4.4.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a indústria de biodiesel atravessou um rápido período de crescimento e o país se tornou o maior produtor do biocombustível no planeta, alcançando cerca de 5 bilhões de litros em 2015.

A produção de biodiesel nos EUA emprega diferentes matérias-primas, como óleos vegetais novos e residuais e gordura animal, sendo o óleo de soja o principal insumo utilizado. O programa de biodiesel no país encontra suporte na produção oriunda de pequenos agricultores (CARD, 2007a).

A indústria estadunidense de biodiesel foi conduzida e desenvolvida principalmente pelo esforço dos produtores de soja, que buscavam outros mercados para seus produtos. Com esse objetivo de diversificação, um dos primeiros programas suportados pelo setor direcionava-se ao biodiesel (*soydiesel*), através de pesquisas, legislações e atividades de desenvolvimento de mercado.

¹²³ O Acordo de *Blair House* foi negociado entre a UE e os EUA em 1992. O Memorando de Entendimento estabeleceu uma série de restrições ao cultivo de oleaginosas, como uma limitação na área cultivada e uma restrição sobre a quantidade de subprodutos disponibilizados do cultivo para fins não alimentícios, em conformidade com os programas de retirada de terras da Política Agrícola Comum (OECD, 2013).

Foi em 1992 que grupos de *commodities* de soja do Estado fundaram o *National Soy Diesel Development Board*, visando o financiamento da pesquisa e desenvolvimento de biodiesel. O nome da associação foi mudado em 1994 para *National Biodiesel Board* (NBB)¹²⁴ “para refletir a preferência pelo combustível, uma vez que este pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal ou gordura animal” (NBB, 2015). Desta forma, observa-se que o desenvolvimento inicial do setor de biodiesel nos Estados Unidos foi principalmente alavancado por entidades privadas.

A produção comercial de biodiesel nos Estados Unidos somente começou no início dos anos 1990, apesar da existência de atividades de pesquisa há muito tempo. A primeira planta comercial dedicada (*Midwest Biofuels*) iniciou sua produção em 1993. Várias outras iniciaram nos anos seguintes. No entanto, em 1999, foi produzido apenas 0,5 milhão de galões (CARD, 2007b).

Depois disso, uma série de iniciativas governamentais e apoio político foram marcantes para o acelerado crescimento da capacidade instalada e da produção de biodiesel, com destaque para as modificações de 1998 para o *Energy Policy Act* de 1992, a criação do Programa de Bioenergia do USDA *Commodity Credit Corporation* (CCC) em 2000, o *Jobs Act* de 2004, o *Energy Policy Act* de 2005 e o *Energy Independence and Security Act* de 2007, conforme capítulo anterior.

O EPAAct 1992 exigia que uma parcela das novas compras de veículos para as frotas dos governos federal, estadual e de fornecedores de combustíveis alternativos fosse de veículos movidos com estes, mas excluía o biodiesel. A alteração de 1998 permitiu que parte da exigência fosse cumprida pelo consumo de biodiesel nos veículos pesados em misturas com, no mínimo, 20% (B20). Desta forma, as exigências sobre as aquisições de novos veículos puderam ser parcialmente substituídas pelo uso do biodiesel nas frotas especificadas, o que criou uma demanda cativa para este (CARRIQUIRY, 2007).

A criação do Programa de Bioenergia CCC do USDA em 2000 teve como objetivo estimular a demanda e aliviar os excedentes de safra contribuindo para o fortalecimento dos preços e incentivo à produção de biocombustíveis. Como resultado, o subsídio estimulou novos investimentos em plantas de biodiesel, tanto para novas instalações,

¹²⁴ O NBB é uma associação comercial sem fins lucrativos dedicada à coordenação do setor de biodiesel. O órgão representa a indústria de biodiesel e coordena a pesquisa, educação e desenvolvimento com uma ampla gama de cooperadores da indústria, governo e academia. Entre os seus membros estão organizações estaduais, nacionais e internacionais de produção e processamento de matérias-primas, fornecedores de biodiesel, comerciantes e distribuidores e fornecedores de tecnologia (NBB, 2015).

como para expansão. Inicialmente, apenas o éster de óleo vegetal era elegível para o programa. No entanto, o *farm bill* de 2002 estendeu a lista de matérias-primas permitidas, de forma a contemplar os subprodutos animais, gorduras e óleos reciclados de origem agrícola (DUFFIELD; COLLINS, 2006).

O *American Jobs Creation Act* (o *Jobs Act*) de 2004 criou incentivos fiscais para a indústria de biocombustíveis. Essa lei possibilitou aos misturadores reivindicar um determinado montante por galão do biodiesel produzido¹²⁵, o que aumentou a competitividade do biocombustível em comparação com o diesel fóssil.

O EPAAct2005 estabeleceu uma integração progressiva para os combustíveis renováveis (o *Renewable Fuel Standard* – RFS), exigindo que os produtores de combustível incluíssem no mínimo 4 bilhões de galões de renováveis até 2006 e 7,5 bilhões em 2012. Visando reduzir os custos de produção, o EPAAct2005 também fornecia créditos de imposto de US \$0,10 por galão para pequenos produtores de agribiodiesel.

O biodiesel vem sendo usado nos EUA em frotas de ônibus urbanos, serviços postais e órgãos do governo. Naquele país, o biodiesel pode ser misturado ao diesel fóssil em qualquer percentual de adição. Cabe registrar que a especificação ASTM D975 para o diesel combustível permite que, com até 5% de adição (B5), o combustível seja chamado de diesel, sem exigência de rotulagem diferenciada na bomba. “Misturas de biodiesel de baixo nível, tais como B5 são aprovadas para a operação segura em qualquer motor de ignição por compressão, projetado para ser operado com diesel de petróleo. Isto pode incluir carros a diesel e caminhões, tratores, barcos e geradores elétricos” (AFDC, 2015d).

Nos Estados Unidos, a mistura mais comum é a de 20% de biodiesel e 80% de diesel fóssil (B20). Quaisquer misturas entre 6% e 20% devem atender às especificações da norma ASTM D7467, e podem ser usadas em todos motores diesel sem necessidade de modificações. “O B20 é popular porque representa um bom equilíbrio de custos, emissões, desempenho de clima frio, compatibilidade de materiais e capacidade de agir como um solvente”. Motores operando com B20 têm consumo de combustível similar, cavalos de potência e torque a motores a diesel de petróleo. Ademais, são compatíveis com a maioria de equipamentos de distribuição e estocagem nos EUA. Já o biodiesel puro ou B100 é usado com algumas restrições, requer tratamento especial e pode exigir

¹²⁵ US\$1/galão para o biodiesel obtido de óleos vegetais novos ou gorduras animais (agribiodiesel na legislação) e US \$0,50/galão para o feito a partir de óleos reciclados e gorduras misturadas com diesel (CARRIQUIRY, 2007).

modificações no equipamento. Para evitar problemas de funcionamento do motor, o B100 deve atender aos requisitos da norma ASTM D6751 (AFDC, 2015d).

O Gráfico 21 apresenta os dados de produção, consumo e balanço de biodiesel nos Estados Unidos para o período 2001 a 2015 (EIA, 2016c).

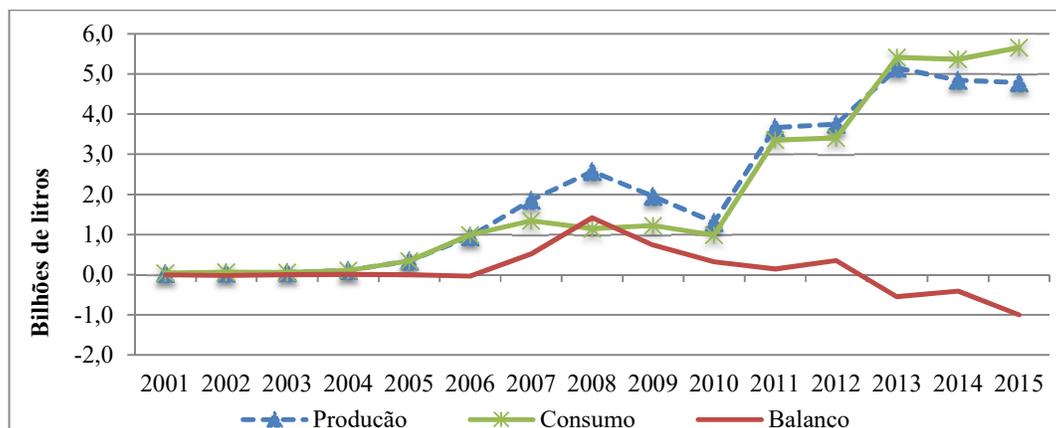


Gráfico 21 - Produção, consumo e balanço de biodiesel nos EUA – 2001-2015
Fonte: EIA (2016c)

Pode-se observar que a produção de biodiesel cresceu de um valor mínimo em 2001 para 4,8 bilhões de litros em 2015. As exportações alcançaram um pico em 2008, em grande parte devido a um crédito fiscal de biodiesel na União Europeia, e caíram depois que o efeito foi eliminado. A produção e o consumo a partir de 2010 destinaram-se, em grande parte, a atender a RFS. Desde 2013, os níveis de produção e consumo têm se mantido relativamente estáveis (AFDC, 2016).

4.4.2 Alemanha

A Alemanha é um dos principais países produtores e consumidores de biodiesel, conforme observado. No modelo alemão, o éster é obtido a partir do óleo da colza, oleaginosa plantada com o objetivo de promover a nitrogenação natural do solo cultivado com o trigo. A extração do óleo gera farelo proteico, cuja destinação é a ração animal.

O desenvolvimento da indústria alemã de biodiesel desde os anos 1990 ocorreu em taxas extraordinárias. Dentre os fatores-chave para esse desempenho, IEA (2002) destaca aspectos diretamente relacionados à política agrícola. Observou-se no país uma perfeita coordenação entre os interesses comuns dos agricultores alemães e os produtores de

sementes de colza dentro da recém-fundada UFOP¹²⁶. Também contribuiu a reação à "Política Agrícola Comum" da União Europeia, que exigiu a retirada de 15% das terras usadas para a produção de alimentos em 1992. O chamado subsídio para desativação de áreas, fornecido para que os agricultores diminuíssem os excedentes agrícolas, promoveu indiretamente o cultivo de oleaginosas para a produção do biodiesel. Reconhecido como produto não-alimentício, observou-se a expansão dinâmica da área cultivada de colza não-alimentícia nas áreas desativadas e um impressionante aumento do rendimento de óleo por hectare.

Outros pontos relevantes apontados por IEA (2002) referem-se à participação da indústria alemã de automóveis, o que resultou em garantias para a frota de veículos e o estabelecimento de normas de controle de qualidade do biodiesel (padrões DIN), como base para a criação de confiança na indústria automobilística.

Cabe ressaltar que a produção e o uso de biodiesel na Alemanha também foram incentivados através de redução tributária e pela legislação ambiental.

O Gráfico 22 apresenta a evolução da produção e do consumo de biodiesel na Alemanha para o período 2003 a 2015.

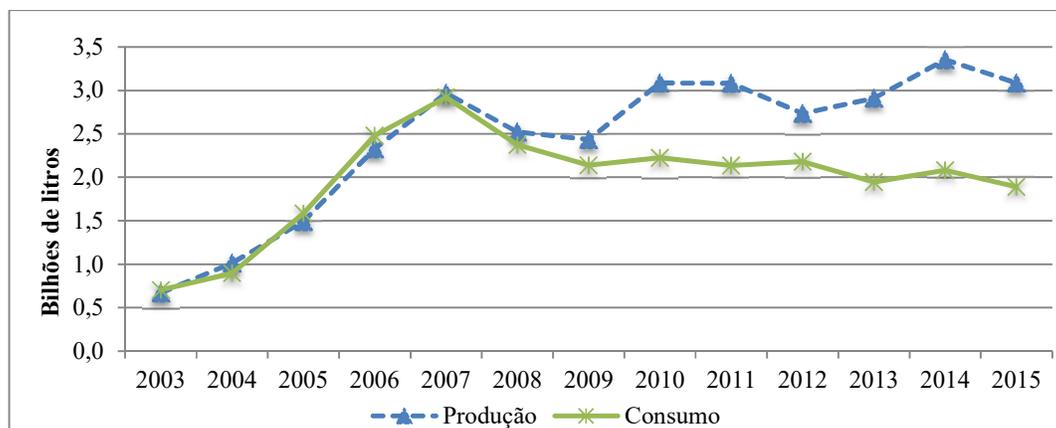


Gráfico 22 – Produção e consumo de biodiesel na Alemanha – 2003-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de DESTATIS (2016) e UFOP (2016)

¹²⁶ UFOP (sigla do alemão *Union Förderung von und Oel- Proteinpflanzen*). A União para a Promoção de Óleos e Proteínas Vegetais é uma associação alemã fundada em 1990, como uma aliança entre as organizações de agricultores e as empresas para a moderna criação e produção de sementes. Representa os interesses políticos de empresas, associações e instituições que estão envolvidas na produção, processamento e comercialização de óleo e proteína em comitês nacionais e internacionais (UFOP, 2015).

4.4.3 Argentina

Na Argentina, o uso obrigatório de biodiesel foi estabelecido pela Lei nº 26.093, de 2006. A principal regulamentação sobre biocombustíveis no país determinou a obrigatoriedade de adição de biodiesel ao diesel a partir de janeiro de 2010 em um teor de 5% em volume. Naquele mesmo ano o percentual mandatório foi ampliado para 7%. Em dezembro de 2013, o Governo anunciou o aumento do teor para 9% em janeiro e 10% em fevereiro de 2014, e determinou uma mistura de 10% para a utilização em centrais termelétricas. De acordo com a USDA (2016a), tais metas não chegaram a ser alcançadas, sendo 8,4% o teor médio efetivo de adição de biodiesel em 2015.

Quase todo o biodiesel argentino é obtido a partir do óleo de soja processado pelas enormes plantas de esmagamento concentradas em torno da cidade de Rosário (USDA, 2014). Somente algumas pequenas usinas empregam óleo residual. Ressalta-se que, no médio prazo, não existe outra matéria-prima que possa ser utilizada para produzir o biodiesel em volumes significativos. A Argentina é um dos três principais produtores de soja do mundo e o primeiro exportador de farelo e óleo de soja. Cabe registrar que o maior consumo doméstico de óleo de soja destina-se à produção de biodiesel.

A capacidade de produção de biodiesel na Argentina começou a ser instalada em 2007, quando grandes esmagadores de grãos perceberam a oportunidade de agregar valor ao óleo vegetal e de exportar biodiesel para a UE. Esta evoluiu para 5,4 bilhões de litros em 2015. Em 2015, havia 38 usinas de biodiesel no país, sendo mais de 70% desse total pertencentes às dez maiores corporações (USDA, 2016a). Estas são companhias internacionais e / ou grandes empresas argentinas que já operam no setor de grãos há muitos anos, com usinas totalmente integradas ao esmagamento de oleaginosas e, para os quais, o biodiesel não é seu principal negócio. Essas grandes instalações são responsáveis por quase toda a exportação argentina.

O restante da capacidade instalada naquele mesmo ano estava distribuído em 28 empresas com plantas cuja capacidade situa-se entre 12 a 110 milhões de litros de biodiesel por ano (USDA, 2016), responsáveis pela maior parte do atendimento ao obrigatório argentino. As pequenas usinas tipicamente precisam comprar a matéria-prima de terceiros e têm custos de produção mais elevados do que as grandes. O governo argentino estabeleceu preços mais elevados para o biodiesel fornecido por elas para o cumprimento do mandato local (USDA, 2014). Desde 2007, os investimentos na indústria argentina de biodiesel

objetivavam as exportações para o cumprimento do mandato obrigatório de biocombustíveis da União Europeia. O país vinha, então, sendo o principal exportador mundial de biodiesel de soja, com a maior parte das exportações tendo como destino a UE. No entanto, em 2013 a União Europeia impôs sanções à Argentina com acusações de *dumping* no comércio de biodiesel. Foi estabelecido um direito de compensação médio de 24,6% por 5 anos nas importações de biodiesel da Argentina, o que fez com que estas caíssem para quase zero (USDA, 2014). Desta forma, o governo argentino apelou na OMC¹²⁷ e lançou uma série de medidas para promover a indústria de biodiesel local que incluem a redução no imposto de exportação, a redução temporária de impostos locais para o uso de biodiesel, o aumento do mandatório para 10% e o uso em centrais termelétricas.

A utilização da capacidade instalada variou entre 70 a 84% durante o período 2010-2012. Porém, tanto a restrição de exportação para a UE quanto o crescimento significativo da capacidade argentina observado entre 2013 a 2015, reduziram o fator de utilização para 40-55% nesse período. É importante destacar que, enquanto a maioria das pequenas usinas vem operando com a capacidade quase total para atender ao mandato local, algumas grandes plantas fecharam ou têm funcionado apenas alguns dias no mês.

A produção, consumo interno e balanço de biodiesel da Argentina para o período 2006-2015 podem ser observados no Gráfico 23.

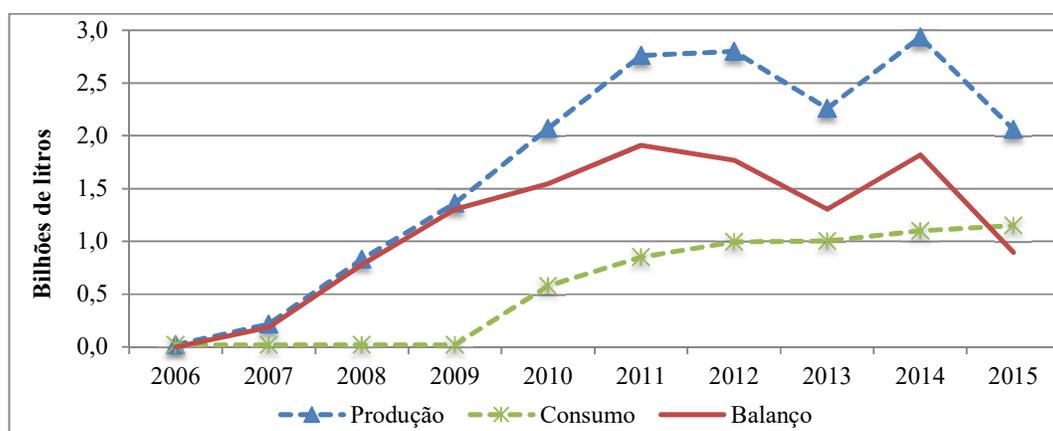


Gráfico 23 – Produção e consumo de biodiesel na Argentina – 2006-2015

Fonte: elaboração própria a partir de USDA (2016)

¹²⁷ Em março de 2016 a OMC decidiu-se a favor da Argentina e, então, cada país apelou dessa decisão. Cabe assinalar que a Espanha, principal importador, em maio de 2016 eliminou o bloqueio sobre o biodiesel importado da Argentina, o que deve favorecer mercado para esse produto (USDA, 2016b).

Cabe assinalar que o biodiesel argentino possui uma enorme vantagem competitiva, em decorrência da associação de diversos fatores: grande escala de produção, emprego de novas tecnologias, uso de plantio direto e biotecnologia de sementes, e logística favorável, já que a área de produção de soja é muito próxima da indústria e dos portos.

4.4.4 França

Na França, o conjunto de biocombustíveis substitutos ao diesel é muitas vezes agrupado com a denominação 'biodiesel', o qual compreende tanto o éster metílico de ácido graxo (o próprio biodiesel, na acepção desse estudo) como também o diesel renovável de síntese, ambos obtidos a partir de plantas oleaginosas ou de gorduras animais, mas que constituem produtos diferentes (MEEM, 2011).

O éster metílico de ácidos graxos é chamado EMAG, sigla do francês *Esters Méthyliques d'Acides Gras*. Dependendo da matéria-prima que lhe deu origem, esse biodiesel é denominado: EMHV (*Esters Méthylrique d'Huile Végétale*): obtido de óleos vegetais extraídos de oleaginosas; EMHA (*Esters Méthylrique d'Huile Animale*): produzido de gorduras animais; EMHU (*Esters Méthylrique d'Huile Usagée*): obtido de óleos vegetais residuais de alimentos. Já o diesel renovável de síntese pode ser obtido por hidrotreamento de óleo vegetal ou gordura animal, chamado de óleo hidrogenado ou HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) ou, ainda, obtido por processos termoquímicos, chamado de BTL (*Biomass to Liquid*).

Atualmente, o biodiesel é utilizado em mistura com o óleo diesel na França até um máximo de 7% em volume em uma mistura no diesel comercial e comercializado nos postos de abastecimento desde 2008.

O biodiesel também pode ser incorporado em até 30% em volume de óleo diesel (B30). Segundo o Ministério Francês do Meio Ambiente, da Energia e do Mar (MEEM, 2011), este combustível não pode ser comercializado nos postos de serviço, porque não é compatível com motores de muitos veículos a diesel em circulação. O B30 é reservado para uso em "frota cativa", isto é, para as frotas que têm a sua própria logística de abastecimento e distribuição e as condições de manutenção adequadas.

Há que se registrar que na França também é permitido o uso de óleo vegetal puro. A autorização é concedida aos produtores de oleaginosas para o consumo do óleo produzido em sua fazenda, em motores para seus tratores e outras máquinas agrícolas. Ademais, as comunidades locais podem usar, a título experimental, óleos vegetais puros ou misturados

em seus veículos não destinados ao transporte de passageiros. Para tanto, o Estado exige a assinatura prévia de um protocolo especificando as obrigações da inspeção regular e do monitoramento de veículos (MEEM, 2011).

O biodiesel já vinha sendo misturado com o diesel mineral na França há bastante tempo para aprimorar a baixa capacidade lubrificante do combustível diesel com baixo teor de enxofre e para melhorar as emissões atmosféricas, sobretudo pela remoção das mercaptanas, substâncias ricas em enxofre, muito nocivas à saúde.

A produção francesa de biodiesel utiliza principalmente a transesterificação metílica do óleo de colza, com uma pequena parcela de óleo de girassol.

O Gráfico 24 apresenta a evolução da produção e do consumo de biodiesel na França para o período 2006 a 2015.

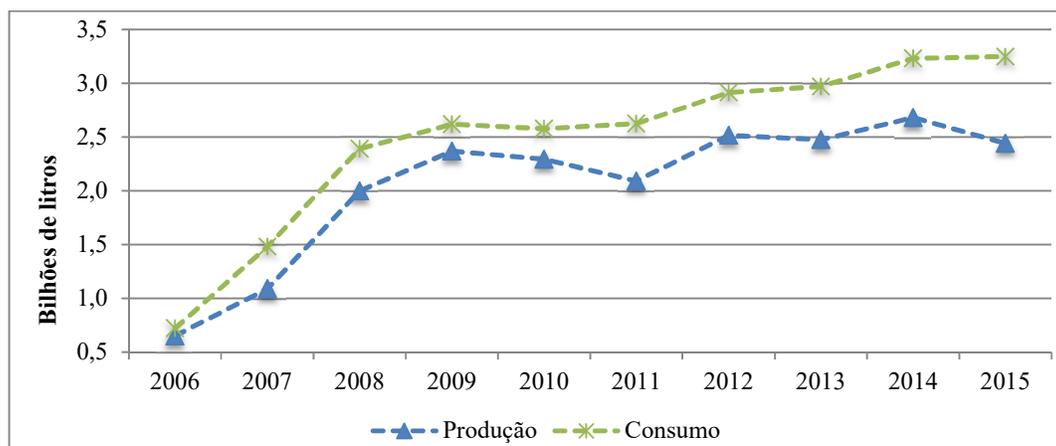


Gráfico 24 – Produção e consumo de biodiesel na França – 2006-2015
Fonte: elaboração própria a partir de USDA (2016a) e MEEM (2016)

4.5 A Experiência Brasileira

O Brasil é o segundo maior país produtor de biodiesel do mundo, somente antecedido pelos EUA. A inserção do biocombustível na matriz energética nacional foi estabelecida em 2005, conforme exposto.

De acordo com a Lei nº 11.097, a partir de janeiro de 2008, ao diesel comercializado no país, deveria ser adicionado o biocombustível. Inicialmente, a mistura conteria obrigatoriamente apenas 2%, alcançando 5% em 2013. No entanto, como instrumento de política pública, o Governo Federal antecipou o percentual de 5% para 1º de janeiro de 2010. Em 1º de novembro de 2014, o teor mandatório passou a ser de 7%, através da Lei nº 13.033/2014. Desde 1º de março de 2017¹²⁸, a adição obrigatória de biodiesel é de 8%, de acordo com a Lei 13.263/2016, que ampliou o percentual mandatório para 8%, 9% e 10% em, respectivamente, até 2017, 2018 e 2019.

Os leilões públicos de biodiesel são realizados com o objetivo de assegurar a compra e a entrega do biocombustível pelas refinarias e importadores de óleo diesel para o atendimento ao teor mandatório de adição de biodiesel estabelecido pela Lei vigente, e também para fins de uso voluntário. Até dezembro de 2016, foram realizados pela ANP 51 leilões de biodiesel, cujos resultados são apresentados no Gráfico 25.

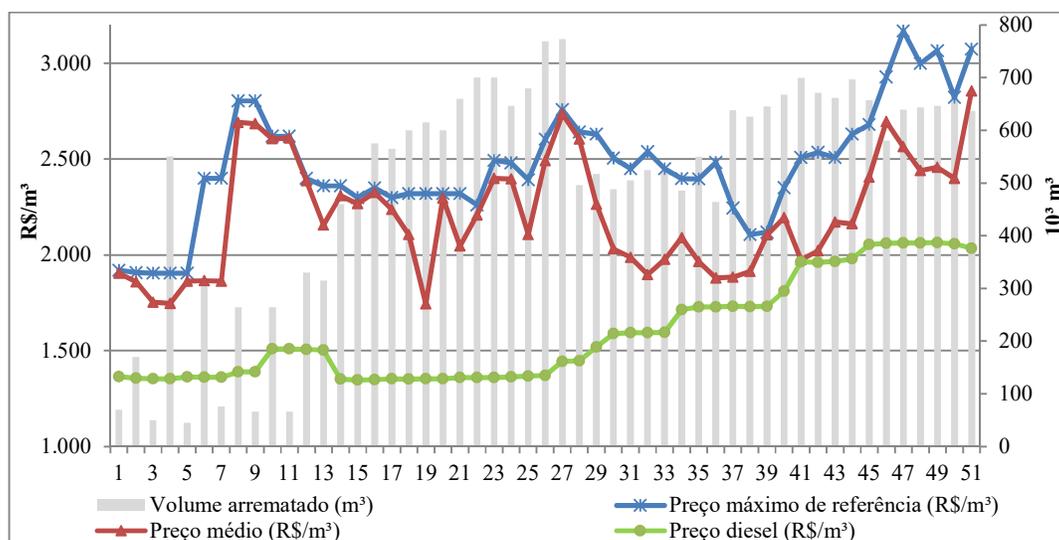


Gráfico 25 – Leilões de biodiesel ANP – Preços (R\$/m³) e Volumes (m³)

*Preços no produtor de biodiesel (B100) e de diesel, mesma base (com PIS/Cofins e CIDE, sem ICMS).

Fonte: elaboração própria a partir de ANP (2016b)

¹²⁸ Resolução CNPE nº 11 de 14 de dezembro de 2016 (MME, 2017).

Cabe observar que os preços médios do biodiesel produzido no País encontram-se acima dos patamares do diesel mineral. Tomando-se os cinquenta e um primeiros leilões da ANP, os preços médios ficaram entre R\$ 1,74 e R\$ 2,86 por litro de biodiesel, enquanto o do diesel teve um valor médio em torno de R\$ 1,70 por litro desde o início da vigência do B5, em 2010 (16º Leilão).

Desde a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, em 2005, até dezembro de 2015, foram adicionados cerca de 21 bilhões de litros de biodiesel ao diesel fóssil consumido no país, conforme ilustra o Gráfico 26.

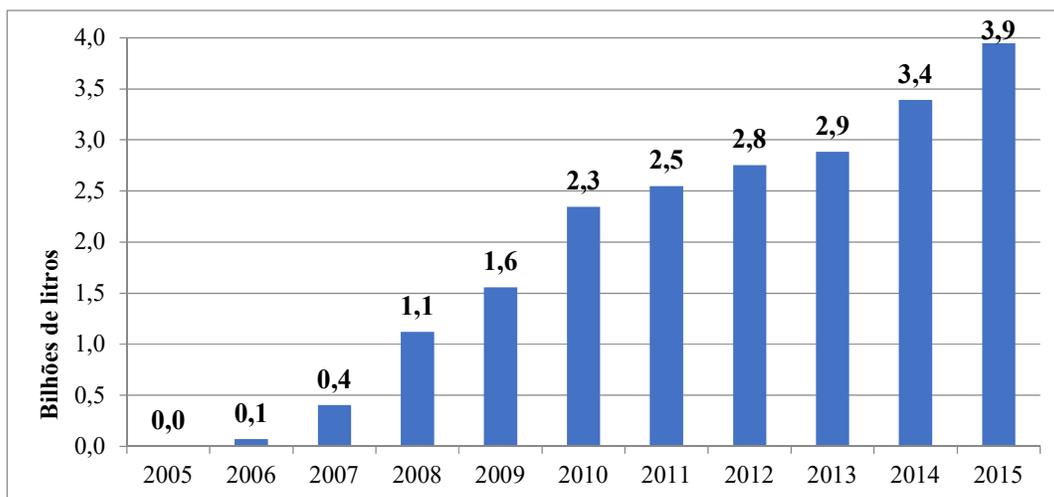


Gráfico 26 – Demanda nacional de biodiesel 2005-2015
Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2016a)

Na produção nacional de biodiesel, a exemplo do que ocorre mundialmente, o principal álcool empregado é o metílico. No intervalo compreendido entre 2005 a 2015, foram consumidos aproximadamente 2,5 bilhões de litros de metanol para a obtenção do éster, conforme os dados reportados no Balanço Energético Nacional (EPE, 2016a).

É interessante observar que os escopos traçados originalmente pelo Probi biodiesel restringiam somente o etanol como álcool a ser utilizado na reação de obtenção do éster, como mencionado no item 3.6.5. Cabe ponderar que o Brasil, àquela época, era o principal produtor de etanol do planeta. Desta forma, a criação de um novo mercado para o etanol traria como benefício colateral a produção de um biodiesel brasileiro “totalmente renovável”. Já o metanol, obtido principalmente a partir do gás natural fóssil, tem sido quase integralmente importado dos EUA¹²⁹.

¹²⁹ Os EUA concentram atualmente grande parcela da produção mundial do gás natural, dado o baixo preço do recurso estadunidense, em função do *boom* do *shale gas*.

Ainda em que pese a expressiva produção doméstica de etanol, razões de ordem técnica e econômica conduziram preferencialmente à rota metílica. O excesso de álcool para deslocar o equilíbrio da reação no sentido da formação do éster é muito maior no caso do álcool etílico do que metílico. Também a separação do glicerol é realizada bem mais facilmente no caso do éster metílico do que do etílico. Além disso, o etanol utilizado deve ser anidro, pois a água age como inibidor da reação e prejudica a reciclagem desse reagente. Ressalta-se, ainda, que a relação de preços etanol versus metanol tem sido mais favorável a este último desde o início do PNPB, como apresenta o Boletim Mensal dos Biocombustíveis (MME, 2016).

É importante também destacar o papel da glicerina resultante da produção brasileira de biodiesel. Coproduto obtido em uma proporção bastante significativa no processo de transesterificação, essa substância deve ser recuperada por uma série de motivos técnicos e econômicos, como exposto. No período 2005-2015, foram produzidos 2,1 bilhões de litros dessa substância na obtenção do éster no país, conforme ANP (2016c).

No que tange à capacidade instalada de produção, observa-se desde a introdução do biodiesel na matriz energética nacional uma significativa capacidade excedente, bastante superior à demanda do biocombustível, conforme ilustra o Gráfico 27.

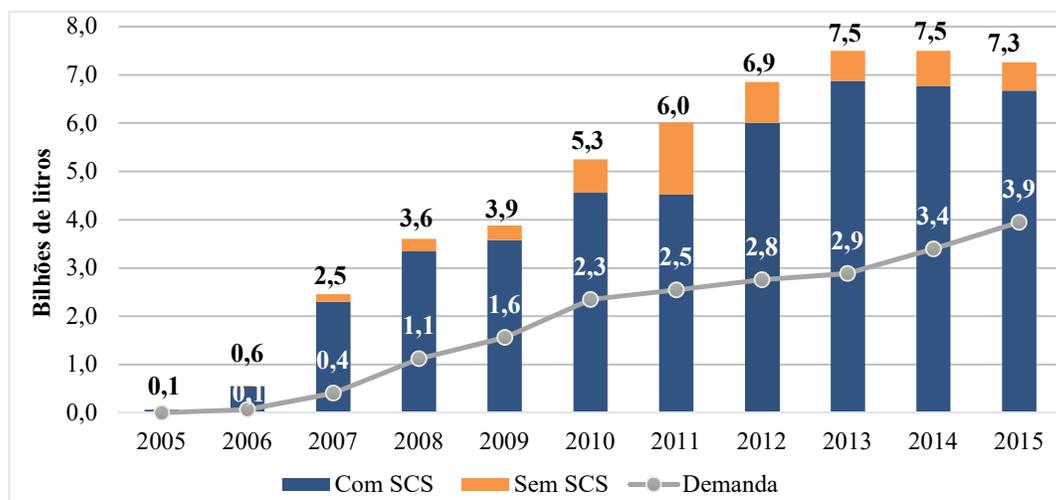


Gráfico 27 – Capacidade instalada vs Demanda de biodiesel no Brasil - 2005-2015
Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2016a) e ANP (2016c)

Pode-se observar que a capacidade instalada em 2008 já teria sido suficiente para o atendimento à demanda de biodiesel que foi observada somente no ano de 2014. Entretanto, apesar dessa notória diferença, o seu incremento continuou ocorrendo em taxas expressivas até 2013, ano a partir do qual se estabilizou. Assinala-se que a relação

entre a capacidade de processamento e a demanda de biodiesel mantém-se em um valor médio de 2,4, desde que se iniciou a obrigatoriedade em 2008. Deve-se ressaltar que a ociosidade da indústria de biodiesel é uma característica observada em nível mundial, como apresentado no item anterior.

Advoga-se que essa ampliação contínua da capacidade de processamento no Brasil foi consequência da expectativa do setor em que ocorressem consecutivos aumentos do mandatório. Ressalta-se, entretanto, que os investimentos industriais foram realizados majoritariamente por empresas verticalizadas do complexo da soja, cujo montante para instalar uma planta de produção de biodiesel representa somente uma pequena parcela do negócio.

A evolução da participação das diferentes matérias-primas graxas utilizadas na produção nacional de biodiesel para o período 2005-2015 é apresentada no Gráfico 28.

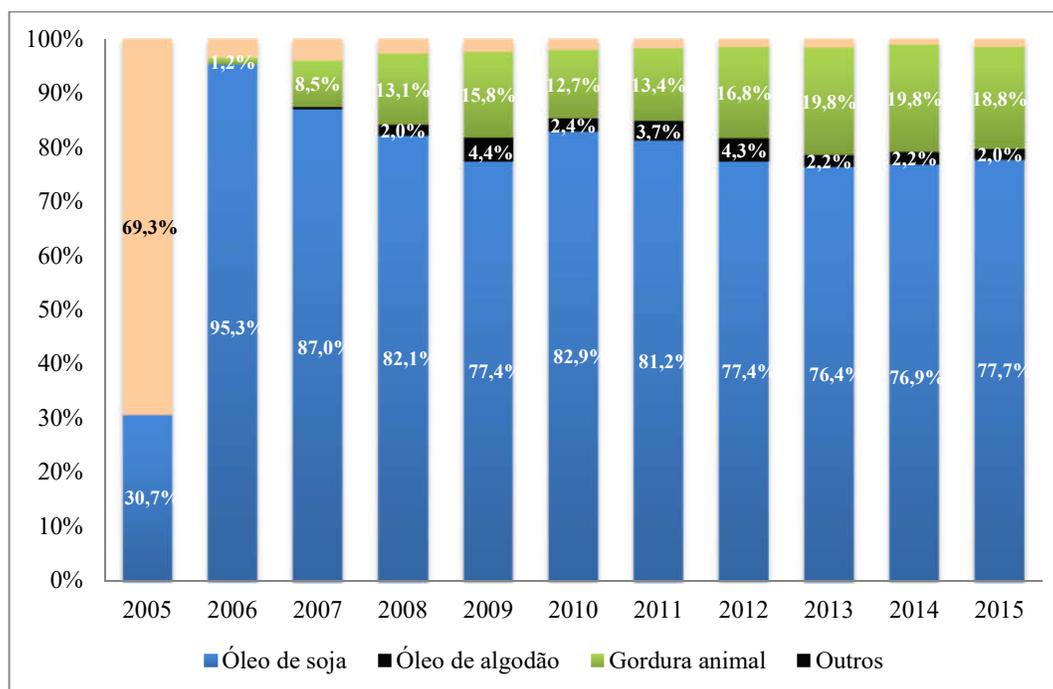


Gráfico 28 – Matérias-primas da Produção nacional de biodiesel 2005-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2016a)

Pode-se observar pelo gráfico anterior que o óleo de soja vem sendo a principal matéria-prima empregada na produção do biocombustível. O sebo bovino aparece com a segunda participação. Juntos, os dois insumos graxos vêm respondendo ao longo dos anos por cerca de 95% da produção. O óleo de algodão aparece na terceira colocação, mas com uma participação bastante tímida (inferior a 3%). A utilização dos óleos de mamona,

dendê e girassol, as outras oleaginosas destacadas pelo PNPB, não alcançou representatividade significativa no período observado.

4.5.1 Aspectos Econômicos

O Plano Nacional de Produção e Uso de Biodiesel resultou em um efeito positivo sobre a Balança Comercial do Brasil, com melhoria das contas externas. Dada a dependência energética do país em termos de diesel, o uso de biodiesel permitiu reduzir a lacuna existente entre a capacidade de oferta e as necessidades de consumo deste derivado em território nacional, o que representa cifras bastante elevadas, como visto adiante.

O Gráfico 29 apresenta, para o período 2005-2015, a evolução dos volumes e dispêndios incorridos com a importação de diesel mineral, o principal derivado de petróleo consumido no Brasil.

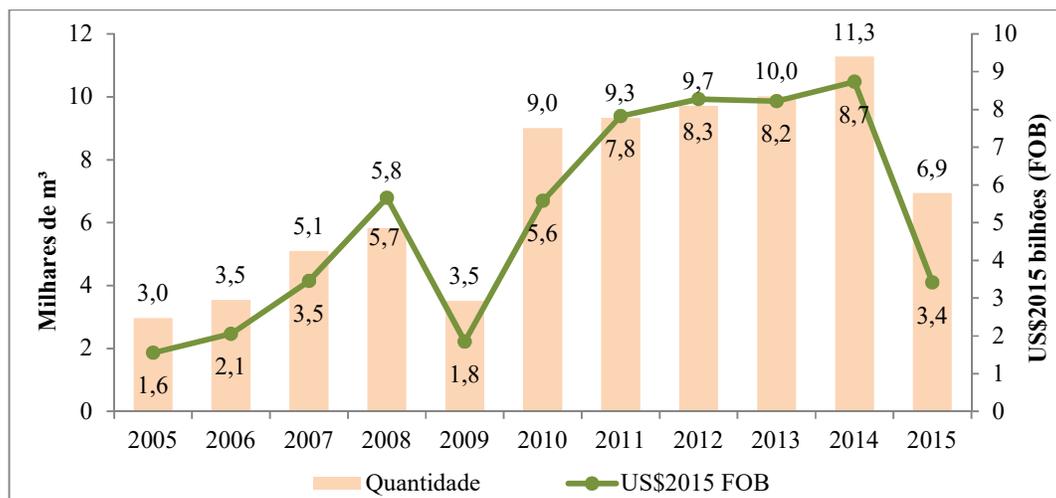


Gráfico 29 – Importação de diesel 2005-2015

Fonte: elaboração própria, com base em EPE (2016a), BLS (2016) e ANP (2016c)

No intervalo compreendido entre 2005 a 2015, foram importados cerca de 77 bilhões de litros de diesel mineral, totalizando um dispêndio aproximado de US\$₂₀₁₅ 56,6 bilhões, como se pôde observar pelo gráfico anterior.

Assumiu-se, por simplificação, a equivalência entre o biodiesel e o diesel fóssil, quando de sua utilização nos motores de combustão interna, levando em consideração diversas características dos combustíveis, como poder calorífico e número de cetano. Desta forma, pode-se estimar que o uso de biodiesel no período em análise permitiu evitar uma importação adicional de cerca de 21 bilhões de litros de diesel mineral, o equivalente a US\$₂₀₁₅ 15,1 bilhões em economia de divisas.

Adicionalmente, a exportação de glicerina oriunda da produção de biodiesel também tem impactado positivamente o Balanço de Pagamentos. O Gráfico 30 apresenta a evolução da glicerina gerada na produção de biodiesel, a glicerina total exportada¹³⁰ e a receita obtida com sua exportação para o período 2005-2015.

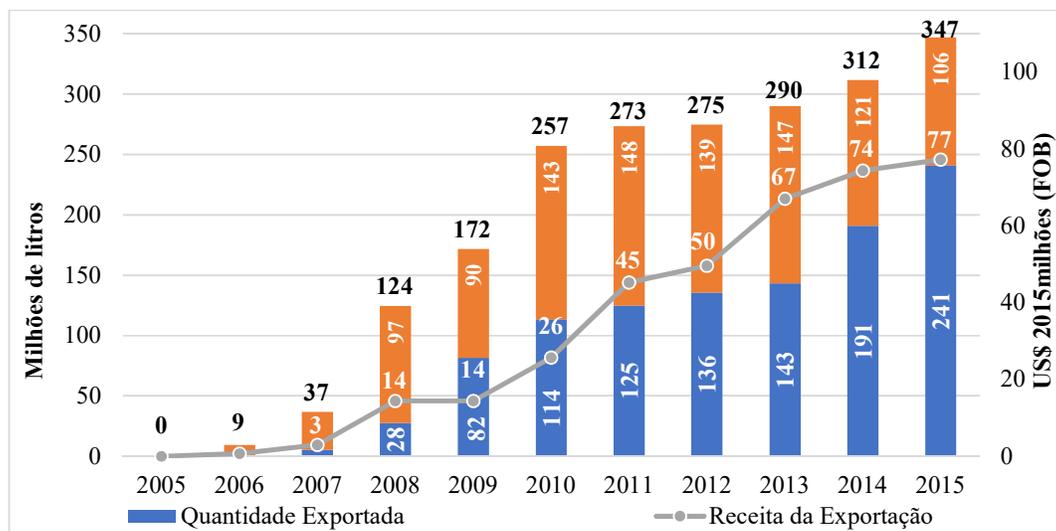


Gráfico 30 – Produção e Exportação de glicerina 2005-2015
 Fonte elaboração própria, com base em ANP (2016c), BLS (2016) e MDIC (2016)

Pelo Gráfico 30 anterior, pode-se depreender que no período 2005-2015 foram exportados 1,1 bilhão de litros de glicerina, totalizando uma receita de US\$₂₀₁₅ 370 milhões. É notória a curva de crescimento de exportação desse produto desde o início do PNPB, em 2005. Ademais, contrapondo o montante total de glicerina exportada pelo país (MDIC, 2016) ao total resultante da produção de biodiesel (ANP, 2016c), observa-se que as participações têm sido crescentes, alcançando um valor equivalente a cerca de 70% da glicerina coproduto do biodiesel em 2015.

Tabela 8 – Participação de glicerina (exportada Brasil / coproduto do biodiesel)

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0,3%	11,2%	14,8%	22,1%	47,5%	44,2%	45,7%	49,3%	49,3%	61,2%	69,5%

Fonte elaboração própria, com base em ANP (2016c) e MDIC (2016)

Cabe assinalar que, a partir de 2013, os montantes exportados de glicerol (glicerina purificada, de maior valor agregado) tiveram um crescimento bastante superior ao da glicerina bruta (que possui menor valor agregado) (MDIC, 2016).

Por outro lado, a produção de biodiesel requereu a importação de metanol, cujas quantidades e os dispêndios relativos para o período 2005-2015 são apresentados no

¹³⁰ Glicerina total exportada nas diferentes especificações (glicerina bruta e glicerol), conforme item 4.3.4.

Gráfico 31. Pode-se observar que no referido intervalo foram consumidos cerca de 2,5 bilhões de litros de álcool metílico, que representaram uma despesa de US\$₂₀₁₅ 1,2 bilhão.

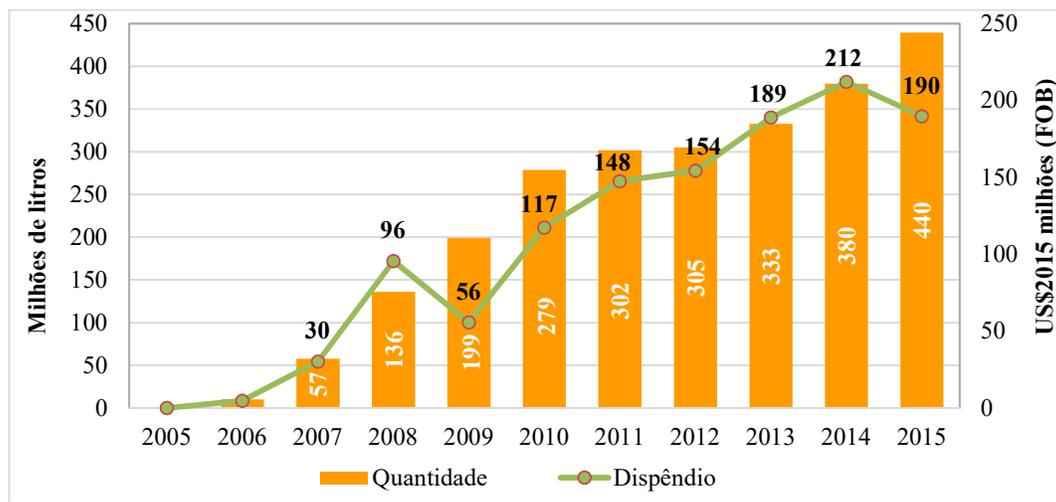


Gráfico 31 – Importação de metanol 2005-2015

Fonte elaboração própria, com base em EPE (2016a), BLS (2016) e MDIC (2016)

É importante destacar que a correta avaliação dos impactos da inserção do biodiesel na Balança Comercial do Brasil requer, fundamentalmente, a contabilização da perda de receita que teria sido obtida com a exportação do óleo de soja consumido na produção do biocombustível. Para realizar tal estimativa, considerou-se que, na ausência do PNPB, a exportação do óleo vegetal corresponderia aos volumes previstos pelo MAPA em seu estudo “Projeções do agronegócio 2006/2007-2016/2017”¹³¹ (MAPA, 2007). Deste total, foram descontados os valores efetivamente exportados pelo país (MDIC, 2016). Considerou-se, então, que a diferença resultante equivaleria ao total de óleo de soja que deixou de ser exportado em decorrência de sua utilização na produção de biodiesel. Os resultados obtidos são retratados no Gráfico 32 a seguir.

¹³¹ Avaliou-se como mais adequado utilizar o estudo do MAPA divulgado em 2007, considerando que nessa edição “não estava computada a possibilidade de a soja se tornar um produto para o biodiesel” (MAPA, 2007). Ademais, o início da obrigatoriedade do B2 ocorreria no ano seguinte à sua publicação, em 2008.

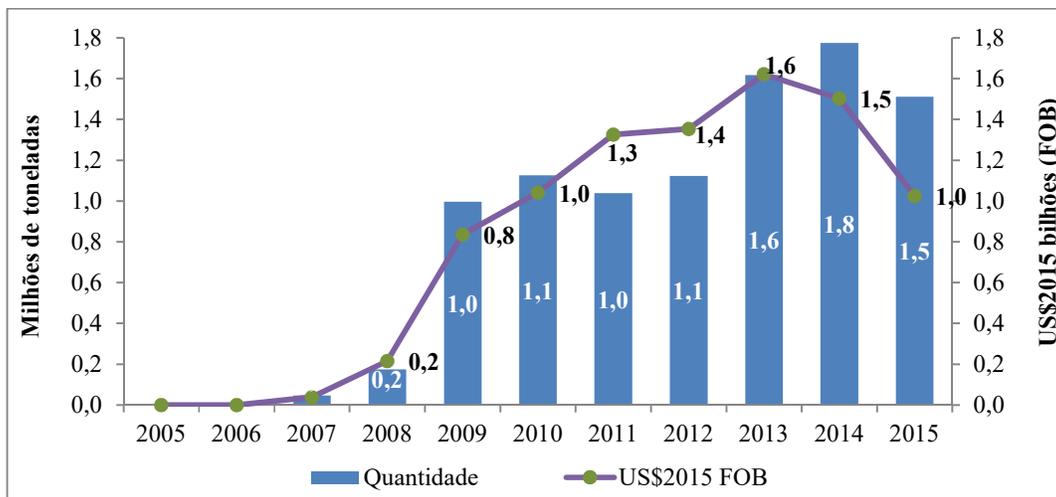


Gráfico 32 – Perda de receita - Exportação de óleo de soja 2005-2015

Fonte elaboração própria, com base em MDIC (2016), MAPA (2007), EPE (2016a) e BLS (2016)

Pelo Gráfico 32 anterior, pode-se depreender que, segundo a premissa assumida, no período 2005-2015 a redução na exportação de óleo de soja prevista pelo MAPA em decorrência de sua utilização na produção de biodiesel alcançou cerca de 10 bilhões de litros de óleo vegetal¹³². Este montante corresponde a uma perda de receita pelo Brasil de aproximadamente US\$₂₀₁₅ 9,0 bilhões.

Ressalte-se que, apesar do óleo vegetal ter um preço superior ao do diesel, no período em análise, suas cotações no mercado internacional têm seguido uma trajetória de desvalorização mais acentuada a partir de 2011, conforme gráfico a seguir. Desta forma, pode-se estimar que a produção doméstica de biodiesel contribuiu para a minimização dos efeitos desta perda¹³³.

Assim sendo, pode-se estimar que a participação do biodiesel na matriz energética nacional no período 2005-2015 resultou em ganhos na balança comercial do país que atingiram a quantia de US\$₂₀₁₅ 5,3 bilhões.

Além do impacto positivo sobre a Balança Comercial, é importante também destacar o ganho econômico associado à geração de emprego e renda decorrentes do Programa Nacional de Produção e Uso de biodiesel no Brasil, conforme será visto adiante.

É oportuno contabilizar o impacto na arrecadação nacional decorrente da renúncia fiscal relativa a CIDE e PIS/Pasep e Cofins como instrumento de política pública para o

¹³² Para os anos de 2005 e 2006, avaliou-se que a perda de receita foi nula, considerando tanto a pequena quantidade de óleo de soja consumida, quanto o fato da exportação efetivamente realizada em 2006, com o fechamento da safra, ter sido superior à prevista pelo MAPA em seu estudo (MAPA, 2007).

¹³³ Vale ressaltar que a produção de grão de soja que seria exportada e foi esmagada para ofertar óleo para a produção de biodiesel acarretou aumento na produção de farelo, que foi consumido internamente.

fomento do biocombustível. Em uma análise conservadora, considerou-se que a todo o biodiesel produzido no período 2005-2015 tenha sido aplicado o maior coeficiente de redução das alíquotas incidentes sobre os combustíveis, conforme exposto no item 3.6.9. O montante totaliza US\$₂₀₁₅ 1,1 bilhão neste intervalo. Desta forma, pode-se dizer que a produção e uso de biodiesel no Brasil neste período resultou em um benefício econômico na Balança Comercial do país que equivale a cerca de cinco vezes a renúncia fiscal concedida.

4.5.2 Aspectos Ambientais

A produção e uso de biodiesel estão associados a uma série de benefícios ambientais, como mencionado no início desse capítulo.

No que tange à poluição global, a substituição da queima do diesel fóssil pelo biocombustível propicia a redução na emissão de gases de efeito estufa, de acordo com o insumo que lhe deu origem, conforme apontado por ROSA *et al.* (2003). Os autores estimaram que o benefício ambiental no caso da utilização do biodiesel metílico de insumos novos é de 2,6 kgCO₂eq/L, enquanto o biodiesel metílico de insumos residuais evita 3,9 kgCO₂eq/L.

Desta forma, aplicando aos dados do BEN (EPE, 2016a) o primeiro fator de emissão ao total de biodiesel de soja, algodão, outras oleaginosas e outros materiais graxos consumidos no Brasil, e o segundo fator ao biodiesel de gordura animal (sebo, gordura de frango e de porco) e de óleo residual de fritura, é possível inferir, simplificada e, que no período 2005-2015, o consumo de 21 bilhões de litros de biodiesel proporcionou a mitigação de cerca de 60 milhões de toneladas de CO₂eq. Caso o montante evitado seja associado, exclusivamente, aos ganhos na balança comercial apresentados no item anterior, é possível inferir que, no período 2005-2015, o PNPB tenha acarretado um custo de abatimento negativo, ou seja, um benefício líquido, de emissão de GEE da ordem de US\$₂₀₁₅ 88/t CO₂eq.

Em relação à poluição local, é importante destacar que o uso de biodiesel também impacta positivamente o meio ambiente, promovendo uma melhoria na qualidade do ar, principalmente nos grandes centros urbanos, uma vez que sua combustão tende a emitir menores quantidades de gases poluentes na atmosfera.

EPA (2002) analisou os impactos do uso de misturas de biodiesel ao diesel sobre as emissões de escape (gases de exaustão), o que permitiu quantificar os efeitos sobre os

poluentes regulamentados. O estudo apresentou curvas de ajustes para quatro poluentes, evidenciando que o uso de B100 permite atingir o benefício de 67% de redução de hidrocarbonetos totais (HC) e 47% de redução de material particulado (MP) e de monóxido de carbono (CO), comparativamente ao óleo diesel. Por outro lado, as emissões de NO_x podem aumentar em até 10%.

Recentemente, GIAKOUMUS (2012) atualizou as estimativas da EPA (2002), comparando os resultados de estudos realizados até 2011 com várias misturas de biodiesel nos motores em funcionamento, possibilitando mensurar os efeitos sobre as emissões dos poluentes. Os resultados das pesquisas são comparados na Figura 3.

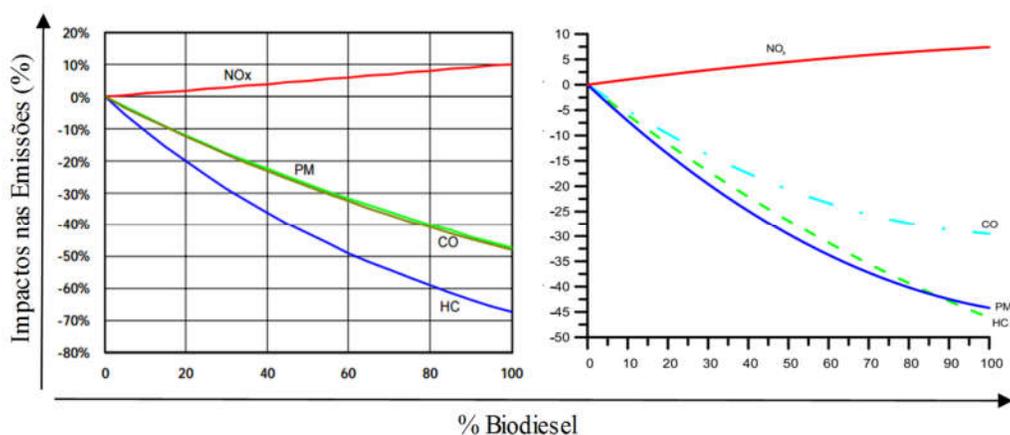


Figura 3 – Impacto nas emissões de poluentes para misturas de biodiesel
 Fonte: EPA (2002), GIAKOUMUS (2012)

Dada a contribuição desses poluentes (MP, HC e CO) para o surgimento e agravamento de doenças nas vias respiratórias, supõe-se que a melhoria na qualidade do ar decorrente da adição do biodiesel ao diesel tenha sido capaz de evitar custos relacionados à saúde com o advento do PNPB, ainda em que pese o pequeno incremento nas emissões de NO_x.

Nesse sentido, SALDIVA *et al.* (2010) abordaram a relação entre os efeitos adversos da poluição do ar sobre a saúde humana, os quais compreendam diferentes níveis de gravidade, desde um desconforto vago até a morte, mas os autores apontam que “é provável que os coeficientes relacionando prejuízo à saúde humana com poluição atmosférica estejam subestimando os efeitos reais”. O estudo destaca a forte associação do material particulado fino com os efeitos adversos à saúde e indica que “as emissões de veículos diesel respondem por cerca de 25% das concentrações deste poluente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro”.

Para diferentes cenários de substituição de diesel na Região Metropolitana de São Paulo, SALDIVA *et al.* (2010) apresentaram: os impactos na concentração ambiental de material particulado inalável fino (MP2,5), o potencial anual de variação da mortalidade e o da morbidade, com respectiva valoração econômica, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Redução de MP2,5 versus Potencial anual de variação da mortalidade e morbidade na Região Metropolitana de São Paulo

PM2,5 Redução	Mortalidade Anual		Morbidade Anual*	
	Quantidade	US\$	Quantidade	US\$
até 2%	37	6.630.000	224	630.000
até 3%	75	13.450.000	450	1.260.000
até 4%	112	20.080.000	675	1.890.000
até 13%	373	66.890.000	2.270	6.380.000
até 25%	745	133.600.000	4.588	12.860.000

* (internações hospitalares)

Fonte: elaboração própria a partir de SALDIVA *et al.* (2010)

Associando-se os dados da tabela anterior aos valores correspondentes de redução de MP (EPA, 2002 e GIAKOUMUS, 2012) resultantes do uso de misturas de biodiesel ao diesel é possível estimar, simplificadamente, o impacto do PNPB sobre a mortalidade e morbidade na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Infere-se que o uso de biodiesel no período 2005-2015 permitiu evitar cerca de 700 mortes e mais de quatro mil internações, a um custo de 140 milhões de dólares, somente nessa localidade. Estendendo-se tal análise à população das demais Regiões Metropolitanas do Brasil¹³⁴, pode-se estimar que este montante alcance cerca de 3.200 mortes evitadas, 19.500 internações, e um custo de 630 M US\$ no período.

4.5.3 Aspectos Sociais

Em relação ao aspecto social da inserção da agricultura familiar no processo produtivo do biodiesel, é importante destacar o papel desempenhado pelo Selo Combustível Social, concedido pelo MDA à usina que trabalha em parceria com os agricultores familiares.

O agricultor familiar no Brasil é caracterizado de acordo com os critérios estabelecidos por intermédio da Lei 11.326, de 24 de julho de 2006, denominada Lei da Agricultura Familiar, destacadamente aqueles relacionados à extensão da área da propriedade rural e às origens da renda familiar e da mão-de-obra contratada (BRASIL, 2006).

A posse do SCS permite a participação em lote reservado dos leilões e possibilitou alíquotas diferenciadas de tributos federais incidentes sobre o biocombustível

¹³⁴ IBGE (2010; 2016b)

comercializado, conforme exposto. Como resultado, observa-se que houve uma forte adesão do setor industrial ao SCS no Brasil: em novembro de 2016, 37 usinas de um total de 48 que possuíam autorização para comercialização de biodiesel eram detentoras do Selo (MME, 2016b). Estas usinas correspondiam a 92% da capacidade instalada do parque nacional em 2015.

A evolução do número de agricultores familiares desde o início da obrigatoriedade de adição do biodiesel ao diesel no Brasil é ilustrada no Gráfico 33. Pode-se observar que os números alcançados são bastante expressivos.

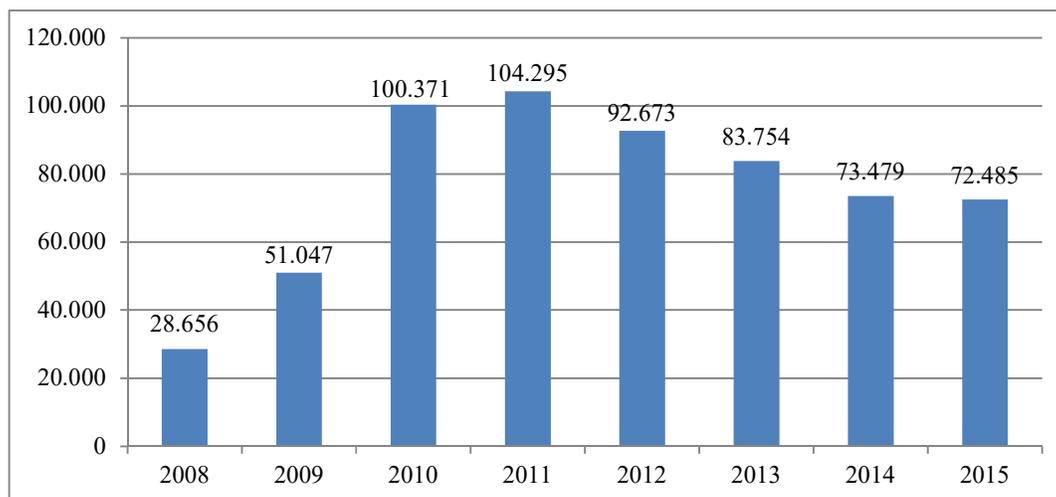


Gráfico 33 - Número de famílias fornecedoras nos arranjos do SCS 2008-2015

Fonte: MDA (2016b)

É importante também registrar a expressiva ampliação do número de cooperativas fornecedoras de matérias-primas através do SCS, que quadruplicou no período 2008-2015. Sua evolução é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Número de cooperativas fornecedoras nos arranjos do SCS 2008-2015

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
20	42	59	65	74	77	78	82

Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016b)

Ressalte-se que as cooperativas de produção agrícola contribuem para a superação dos tradicionais gargalos agrícolas, mercadológicos e gerenciais dos agricultores familiares, conforme descrito por MDA (2011) em sua Cartilha “Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial”. Através deste arranjo caracterizado por um maior nível de organização dos produtores, estes obtêm maior poder de negociação com as empresas, ganham em escala de produção, conseguem redução de

custos de logística, transporte e armazenagem e alcançam maior acesso a insumos e a assistência técnica.

A trajetória da quantidade e do valor desembolsado para a aquisição de matérias-primas oriundas da agricultura familiar no âmbito do Selo Combustível Social é apresentada no Gráfico 34.

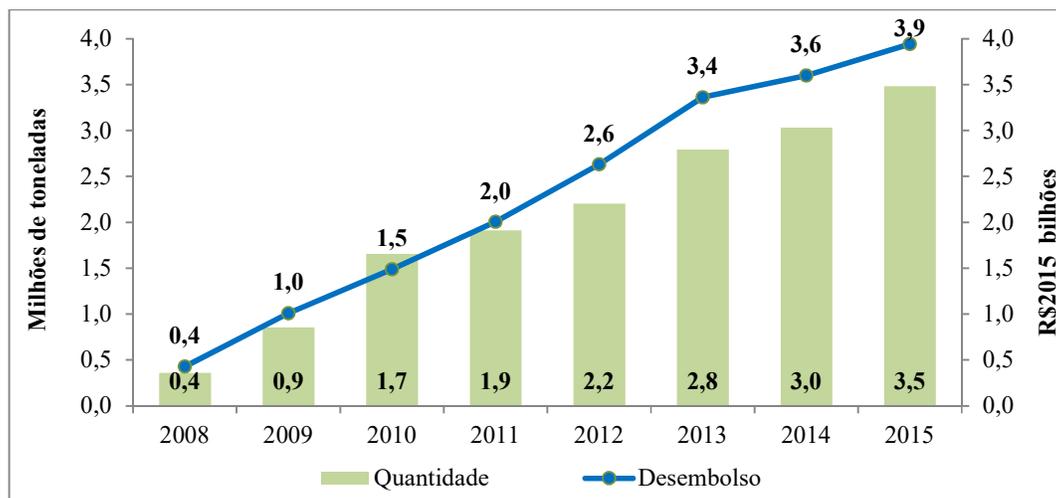


Gráfico 34 - Aquisição de matéria-prima para biodiesel em arranjos do SCS 2008-2015
Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016) e IBGE (2016a)

No período 2008-2015 foram adquiridas 16,3 milhões de toneladas da agricultura familiar, totalizando um desembolso de R\$₂₀₁₅ 18,5 bilhões. Oportuno observar que, desde o início da vigência do B5, de 2010 a 2015, a quantidade adquirida da agricultura familiar duplicou, evoluindo de 1,7 milhão de toneladas a 3,5 milhões, a uma taxa de 15,5%a.a.. Nesse mesmo período, o montante desembolsado passou de R\$₂₀₁₅ 1,5 a 3,9 bilhões, a uma taxa anual de 21,5%.

A partir dos dados apresentados, é possível estimar a receita média obtida pelos agricultores familiares beneficiados pelo Selo Combustível Social, conforme Gráfico 35.

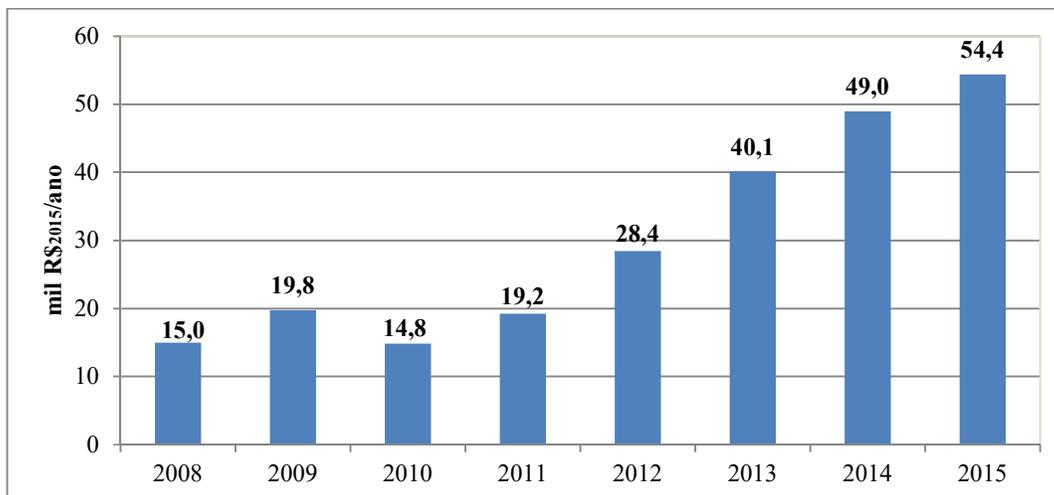


Gráfico 35 – Receita média da agricultura familiar através do SCS 2008-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016) e IBGE (2016a)

O Gráfico 36 contrapõe a evolução da produção nacional de biodiesel ao desembolso com aquisição da matéria-prima da agricultura familiar, demonstrando que o montante desembolsado cresceu a taxas mais elevadas (37,3 %a.a.) do que as da produção brasileira do éster (19,0 %a.a.) no período em análise.



Gráfico 36 – Produção de biodiesel vs Desembolso via SCS 2008-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016) e IBGE (2016a)

A mesma análise pode ser melhor visualizada no Gráfico 37. Pode-se observar que, enquanto em 2008, para cada litro do biocombustível produzido no país, R\$₂₀₁₅ 0,37 centavos foram direcionados para a agricultura familiar, este valor tem se mantido na faixa de R\$₂₀₁₅ 1 por litro de biodiesel desde 2012. Ressalte-se que este expressivo benefício é resultado da opção política adotada pelo Governo Lula pelo incentivo à agricultura familiar na origem do PNPB.

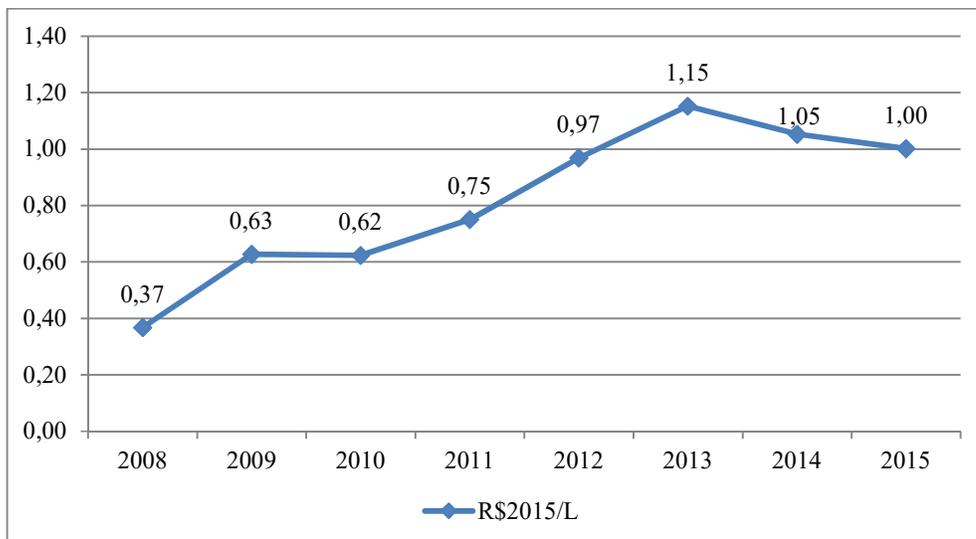


Gráfico 37 – Produção de biodiesel vs Desembolso via SCS no Brasil 2008-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016b) e IBGE (2016a)

Observe-se no período 2008-2015 a supremacia da participação da soja em relação às diferentes matérias-primas também na aquisição da agricultura familiar, conforme ilustra a Tabela 11.

Tabela 11 – Aquisição para biodiesel em arranjos do SCS, por matéria-prima 2008-2015

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Diversos	3,7%	4,4%	4,9%	0,8%	0,5%	0,3%	0,2%	0,4%
Soja	96,3%	95,6%	95,1%	99,2%	99,5%	99,7%	99,8%	99,6%

Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016b)

A participação das matérias-primas adquiridas da agricultura familiar é detalhada no Gráfico 38. Evidencia-se que, enquanto a aquisição da soja percorreu uma trajetória sempre crescente (alcançando 4 bilhões de reais em 2015), as demais oleaginosas foram crescendo até 2012, quando alcançaram seu ápice (81 milhões de reais) e caíram drasticamente para 20% desse valor no ano seguinte. A queda expressiva foi puxada pela mamona, cuja aquisição caiu de R\$65 milhões em 2010 para 10 milhões em 2011.

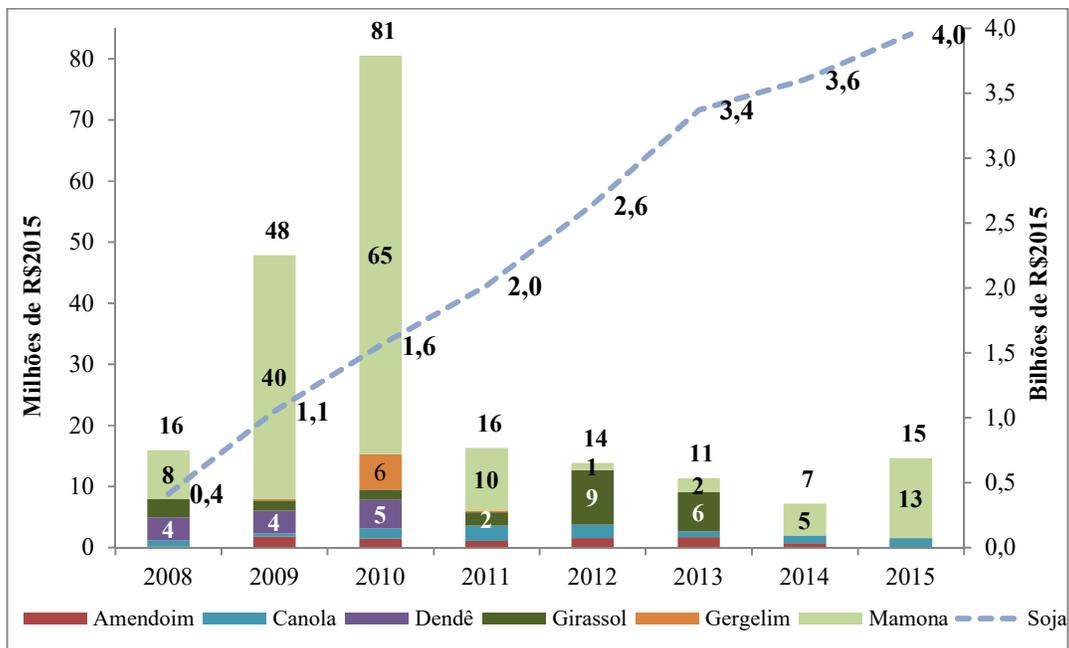


Gráfico 38 – Aquisição para biodiesel em arranjos SCS, por matéria-prima 2008-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016b) e IBGE (2016a)

4.5.4 Aspectos Regionais

A evolução da participação das diferentes regiões geográficas na produção e na demanda nacional do biodiesel é ilustrada no Gráfico 39 e no Gráfico 40. Pode-se observar que, desde o início da obrigatoriedade legal, em 2008, as regiões Centro-Oeste e Sul são responsáveis por 31% do consumo do biocombustível no país (valor médio do período). Entretanto, produzem mais do que o dobro da sua demanda, expressivos 76% da produção brasileira. Por outro lado, Norte e Nordeste, que representam 26% da demanda, produzem menos do que a metade do seu consumo, apenas 11% do biodiesel, em média.

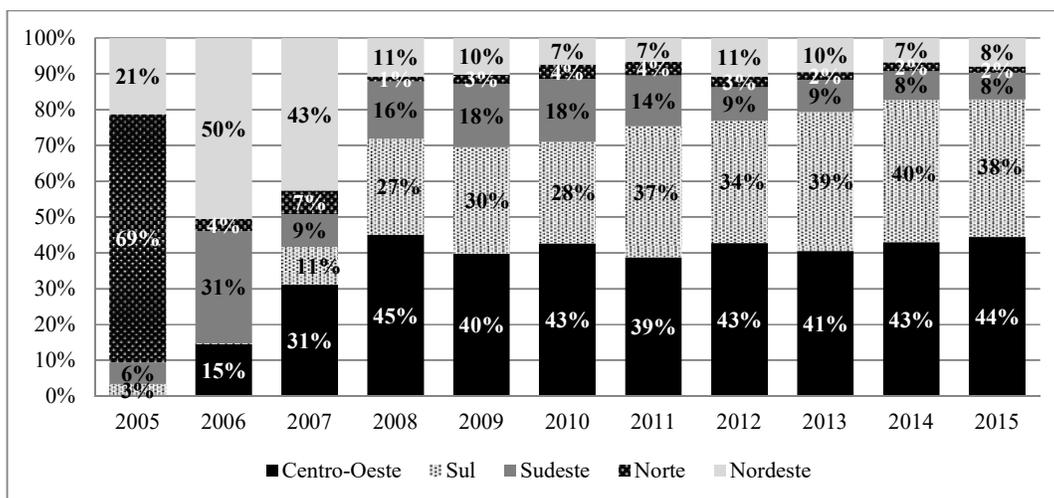


Gráfico 39 – Participação regional na produção de biodiesel no Brasil 2005-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de ANP (2016c)

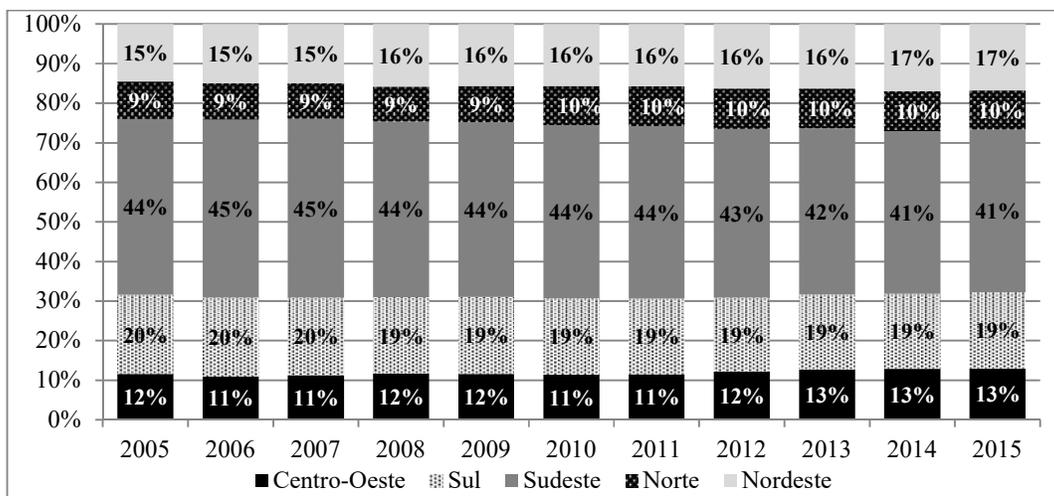


Gráfico 40 – Participação regional na demanda de biodiesel no Brasil 2005-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de ANP (2016c)

O Gráfico 41 ilustra a evolução da participação das diferentes regiões geográficas no número de famílias fornecedoras do PNPB para o período 2008-2015.

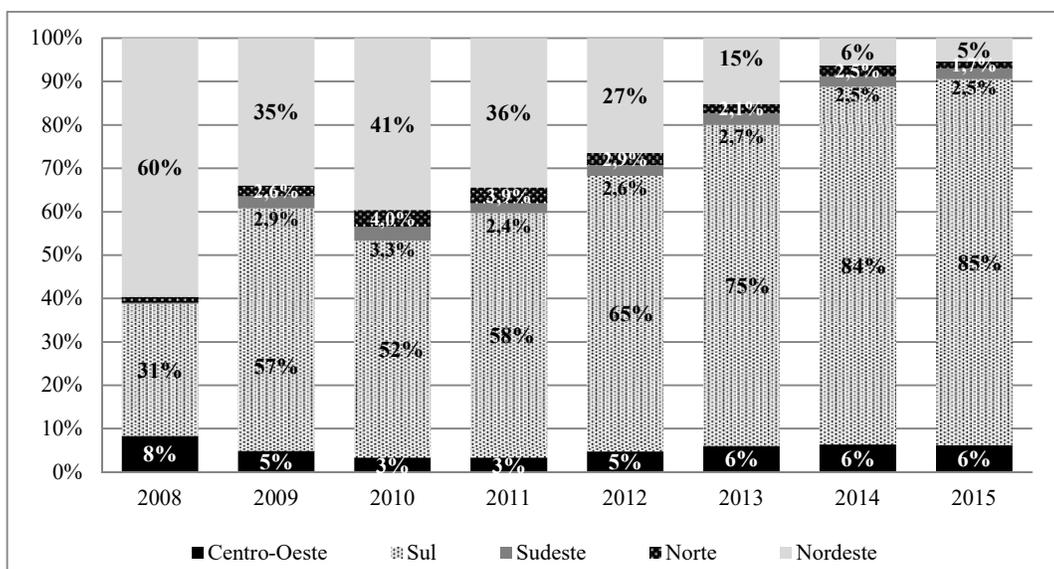


Gráfico 41 – Participação regional da agricultura familiar em arranjos SCS - 2008-2015
 Fonte: elaboração própria a partir de MDA (2016b)

As informações apresentadas permitem concluir que a venda de matérias-primas para a produção de biodiesel como instrumento de geração de renda tem beneficiado principalmente a agricultura familiar das regiões Centro-Oeste e Sul.

É oportuno assinalar a evidente heterogeneidade da agricultura familiar entre as regiões geográficas do país. Essa dessemelhança é decorrente, em grande medida, das vastas dimensões do território, o que possibilita a existência de diferentes biomas e sua

adequação para culturas específicas. Por outro lado, também foi resultado do processo histórico de desenvolvimento social e econômico, em que as políticas direcionadas à agricultura nacional “apresentaram caráter protecionista, creditício e exclusivista, privilegiando somente uma minoria dos agricultores brasileiros, aqueles voltados para os setores exportadores”, conforme apontado por Machado (2015).

Nesse contexto, pontua-se que nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, os agricultores familiares possuem um grau de organização e tecnologia bastante superior aos das regiões Norte e Nordeste. Ademais, os envolvidos no PNPB são basicamente produtores de soja. Como resultado dessas associações, esta oleaginosa veio a se tornar a principal matéria-prima adquirida via SCS, conforme item 4.5.3. Isso indica a importância dos agricultores familiares da soja no PNPB.

Cabe ponderar que, pelas regras do SCS, não é obrigatório que a oleaginosa adquirida da agricultura familiar seja empregada na produção do biodiesel. O uso mandatório é necessário, sim, para a obtenção das alíquotas diferenciadas do PIS/PASEP e Cofins¹³⁵. Assim sendo, estima-se que na produção de biodiesel das empresas que adquiriram matéria-prima da agricultura familiar, tenha sido utilizado o óleo de soja, cujo preço é inferior ao das demais oleaginosas. Desta forma, supõe-se que as demais matérias-primas adquiridas para a obtenção do Selo tenham sido direcionadas para outra alternativa economicamente mais interessante.

Pedroti (2013) avaliou a forma com que o arranjo político-institucional do PNPB contribuiu para o alcance da inclusão da agricultura familiar na cadeia de produção. A autora aponta diversos avanços sociais obtidos regionalmente. No Centro-Oeste, ocorreu o aumento da renda dos agricultores, a inclusão de assentamentos da reforma agrária e a introdução do cooperativismo. Na região Sul, houve a criação de uma opção de mercado adicional para os agricultores familiares tradicionais e o aumento do cooperativismo. Já na região Nordeste, observou-se a valorização do preço da mamona, através da criação

¹³⁵ A Lei 11.116/2005 estabeleceu a diferenciação da incidência do PIS/COFINS por matéria-prima, por região, por produtor - agricultor familiar ou não (BRASIL, 2005b). No entanto, a Instrução Normativa nº 1514 da Receita Federal do Brasil, de 20 de novembro de 2014 (IN RFB 1514/2014) dispôs que qualquer pessoa jurídica produtora de biodiesel pode descontar da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins os créditos presumidos, independentemente da matéria-prima empregada (RFB, 2014). Desta forma, pode-se inferir que o estímulo que havia à diversificação das oleaginosas foi eliminado, uma vez que tal regulamentação beneficiou o uso do óleo de soja, cuja cadeia de produção é altamente verticalizada.

de um novo mercado¹³⁶. Destaca-se também o papel desempenhado pela PBio – Petrobras Biocombustíveis, abrangendo o estabelecimento de contratos com os agricultores, capacitação e parcerias técnicas com instituições de pesquisa da região. Neste ponto, cabe ressaltar que das 48 plantas de biodiesel que tinham autorização para comercialização no país em 2016, as únicas usinas em operação no semiárido brasileiro eram da PBio.

4.6 Conclusões

As considerações feitas neste capítulo mostram que o aproveitamento do biodiesel é uma realidade mundial, sendo empregadas tecnologias de produção que já possuem maturidade e escala de produção industrial, tanto nas regiões econômicas desenvolvidas, como Estados Unidos e União Europeia, quanto em países em desenvolvimento, como Brasil e Argentina.

Os insumos graxos utilizados na obtenção de biodiesel, que representam a maior parcela, podem ser encontrados em óleos vegetais (novos ou residuais), gorduras animais, resíduos industriais ou no esgoto sanitário. O biocombustível produzido deve possuir características físico-químicas similares ao diesel de petróleo, que possibilitem a substituição do fóssil. Assim, são estipulados padrões de qualidade, definidos pela norma técnica vigente em cada país, objetivando garantir a qualidade do biocombustível, o bom funcionamento dos motores e veículos, bem como a preservação ambiental.

Existem diferentes rotas de produção do biodiesel, sendo essencialmente função da matéria-prima graxa a escolha daquela que será empregada. Foram abordadas nesse capítulo as rotas de esterificação e transesterificação, através de catálise básica, ácida e enzimática, além da transesterificação em meio supercrítico. Evidenciou-se que a tecnologia da transesterificação metálica através de catálise alcalina é a que possui o maior grau de desenvolvimento, sendo também a mais largamente empregada no mundo. As justificativas residem essencialmente em: baixo custo dos catalisadores, altas taxas de conversão, rápida cinética da reação e fácil separação dos produtos.

As principais matérias-primas utilizadas na produção mundial de biodiesel são o óleo de soja, de colza e o de dendê. Cabe assinalar que, para a obtenção do óleo vegetal, é necessário o esmagamento da oleaginosa, gerando um farelo de biomassa residual. Ressalte-se que a principal fonte de receitas financeiras dos cultivos oleaginosos

¹³⁶ Anteriormente ao PNPB, apenas a indústria ricinoquímica comprava a mamona na região. “*Na safra 2004-2005, a última que antecedeu o início do PNPB, o quilo da mamona foi comercializado com valor entre R\$ 0,25 e R\$ 0,35 (...). Já na safra 2011-2012, o preço mínimo (...) foi R\$ 0,78*” (PEDROTI, 2013).

comumente não consiste no óleo vegetal, que representa apenas um coproduto, mas sim na sua fração proteica, que pode ser aproveitada para fins alimentícios, humanos ou animais, ou mesmo energéticos. Na obtenção de biodiesel, são gerados outros subprodutos para os quais é adequado encontrar destinação, por razões de natureza técnica, ambiental ou econômica. Neste sentido, o aproveitamento econômico e comercial da glicerina obtida no processo de transesterificação, deve fazer parte da estratégia de negócios da produção do biodiesel. A glicerina purificada tem grande aplicação nos setores de cosméticos, higiene pessoal, alimentos e medicamentos.

O biodiesel é o biocombustível que tem apresentado a maior taxa de crescimento no mundo, conforme NREL (2016). Credita-se esse nível de progresso à adoção de uma política de estímulo ao estabelecimento de uma indústria de biodiesel por intermédio de incentivos diretos do Estado em vários países, com mais proeminência na Alemanha, França, EUA, Argentina, Brasil, entre outros. A União Europeia (UE) permanece como o principal produtor regional do biocombustível, resultado de incentivos fiscais robustos, principalmente na Alemanha e França, motivados inicialmente pelo aumento do preço do petróleo na década de 1990, e persistidos nas décadas seguintes também por seguridade energética e preocupações ambientais. Os Estados Unidos foram o principal país produtor em 2015. A produção comercial estadunidense somente começou no início dos anos 1990, apesar das atividades de pesquisa preexistentes. No final daquela década, uma série de iniciativas governamentais e apoio político foram marcantes para o acelerado crescimento da capacidade instalada e da produção de biodiesel, conforme exposto.

Diferentemente dos Estados Unidos e da Alemanha, que iniciaram a produção comercial já nos anos 1990, a França, a Argentina e o Brasil inseriram o biodiesel em suas respectivas matrizes energéticas somente a partir da segunda metade da década de 2000. Este fato não os impediu de estarem entre os principais atores globais dessa indústria, haja vista o notável crescimento da produção mundial na última década, cerca de oito vezes, evoluindo de 4 bilhões em 2005 para 30 bilhões de litros em 2015.

O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial desde 2012, apenas sete anos após a introdução do biodiesel em sua matriz energética, através da Lei 11.097 em 2005. No entanto, foi somente a partir de 2008 que passou a vigorar a exigência de ser adicionado o biocombustível ao diesel comercializado no país. Inicialmente, a mistura conteria obrigatoriamente apenas 2%, alcançando 5% em 2013. Não obstante, como instrumento de política pública, o Governo Federal antecipou o percentual de 5% para

2010. Desde 1º de março de 2017, a adição mandatória de biodiesel é de 8%, através da Lei nº 13.263/2016.

O óleo de soja vem sendo a principal matéria-prima empregada na produção nacional do biodiesel, representando em média 77% de participação nos últimos anos (2012 a 2015), com o sebo bovino com a segunda posição, com cerca de 19%. Assim, os dois insumos graxos vêm respondendo ao longo dos anos por cerca de 95% da produção. Já o óleo de algodão aparece na terceira colocação, mas com uma participação bastante tímida (inferior a 3%). A utilização de outras espécies de oleaginosas, como a mamona, a palma e o girassol, não alcançou representatividade significativa na produção nacional.

A indústria de biodiesel no Brasil está representada majoritariamente por empresas verticalizadas do complexo da soja. Assinala-se que a relação entre a capacidade de processamento e a demanda de biodiesel mantém-se em um valor superior a 2, desde o início da obrigatoriedade. Advoga-se que tal proporção é resultado da expectativa do setor em que ocorressem consecutivos aumentos do mandatório. Neste sentido, cabe ressaltar que a Lei 13.263/2016 ampliou o percentual mandatório para 9% e 10% em, respectivamente, até 2018 e 2019. Assim, observa-se que o papel do biodiesel no Brasil será cada vez mais relevante. Deve-se, porém, assinalar que a ociosidade dessa indústria é uma característica observada em nível mundial.

A penetração do biodiesel no Brasil resultou em benefícios econômicos, ambientais e sociais. No primeiro aspecto, houve um efeito positivo sobre a Balança Comercial do Brasil, com melhoria das contas externas. Dada a dependência energética do país na importação do diesel, o uso de biodiesel permitiu reduzir a lacuna existente entre a capacidade de oferta e as necessidades de consumo deste derivado em território nacional, o que representa cifras bastante elevadas. No período 2005-2015, os ganhos na balança comercial do país atingiram a quantia de US\$₂₀₁₅ 5,3 bilhões¹³⁷, considerando-se tanto a receita com a exportação de glicerina como os dispêndios com importação de metanol e a perda de receita que teria sido obtida com a exportação do óleo de soja.

¹³⁷ Considerando o impacto na arrecadação nacional decorrente da renúncia fiscal relativa a CIDE e PIS/Pasep e Cofins como instrumento de política pública para o fomento do biocombustível, o benefício econômico auferido pela Balança Comercial do país equivale a cerca de cinco vezes a renúncia fiscal concedida.

Quanto aos benefícios ambientais, os ganhos ocorrem em termos de redução do impacto global e também do local. Uma importante opção de mitigação do aquecimento global é o uso de energia renovável, a exemplo da substituição do diesel mineral pelo biodiesel. Para o período 2005-2015, estima-se que o consumo de 21 bilhões de litros de biodiesel proporcionou a mitigação de emissões de GEE em cerca de 60 milhões de toneladas de CO₂eq. Em relação à poluição local, avalia-se que, com o advento do PNPB, a redução de material particulado (MP), decorrente da adição do biodiesel, proporcionou o benefício de reduzir a mortalidade e a morbidade no país, evitando mais de 3.000 mortes e 19.000 internações nas Regiões Metropolitanas, assim como custos relacionados à saúde.

Além dos benefícios econômicos e ambientais, destaca-se a promoção de renda de pequenos agricultores a partir da inserção da agricultura familiar no processo produtivo do biodiesel, em função do Selo Combustível Social. A posse do SCS permite participar de lote reservado dos leilões e possibilitou alíquotas diferenciadas de tributos federais incidentes sobre o biocombustível comercializado. Como resultado, houve uma forte adesão do setor industrial ao SCS no Brasil: 92% da capacidade instalada do parque nacional em 2016. No período 2008-2015 foram adquiridas 16,3 milhões de toneladas da agricultura familiar, totalizando um desembolso de R\$₂₀₁₅ 18,5 bilhões.

Neste contexto, verifica-se o destacado papel do biodiesel como uma das fontes de energia limpa promissora para o mundo. Particularmente, para o Brasil, em função da sua extensão territorial e disponibilidade hídrica, coaduna-se com o enfrentamento de uma série de desafios de combate à desigualdade de renda e superação da dependência de importação de diesel mineral. A vocação do Brasil para a agricultura e o domínio tecnológico na produção do biocombustível, já desenvolvido e amadurecido nos últimos anos, proporcionam segurança no retorno da geração de benefícios que as políticas públicas de incentivo ao biodiesel e à agricultura familiar devem permanecer buscando.

Por sua vez, a tendência de gradual descarbonização da matriz energética global, em função das crescentes restrições ambientais ao uso dos combustíveis fósseis, induz a uma persistente elevação da taxa de crescimento das energias renováveis no mundo. O biodiesel, por ser um combustível líquido capaz de substituir o diesel mineral com pouca ou nenhuma adaptação nos motores ciclo diesel, se apresenta como uma importante fonte de energia a compor um cenário futuro de baixo carbono.

No Brasil, o PNPB conseguiu efetivamente concretizar a introdução do biodiesel na matriz energética, com implantação de capacidade de processamento e atendimento à

demanda crescente. Este resultado logrou ser obtido graças à contribuição da soja, oleaginosa que o Brasil é um dos principais produtores mundiais. Também deve-se a esta espécie a continuidade da participação da agricultura familiar na produção do éster perpassando os sucessivos aumentos do mandatório, sobretudo após os problemas enfrentados pela mamona em 2011. O incentivo à ampliação da participação de outros insumos graxos na cesta de alternativas de abastecimento energético brasileira pode contribuir significativamente para maiores benefícios, também em termos sociais e de desenvolvimento regional. Vale ressaltar que o país possui um dos maiores potenciais de produção de biocombustíveis do mundo. Registra-se também que essas características edafoclimáticas brasileiras reforçam o elenco de oportunidades creditado ao aproveitamento do biocombustível. Nesse contexto, as apreciações referentes às oportunidades para a ampliação sustentável da produção do biodiesel no Brasil conformam o percurso norteador do próximo capítulo.

5 Lições e Aprendizados para a Ampliação dos Benefícios da Inserção de Biodiesel na Matriz Energética Nacional

5.1 Introdução

Nesse capítulo, são apresentadas as principais barreiras e oportunidades postas a uma ampliação da produção sustentável do biodiesel na matriz de combustíveis líquidos brasileira, considerando as variáveis técnicas, econômicas e socioambientais. Para tanto, toma-se como referência:

- A estrutura de oferta/demanda do diesel mineral, considerando: (i) as implicações econômicas; (ii) a segurança no abastecimento nacional de combustível; (iii) as implicações socioambientais.
- O potencial de biocombustível a partir das especificidades regionais.
- A construção de cenários de substituição do diesel mineral pelo biodiesel.

O capítulo consolida um diagnóstico do PNPB, evidenciando o alcance das metas originais, no que diz respeito aos aspectos econômicos, ambientais e sociais. Em seguida, apresenta a natureza multidimensional do desenvolvimento sustentável e a importância da integração de seus pilares fundamentais e introduz a metodologia de análise multicritério, ferramenta que permite investigar um número de alternativas quando há concorrência entre vários critérios e objetivos, focando na Análise Envoltória de Dados - DEA.

Posteriormente, o capítulo apresenta um estudo de caso com a aplicação do método DEA às diferentes matérias-primas graxas que podem ser empregadas na produção sustentável de biocombustível no país, com vistas a hierarquizar tais insumos. Finalmente, aponta algumas possibilidades para a expansão sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil.

5.2 Diagnóstico do PNPB

O Relatório Técnico do Grupo de Trabalho Interministerial de Biodiesel recomendou um conjunto de ações essenciais para viabilizar a produção e uso do biocombustível no Brasil, conforme apresentado no Capítulo 3 (GTI, 2003). Dentre os objetivos iniciais do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel que foram elencados nesse documento, possuem grande relevância para a análise em curso os listados a seguir:

- *Sinalizar a opção política e socioeconômica adotada pelo País (...) para estimular a produção e o uso dessa fonte de energia renovável;*

- *Adotar a inclusão social e o desenvolvimento regional, especialmente via geração de emprego e renda, (...) sua produção e consumo devem ser promovidos de forma descentralizada e não excludente em termos de rotas tecnológicas, matérias-primas utilizadas, categorias de produtores, portes de indústria ou regiões;*
- *Inserir, de forma sustentável, a agricultura familiar nas cadeias produtivas do biodiesel como vetor para seu fortalecimento (...) visando a oferta de matérias-primas de qualidade e em escala econômica;*
- *Promover a realização de estudos técnicos objetivando identificar, qualificar e quantificar matérias-primas economicamente viáveis à produção de biodiesel em nível regional;*
- *Estabelecer normas, regulamentos e padrões de qualidade do biodiesel, inclusive quanto às emissões, de acordo com os diferentes usos a que se destina;*
- *Implementar políticas públicas (...) objetivando o aumento da eficiência na produção do biodiesel, incluindo as fases agrícola e agroindustrial.*

É importante destacar que a implantação do marco regulatório implementado na gestão do Presidente Luís Inácio Lula da Silva em 2005 estipulou as condições legais para a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, tanto com o objetivo de assegurar a produção do biocombustível, quanto com foco total em uma política de inclusão social e desenvolvimento regional.

A estrutura do PNPB foi desenhada fundamentando-se em três pilares básicos: a inclusão social por meio da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica, conforme descrito por Roussef (2004). Segundo a autora, que, naquela ocasião era Ministra de Minas e Energia e, futuramente, veio a se tornar a primeira mulher eleita Presidenta do Brasil¹³⁸, o desafio do projeto Biodiesel no Brasil era “implantar um projeto energético autossustentável, considerando preço, qualidade e garantia de suprimento do biodiesel, propiciando a geração de renda com inclusão social”.

Oportuno assinalar que, dado o enfoque do PNPB em promover a inclusão social e o desenvolvimento regional, o Programa foi arquitetado de forma a permitir, através de diferentes rotas tecnológicas, a utilização das diversas oleaginosas existentes no Brasil, de acordo com as potencialidades de cada região, visando reduzir as desigualdades econômicas entre elas. Ressalta-se, desde a concepção do Programa, a importância

¹³⁸ Dilma Vana Roussef foi eleita Presidenta do Brasil através do voto democrático e direto nas eleições de 2010, sendo reeleita em 2014 com a maioria dos votos populares.

conferida ao fortalecimento da agricultura familiar, notadamente do Norte e Nordeste do país, mediante sua inserção na cadeia de produção do biocombustível.

Transcorridos doze anos após a promulgação da Lei 11.097/2005, os resultados positivos do PNPB são incontestes. O Programa conseguiu efetivamente concretizar a introdução do biodiesel na matriz energética, com implantação de capacidade de processamento e atendimento à demanda crescente. Comparando-se os objetivos iniciais do PNPB, materializados no Relatório do GTI, às constatações apresentadas no Capítulo anterior (item 4.5), verifica-se que todas as metas foram atingidas, no que diz respeito aos aspectos econômicos, ambientais e sociais.

No aspecto econômico, ocorreu um resultado positivo sobre a Balança Comercial do Brasil, com melhora das contas externas. O uso de biodiesel permitiu reduzir a dependência energética do país na importação do diesel, o que significou cifras muito elevadas. No período 2005-2015, conforme exposto no capítulo anterior, os ganhos na balança comercial do país alcançaram o montante de US\$₂₀₁₅ 5,3 bilhões, contabilizando-se a receita com a exportação de glicerina, os dispêndios com importação de metanol, bem como a perda de receita que teria sido alcançada caso o óleo de soja empregado na produção de biodiesel tivesse sido exportado.

No que tange aos benefícios ambientais, evidenciou-se que o uso de biodiesel ocasionou ganhos em termos de diminuição do impacto global e local. De 2005 a 2015, avalia-se que o consumo de 21 bilhões de litros de biodiesel resultou na mitigação de emissões de GEE em aproximadamente 60 milhões de toneladas de CO_{2eq}. Quanto à poluição local, a diminuição de material particulado (MP), resultante da adição do biodiesel ao diesel, acarretou o benefício de diminuir a mortalidade e a morbidade no país, o que representou evitar mais de 3.000 mortes e 19.000 internações nas Regiões Metropolitanas do Brasil, assim como os custos pertinentes à saúde, conforme apresentado no capítulo anterior.

Adicionalmente aos benefícios econômicos e ambientais, importa ressaltar também a promoção de renda de pequenos agricultores mediante a inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel, em função do Selo Combustível Social. No período 2008-2015, a aquisição da agricultura familiar atingiu 16,3 milhões de toneladas, totalizando um desembolso de R\$₂₀₁₅ 18,5 bilhões.

No tocante ao desenvolvimento regional e à diversificação de matérias-primas, existe ainda uma oportunidade de aprimoramento. Enquanto as regiões Centro-Oeste e Sul, que

representam mais de 30% do consumo do biocombustível no país, produzem mais do que o dobro do necessário ao atendimento da sua demanda, as regiões Norte e Nordeste, que eram o principal foco no início do programa, e que representam 27% da demanda, produzem menos do que a metade de seu próprio consumo. É importante assinalar que a análise do desenvolvimento regional do PNPB está intimamente relacionada à da diversificação de matéria-prima. Este resultado regional conseguiu ser alcançado graças à contribuição da soja, espécie vegetal que o Brasil é um dos principais produtores no mundo. Ressalte-se que a esta oleaginosa é creditada a manutenção da participação da agricultura familiar na produção do biodiesel, mesmo com todas as consecutivas elevações do mandatório que ocorreram desde o início do PNPB.

5.3 Estudo de Caso: Avaliação da Sustentabilidade da Produção de Biodiesel no Brasil

No cenário descrito, a pesquisa, em seu desdobramento, buscou responder à seguinte indagação: “*Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, qual deve ser a priorização dos insumos graxos utilizados para a produção de biodiesel no Brasil?*”

Para tanto, expõe-se primeiramente o conceito de sustentabilidade e de indicadores, os instrumentos para sua mensuração. Na sequência, é apresentada a metodologia de análise multicritério, que objetiva auxiliar na tomada de decisão quando diversos aspectos estão envolvidos. Em seguida, descreve-se a Análise Envolvória de Dados, método multicritério quantitativo baseado em programação linear, que torna possível hierarquizar as eficiências de unidades de produção através da avaliação simultânea dos diferentes insumos empregados e dos produtos gerados por cada uma. Por fim, apresenta-se a aplicação desse método DEA às diferentes matérias-primas graxas que podem ser empregadas na produção de biodiesel no Brasil. Cabe destacar que este estudo de caso foi tema de artigo publicado pela autora na Revista Científica Internacional “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, em 2013 (Costa *et al.*, 2013).

5.3.1 Sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento sustentável encontra origem na 1ª Conferência Mundial sobre Meio Ambiente Humano organizada pela ONU, realizada em Estocolmo, em 1972. Nesta ocasião, pela primeira vez na história, a relação entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental foi colocada na pauta da agenda internacional (UN, 1997). A concepção de codesenvolvimento surgida na Conferência de Estocolmo veio contrapor-se tanto aos defensores do crescimento econômico como único fim, quanto àqueles

adeptos das conclusões do Clube de Roma¹³⁹, partidários da teoria do crescimento zero. Desta forma, o ecodesenvolvimento veio propor uma alternativa conciliadora, ao defender que seria possível sustentar o desenvolvimento econômico eficiente no longo prazo, conciliando com a melhoria das condições sociais e o respeito ao meio ambiente.

Com o objetivo de avaliar os avanços dos processos de degradação ambiental e da eficácia das políticas ambientais para seu enfrentamento, foi implantada pela ONU, em 1983, a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento. Liderada por Gro Harlem Brundtland, Primeira-Ministra da Noruega, tal Comissão apresentou o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo aquele "que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades", com um enfoque alternativo para aquele do desenvolvimento baseado simplesmente no crescimento econômico (UN, 1997). O documento final dos estudos da Comissão foi publicado em 1987 (WCED, 1987), intitulado Relatório Brundtland, mais conhecido como "Nosso Futuro Comum" (*Our Common Future*). Desde então, apesar de expressarem o mesmo conceito, o termo ecodesenvolvimento foi substituído por desenvolvimento sustentável.

A 2ª Conferência Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, ficou também conhecida como Rio 92 e Cúpula da Terra¹⁴⁰. Nesta ocasião, intentou-se equilibrar os aspectos ambientais e econômicos da energia. A *Agenda 21*, principal documento¹⁴¹ ratificado nesta Conferência, teve como foco principal a responsabilidade ambiental, contemplando a proteção dos recursos naturais e também as mudanças necessárias nos padrões de consumo vigentes. Cabe assinalar que na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que estabeleceu uma série de princípios que definem os direitos e responsabilidades dos países-membros, foi

¹³⁹ O Clube de Roma é uma organização fundada em 1968, cuja missão é "promover a compreensão dos desafios globais que a humanidade enfrenta e propor soluções". Desta forma, o grupo procura discutir diversos temas de âmbito mundial, com destaque aos relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável. O Clube publica uma série de relatórios, sendo o mais conhecido destes o intitulado "*Limits to Growth*", publicado em 1972 (Club of Rome, 2016).

¹⁴⁰ Mais conhecida como Rio 92, "referência à cidade que a abrigou, e também como "Cúpula da Terra" por ter mediado acordos entre os Chefes de Estado presentes" (MMA, s.d.).

¹⁴¹ Além da Agenda 21 e da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, os Chefes de Estado presentes também acordaram a Declaração de princípios da floresta, que fundamentam a gestão sustentável das florestas no planeta. Ressalta-se, ainda, que na Rio 92 foram abertos para o recolhimento de assinaturas os importantes tratados da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e a Convenção da Biodiversidade (UN, 1997).

incorporado o conceito de desenvolvimento sustentável¹⁴². Durante a Rio 92, tal conceito foi decisivamente difundido como sendo um novo padrão de desenvolvimento a ser perseguido, o qual busca o balanceamento entre a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento social e econômico.

Já na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada no Rio de Janeiro, em 2012, também conhecida como “O Futuro que Queremos” e Rio+20, foram corroborados os compromissos com o desenvolvimento sustentável, o planeta e as gerações futuras. Na Declaração Final da Rio+20, a necessidade “de libertar a humanidade, urgentemente, da pobreza e da fome” foi reforçada (MMA, 2012), assim como “a necessidade de uma melhor integração dos aspectos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável em todos os níveis”. Foi também reconhecida a importância das relações entre esses diferentes aspectos para o alcance do desenvolvimento sustentável, em todas as suas dimensões.

Pelo exposto, pode-se depreender que a sustentabilidade do desenvolvimento se apoia em três pilares fundamentais: o ambiental, o econômico e o social. Além disso, verifica-se que o processo internacional coordenado pelas Nações Unidas foi progredindo para contemplar estas dimensões de forma equilibrada, o que é evidenciado pela evolução na própria denominação das Conferências da ONU aqui apresentadas: Conferência sobre Meio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972), Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992) e Conferência sobre Desenvolvimento Sustentável (Joanesburgo, 2002), nomeação que foi repetida para a Rio+20 (Rio de Janeiro, 2012).

Cabe ponderar que um desafio que se apresenta para o alcance do desenvolvimento sustentável é a criação de instrumentos de medida, como os indicadores. Estes constituem-se em ferramentas formadas por uma ou mais variáveis, que evidenciam significados maiores sobre o aspecto ao qual estão associados. A necessidade do estabelecimento de indicadores para avaliar e acompanhar os progressos na consecução dos objetivos de desenvolvimento sustentável foi reconhecida na supracitada Agenda 21 (ONU, 1992). O seu Capítulo 40 (Informação para a Tomada de Decisões) aponta que os indicadores usualmente empregados não ofereciam indicações adequadas de

¹⁴² Já em seu Princípio 1 é afirmado que “Os seres humanos estão no centro das preocupações com o desenvolvimento sustentável. Têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza” (ONU, 1992).

sustentabilidade. Neste sentido, a Agenda 21 orientou sobre a necessidade do desenvolvimento de indicadores do desenvolvimento sustentável que servissem de “base sólida para a tomada de decisões em todos os níveis e que contribuam para uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento”. A partir de então, foi acelerado o desenvolvimento desses indicadores de sustentabilidade. Começou a ocorrer uma revisão nos indicadores econômicos, objetivando englobar os aspectos ambientais¹⁴³. Posteriormente, foi incorporado o aspecto do desenvolvimento humano, através da formulação do IDH¹⁴⁴ (Índice de Desenvolvimento Humano), pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD, s.d.). Com a criação desse indicador, que contempla renda, educação e saúde, buscou-se transferir o foco do crescimento econômico, ou da renda, para o ser humano.

Oliveira (2004) aponta que a principal característica de um indicador é reter o significado fundamental dos aspectos avaliados, sintetizando um conjunto complexo de informações, com vistas a permitir uma análise integrada das viabilidades social, ambiental, técnica, operacional e econômica. Como a sustentabilidade baseia-se no aspecto multidimensional da realidade, é requerida atenção criteriosa nesse processo de análise. Assim, faz-se necessário buscar a visão integrada do sistema, para o que é adequado construir conjuntos de indicadores. O autor ressalta que, como um sistema é constituído tanto de elementos quanto das interações inter-elementos, estas precisam ser claramente identificadas.

Após a Rio 1992, a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável da ONU - CDS¹⁴⁵ liderou um movimento universal para construção dos indicadores, com vistas a materializar as disposições da Agenda 21, no que diz respeito à relação entre meio ambiente, desenvolvimento sustentável e às informações para a tomada de decisões. Em 1996, a Comissão divulgou “*Indicators of sustainable development: framework and methodologies*”, que ficou conhecido como Livro Azul, apresentando um conjunto de indicadores de sustentabilidade. Este documento foi revisado pela primeira vez em 2001, propondo uma organização em quatro pilares fundamentais: ambiental, social, econômico e institucional (CSD, 2001). Note-se que na revisão de 2007, o documento foi renomeado “*Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*” e esta divisão

¹⁴³ Como exemplo a “economia verde” (*green national accounting*), onde o PIB é ajustado para refletir os custos da poluição gerada e da diminuição dos recursos naturais.

¹⁴⁴ O objetivo da criação do IDH foi o de oferecer um contraponto a outro indicador muito utilizado, o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento (PNUD, s.d.).

¹⁴⁵ *ommission on Sustainable Development - United Nations / CSD - UN.*

não permaneceu explícita. Com tal modificação, buscou-se “ênfatizar a natureza multidimensional do desenvolvimento sustentável e refletir a importância de integrar seus pilares” (CSD, 2007). O documento esclarece que isto possibilitou que os temas transversais já existentes fossem melhor representados e também que novos objetos fossem introduzidos, como o tema da pobreza.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE¹⁴⁶ publicou *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015*, tendo como orientação as recomendações da CDS da ONU, adaptando-as à realidade nacional. O objetivo geral é “disponibilizar um sistema de informações para o acompanhamento da sustentabilidade do padrão de desenvolvimento do País” (IBGE, 2015). A publicação reforça que tais indicadores devem ser vistos como um meio para o alcance do desenvolvimento sustentável, pois se constituem em instrumentos fundamentais para orientar as ações e ajudar no acompanhamento e análise da evolução na direção da sustentabilidade, sendo estes “mais úteis quando analisados em seu conjunto que o exame individual de cada indicador”.

Deve-se mencionar, ainda, os indicadores de sustentabilidade que foram propostos pelo Centro de Estudos sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas - CENTROCLIMA da COPPE, a pedido do Ministério do Meio Ambiente, em 2001 (CENTROCLIMA, 2002). Esta “Proposta Revisada de Critérios e Indicadores de Elegibilidade para avaliação de projetos candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)”¹⁴⁷ estabeleceu um conjunto dividido em cinco dimensões: ambiental, social, econômica, tecnológica e operacional. Os indicadores sugeridos foram: Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas; Contribuição para a sustentabilidade ambiental local; Contribuição para a geração líquida de empregos; Impactos na distribuição de renda; Contribuição para

¹⁴⁶ A publicação inicial é de 2002, com edições posteriores em 2004, 2008, 2010 e 2012 (IBGE, 2015).

¹⁴⁷ O documento serviu de base para a formulação do Anexo III da Resolução nº 01 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, aprovada em 11 de setembro de 2003 (CIMGC, 2003).

a sustentabilidade do balanço de pagamento; Contribuição para a sustentabilidade macroeconômica; Custo-efetividade; Contribuição para a autossuficiência tecnológica¹⁴⁸.

A seguir é introduzida a metodologia de análise multicritério, ferramenta que busca auxiliar na tomada de decisão quando há concorrência entre vários critérios.

5.3.2 Análise Multicritério

A Análise Multicritério (AMC) possui como principal objetivo auxiliar no processo de tomada de decisão, de acordo com os interesses envolvidos, em situações de incertezas, dúvidas, conflitos e concorrência entre diversos critérios. Foi definida por Gomes (1999) como sendo um “conjunto de técnicas para apoiar a tomada de decisão, com a finalidade de investigar um número de alternativas, considerando múltiplos critérios e objetivos em conflito”.

A AMC e a utilização de seus métodos de decisão na escolha da solução final de problemas de otimização multiobjetivo foi estudada por Parreiras (2006), que mostrou a ampla abrangência desse tema. A autora ressalta a importância de que a análise de decisão considere diversos critérios sempre que um único ponto de vista seja insuficiente para abarcar toda a informação necessária e todas as contradições intrínsecas ao problema. Parreiras (2006) esclarece que “problemas com múltiplos objetivos possuem um conjunto de soluções ótimas, denominado fronteira Pareto-ótima ou não-dominada”¹⁴⁹. Assim, surge o problema de decisão, que é escolher, dentre as múltiplas alternativas eficientes, a mais satisfatória, contemplando vários critérios simultaneamente. Em tais ocasiões, em que apenas uma solução é escolhida e concretizada, recomenda-se o uso da AMC.

Os métodos multicritérios buscam elucidar ao decisor as possibilidades de escolhas, apoiando o processo decisório, com base nas informações existentes. Estes métodos têm sido muito utilizados na busca da melhor solução dos problemas de tomada de decisão

¹⁴⁸ A autora participou como pesquisadora da iniciativa *SouthSouthNorth* - SSN para implementação de projetos MDL, em que foram usados estes indicadores de sustentabilidade. Um dos projetos desenvolvidos nessa pesquisa foi “Produção de biodiesel para uso como combustível veicular”. Sob a coordenação do professor Emilio Lèbre La Rovere, representante da SSN no Brasil, executado de 2001 a 2005. A SSN é uma iniciativa internacional composta por quatro países do hemisfério Sul (Brasil, África do Sul, Bangladesh e Indonésia) e um do hemisfério Norte (Holanda). O projeto objetivava a facilitação, o desenvolvimento e a implementação de projetos do MDL, visando a redução de GEE, o combate ao aquecimento global e à mudança climática e fomento ao desenvolvimento sustentável (CENTROCLIMA, 2007).

¹⁴⁹ O conceito de otimalidade formulado por Vilfredo Pareto, dentro de dimensões multicritério é definido por Romero (1996) como: “Um conjunto de soluções é eficiente (ou Pareto ótimas) quando está formado por soluções factíveis (isto é, que cumprem as restrições), tais que não existe outra solução factível que proporcione uma melhora num atributo sem produzir uma piora em ao menos um dos atributos”.

relacionados aos sistemas produtivos. Note-se que a proposta de avaliação através da ótica sistêmica do desenvolvimento sustentável integra as variáveis sociais, ambientais e institucionais às econômicas, delineando o espectro interdisciplinar dessa escolha.

Os métodos de análise multicritério de apoio à tomada de decisão podem ser classificados, segundo sua utilidade, como descritivos, prescritivos ou normativos, dependendo de sua base metodológica. Reis e Lobler (2012) resumem: “os modelos descritivos abordam o processo decisório como ele é, e os modelos prescritivos ou normativos abordam o processo decisório como ele deveria ser”. No que diz respeito à semelhança de processamento, tais métodos foram agrupados por MacCrimmon (1973) em: métodos de ponderação, métodos de eliminação sequencial, métodos de programação matemática e métodos de proximidade espacial. A ponderação aditiva simples é a técnica mais comumente aplicada no mundo e consiste em um método qualitativo-quantitativo. A Análise Envoltória de Dados (DEA¹⁵⁰), método quantitativo fundamentado em programação linear, será descrita a seguir.

5.3.2.1 DEA - Análise Envoltória de Dados

O conceito de eficiência foi definido por Peña (2008) como sendo a “combinação ótima dos insumos e métodos necessários (*inputs*) no processo produtivo de modo que gerem o máximo de produtos (*output*)”. Apesar da relevância para a tomada de decisão, o seu cálculo é um problema difícil de solucionar, sobretudo quando são considerados os múltiplos *inputs* (recursos) e os múltiplos *outputs* (serviços, produtos etc.) relacionados.

Com vistas a aferir a eficiência destas unidades produtivas que empregam múltiplos insumos para gerar múltiplos bens ou serviços, os quais, por sua vez, são mensurados em diferentes unidades, pode ser utilizado o método da Análise Envoltória de Dados. A DEA permite comparar os insumos e os produtos de cada uma das unidades analisadas, bem como calcular os seus respectivos índices de eficiência relativa. Estes, por sua vez, possibilitam avaliar quais são as melhores práticas, constituindo-se, portanto, em uma importante ferramenta para a pesquisa de *benchmarking*¹⁵¹, o que facilita o processo de aprimoramento contínuo.

¹⁵⁰ DEA: sigla do inglês *Data Envelopment Analysis*.

¹⁵¹ Conjunto de referência de unidades eficientes.

O método DEA tem sido utilizado com sucesso na avaliação da eficiência da administração pública e de organizações sem fins lucrativos. De acordo com Lins *et al.* (2007), os modelos clássicos de Análise Envoltória de Dados (DEA) foram propostos

por Charnes et al. em 1978 (baseada em retornos constantes em escala – CRS) e estendidos por Banker et al. (com retornos variáveis de escala – VRS), consistindo em metodologia não paramétrica para mensuração comparativa da eficiência de unidades tomadoras de decisão (Decision Making Units – DMUs), com base nas melhores práticas.

Para tanto, é necessário que esse conjunto de DMUs seja homogêneo e, ainda, tenha em comum o emprego dos mesmos *inputs* e a produção dos mesmos *outputs*.

Assim, a DEA permite avaliar o desempenho relativo de DMUs, que usam os mesmos tipos de insumos para gerar os mesmos bens e/ou serviços. Cabe assinalar que, na definição de Pareto-Koopmans, um vetor *input-output* é tecnicamente eficiente se: “a) nenhum dos *outputs* pode ser aumentado sem que algum outro *output* seja reduzido ou algum *input* seja aumentado ou b) nenhum dos *inputs* pode ser reduzido sem que algum outro *input* seja aumentado ou algum *output* seja reduzido”, segundo Lins *et al.* (2007).

No mesmo trabalho é indicado que o poder analítico dessa técnica pode ser aumentado através do modelo dos multiplicadores, em que “para cada DMU a ser analisada, formula-se um problema de otimização com o objetivo de determinar quais os valores que esta DMU atribui aos multiplicadores u e v (pesos), de modo a ter a maior eficiência possível”. Os autores acrescentam que a principal limitação da estrutura matemática é que, na procura da solução ótima, podem ser produzidos pesos nulos para variáveis relevantes e, assim sendo, resultar em modelos inverossímeis. Além disso, informam que o modelo pode ser flexibilizado através da formulação de restrição aos pesos, o que representa uma vantagem adicional para o uso dos multiplicadores.

Os principais modelos DEA são o CRS (*Constant Returns to Scale*) - que considera retornos de escala constantes, e o VRS (*Variable Returns to Scale*) - que admite retornos variáveis de escala e não considera proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Mello *et al.* (2003) apontam que o modelo VRS possibilita lidar com eficiências de escala, característica esta que permite que unidades produtoras que apresentem quaisquer produtos com valores muito díspares sejam avaliadas, utilizando-se o mesmo modelo. Peña (2008) assinala que tanto o CRS como o VRS podem ser delineados sob duas maneiras de maximizar a eficiência. A primeira refere-se à redução do consumo de

insumos, mantendo-se o nível de produção (orientação *input*). A segunda diz respeito ao aumento da produção, dados os níveis de insumos (orientação *output*). Desta forma, a escolha da orientação da modelagem dependerá se o objetivo está voltado à redução de recursos ou ao aumento da produção.

Diante do exposto, objetivando avaliar as alternativas que conduzem à ampliação sustentável da produção de biodiesel no Brasil e indicar quais os insumos graxos devem ser priorizados no processo, o presente trabalho irá utilizar a metodologia da Análise Envoltória de Dados.

Oportuno reforçar que, apesar da ponderação aditiva simples ser a técnica mais comumente aplicada no mundo, ela está sujeita a julgamentos de valor dos analistas, pois consiste em um método qualitativo-quantitativo. Já a Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método totalmente quantitativo baseado em programação linear, o que reduz aquela imprecisão. Os dois métodos foram comparados por Oliveira (2004) e a análise realizada mostrou que ambas as técnicas eram equivalentes. A mesma conclusão foi obtida como resultado dos estudos realizados por Oliveira *et al.* (2008) e La Rovere *et al.* (2010).

5.3.3 Elaboração do Modelo DEA

Para avaliar a sustentabilidade da produção de biodiesel no Brasil, Costa *et al.* (2013) selecionaram os *inputs* e *outputs* que estivessem associados a cinco dimensões do conceito de desenvolvimento sustentável: ambiental, econômica, social, tecnológica e operacional, conforme já realizado por Oliveira (2004), Oliveira *et al.* (2008) e La Rovere *et al.* (2010). Além disso, necessariamente, estes deveriam poder ser expressos numericamente em valores absolutos. Assim, foram escolhidas as seguintes variáveis:

- Potencial de Criação de Empregos por atividade (dimensão social);
- Emissão de GEE (dimensão ambiental).
- Custo de Investimento (dimensão econômica);
- Custo de Operação e Manutenção (dimensão tecnológica);
- Potencial de Produção (dimensão operacional).

É importante reforçar que as condições edafoclimáticas brasileiras permitem a utilização de várias alternativas de matérias-primas graxas para a produção de biodiesel. De acordo com a diferença de tempo para sua disponibilidade, estas podem ser agrupadas em três tipos básicos: residuais, extrativismo e cultivo. O último grupo também pode ser dividido em cultura a longo prazo e cultura anual. Culturas anuais podem ser mecanizadas ou

intensivas em mão-de-obra. Neste trabalho, de acordo com Costa *et al.* (2013), a aplicação da modelagem análise envoltória de dados (DEA) considerou as seguintes entradas:

- Insumos residuais: óleo de fritura, gordura animal (sebo bovino, banha de porco e gordura de frango), ácidos graxos e espuma de esgoto.
- Extrativismo: babaçu, buriti e castanha.
- Perenes (cultura de longo prazo): palma e coco.
- Cultivo anual mecanizado: soja e girassol.
- Cultivo anual intensivo em mão-de-obra: mamona.

Registra-se que, no estudo em curso, optou-se por avaliar somente o metanol como álcool a ser empregado na produção de biodiesel, apesar da possibilidade de utilização do álcool etílico. Isto permitiu avaliar um número maior de fontes de insumos graxos, principal objeto desta análise.

Uma vez que a Análise Envoltória de Dados permite a classificação das variáveis como insumos ou produtos, a escolha do estudo em curso foi definir como sendo insumos, aquelas variáveis para as quais pretende-se um menor consumo. Por outro lado, foram escolhidos como produtos as variáveis para as quais procuram-se os maiores resultados. É preciso esclarecer a peculiaridade de que a emissão de GEE é um *output* indesejável. De acordo com Lins *et al.* (2006), os *outputs* indesejáveis podem ser utilizados em modelos DEA, segundo quatro principais abordagens. Dentre estas, a opção adotada foi considerar este *output* indesejável como uma *proxi* para um recurso ambiental esgotável, representando-o como um *input*. Assim, definiu-se para a avaliação em andamento:

- *Inputs*: custo de investimento; custo de operação e manutenção; emissão de GEE.
- *Outputs*: potencial de criação de empregos; potencial de produção de biodiesel.

Considerando que o desenvolvimento sustentável visa a ampliação da oferta de energia, maximizando a criação de empregos, pelo menor custo financeiro e ambiental que seja possível, a orientação do problema a ser estudado foi direcionada aos produtos.

A seguir, são feitas algumas considerações sobre as matérias-primas graxas estudadas.

No que tange ao potencial de oferta de biodiesel no Brasil, estimou-se que os insumos oleaginosos cultivados podem satisfazer à demanda necessária para a produção do biocombustível, com base tanto na disponibilidade de área para cultivo como na

produtividade das oleaginosas¹⁵². Os resultados apontam que o potencial do Brasil poderia alcançar cerca de 300 bilhões de biodiesel por ano. Este valor excede em mais de cinco vezes o valor do consumo nacional de diesel observado em 2015 (EPE, 2016a)¹⁵³. Este enorme potencial de oferta evidencia a necessidade de o Brasil definir o papel que pretende desempenhar no mercado desse biocombustível, ressaltando tratar-se tão-somente de um exercício, uma vez que a abordagem de uma única cultura não é desejável. Os insumos residuais, por sua vez, apresentam a vantagem de estarem imediatamente disponíveis, uma vez que não necessitam ser cultivados e também apresentam custos competitivos. Ademais, como são algumas vezes enviados para vazadouros, onde há uma taxa para a sua disposição, a sua utilização pode ainda representar um custo negativo. Note-se a sua pequena escala de produção, cerca de 2,5 bilhões de litros por ano (Costa *et al.*, 2013), o que equivale a cerca de 5% do consumo de diesel mineral no Brasil em 2015 (EPE, 2016a).

Quanto ao potencial de geração de empregos, assinala-se que a atividade agrícola não exige qualquer qualificação profissional específica, o que significa substanciais ofertas de postos de trabalho, estimados em 7,5 milhões¹⁵⁴, muito superior ao que o uso de resíduos para produção de biodiesel pode oferecer.

Em relação aos custos de investimento das plantas industriais, considerou-se a diferença de custos para o processamento de determinados insumos que é decorrente da necessidade da utilização de equipamentos específicos. Quanto aos preços das matérias-primas, o valor empregado para os óleos vegetais novos considerou o aumento de produção necessário para atender à escala energética, que levará os preços atualmente praticados a se aproximarem de seus custos, condição já observada para a soja. Conservadoramente, a análise manteve os mesmos preços praticados atualmente no mercado para os resíduos.

¹⁵² Considerou-se os 91 milhões de hectares de áreas agricultáveis (MAPA, 2007) e os 50 milhões de hectares de área desmatada no "Arco do Desmatamento" (OLIVEIRA, 2004). Assumiu-se uma produtividade média anual de 4.500 t/ha para o óleo de palma e 750 kg/ha para as outras culturas oleaginosas (NOGUEIRA, 2003).

¹⁵³ Este volume potencial representa cerca de 15% dos níveis de consumo de óleo diesel em 2015, aproximadamente 2 trilhões de litros (EIA, 2017; IEA, 2016a e BP, 2016a).

¹⁵⁴ Extrapolação baseada em dados de Oliveira *et al.* (2008) sobre o número de postos de trabalho por hectare-ano multiplicado pela área disponível, obtido a partir dos dados típicos da agricultura de palma: cinco postos de trabalho por hectare.

Na presente modelagem foi utilizado o modelo VRS (retorno variável de escala), dos multiplicadores, com a minimização dos insumos, com orientação de maximização de outputs¹⁵⁵.

Para aplicar os valores na Análise Envoltória de Dados (DEA) foi necessário realizar uma transformação de variáveis, de modo a eliminar valores negativos ou nulos. No caso dos insumos residuais, que apresentam valores negativos referentes a emissões de GEE, cada coluna foi acrescida de um fator, de forma que o menor resultado fosse ao menos uma unidade. Destaca-se que esta transformação não afeta o *ranking* de desempenho, mas somente o valor do indicador.

A tabela a seguir apresenta os valores corrigidos dos dados dos recursos para produção de biodiesel. As unidades cujo desempenho será avaliado são as alternativas energéticas de insumos graxos que concorrem para produção de biodiesel, listadas na primeira coluna da Tabela 12. Os critérios segundo os quais as alternativas serão avaliadas, estão relacionados em sua primeira linha. As três primeiras colunas apresentam as variáveis consideradas como insumo (I), enquanto as duas últimas colunas mostram as variáveis de produto (O).

¹⁵⁵ Da mesma forma como realizado por Oliveira (2004), estas condições foram aplicadas ao programa de computação FRONTIER, compatível com ambiente Windows, que restringe os pesos virtuais de todas as unidades produtoras (DMUs) simultaneamente.

Tabela 12 – Dados corrigidos sobre insumos para alternativas de composição do biodiesel

Insumos	Alternativas Energéticas	Efeito Estufa (kgCO ₂ Eq/L)	Custo O&M (R\$/Litro)	Custo de Investimento (US\$/Litro)	Quantidade (milhões de litros/ano)	Número de Empregos
Residual	Gordura de frango + banha de porco	1,086	2,463	0,076	594	1.188
	Óleo de fritura	1,086	1,698	0,076	259	25.900
	Escuma	1,086	1,027	0,106	39	78
	Sebo bovino	1,086	2,463	0,076	1.284	2.568
	Borra de ácidos graxos	1,086	1,141	0,091	62	124
Anual	Óleo de mamona	3,016	2,209	0,076	58	31.160
Anual Mecanizado	Óleo de soja	3,016	2,545	0,076	2.594	259
	Girassol	3,016	3,016	0,076	570	57
Extrativismo	Castanha do Pará	2,966	9,664	0,091	250	50.000
	Babaçu	2,966	6,15	0,076	1.700	1.000.000
	Buriti	2,966	5,965	0,751	1.200	240.000
Perene	Óleo de Palma	3,016	1,817	0,65	50.000	1.500.000
	Óleo de Coco	3,016	5,264	0,65	4.750	200.000

Fonte: Costa *et al.* (2013)

5.3.4 Restrições aos pesos das variáveis

A aplicação da DEA foi realizada visando produzir resultados exclusivos sobre a comparação de todas as entradas simultaneamente. O resultado da aplicação dos dados da Tabela 12 ao programa de computação mostrou-se inviável, porque os valores dos critérios que representam as dimensões de sustentabilidade das unidades produtoras apresentavam grande disparidade.

Desta forma, a resolução do problema passou a depender da elaboração de um modelo específico, em que a unidade produtora avaliada tivesse sua restrição aos pesos virtuais individualizada. Neste sentido, foi aplicada aos dados deste trabalho a modelagem formulada pelo Professor Marcos Estellita Lins (Lins *et al.*, 2004), já utilizada por Oliveira (2004).

A avaliação apresentada na Tabela 12 foi aplicada ao modelo DEA-VRS, com otimização da orientação dos resultados, obtendo-se dez alternativas eficientes.

Existem diferenças importantes entre os modelos clássico DEA e VRS. A DEA clássica não aplica nenhuma ponderação entre as dimensões. O modelo VRS, por ser um aprimoramento desta, pondera todas as entradas pelo modelo de correlação com diferentes magnitudes e escalas de diferentes fontes para cada dimensão. Por exemplo,

considerando seis fontes na dimensão ambiental, a soma será 100% e o modelo calculará o peso para cada fonte. Caso sejam colocadas 13 fontes na mesma dimensão, o modelo irá ajustar os pesos para obter os mesmos 100% para a dimensão como um todo e tornar possível comparar todas as fontes consideradas dentro da mesma dimensão. Com isto, é possível analisar e concluir, separadamente, sobre qual é a melhor fonte para essa dimensão. O VRS está relacionado a uma dimensão, mas não à ponderação entre diferentes dimensões.

Entretanto, muitas alternativas apresentaram pesos zero, associado a pelo menos uma das variáveis sob análise, o que equivale a desconsiderar a variável do modelo. Para se evitar estas distorções, foram introduzidas restrições aos pesos, “para evitar as regiões Pareto-ineficientes e adequar os pesos à opinião do especialista” (Lins *et al.*, 2006). Uma alternativa mais amigável para interagir com o especialista é considerar restrições aos pesos virtuais, porque os limites são estabelecidos por participações no *input (output)* virtual total¹⁵⁶, independentemente das escalas utilizadas.

Vale também ressaltar que devido à grande heterogeneidade das ordens de grandezas das variáveis, o que acarreta na inviabilidade nos Problemas de Programação Linear (PPL), optou-se por considerar apenas restrições aos pesos à DMU observada. As faixas de pesos atribuídas através de consulta a especialista quanto à variação percentual da importância dada a cada variável foram de 20 a 50% para os *inputs* e de 30 a 60% para os *outputs*.

¹⁵⁶ Lins *et al.* (2006) citam que diversos autores exploraram o uso de restrições aos *inputs/outputs* virtuais, definidos como o produto do valor do *input* pelo peso a ele atribuído no modelo DEA dos multiplicadores.

5.3.5 Resultados

A Tabela 13 apresenta os resultados do modelo obtidos com e sem a aplicação de restrições aos pesos virtuais.

Tabela 13 – Resultados do Modelo COM e SEM Restrições aos Pesos Virtuais.

Alternativas Energéticas	Eficiência		Restrições nos pesos virtuais									
			Entradas						Saídas			
			Emissões de Gases de Efeito Estufa (kg CO ₂ Eq/L)		Custo O&M (R\$/Litro)		Custo de Investimento (R\$/Litro)		Potencial de Produção (milhões de litros/ano)		Potencial de criação de emprego	
com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	
Gordura de frango + banha de porco	0,9379	1	0,3	1	0,2	0	0,5	0	0,5	0,92	0,5	0,08
Óleo de fritura	1	1	0,5	1	0,23	0	0,27	0	0,4	0,19	0,6	0,81
Escuma	1	1	0,5	0,98	0,3	0,02	0,2	0	0,4	0,97	0,6	0,03
Sebo bovino	0,9379	1	0,3	1	0,2	0	0,5	0	0,5	0,92	0,5	0,08
Borra de ácidos graxos	1	1	0,5	0,95	0,3	0,03	0,2	0,02	0,4	0,98	0,6	0,02
Óleo de mamona	0,8026	1	0,2	0	0,3	0	0,5	1	0,5	0,16	0,5	0,84
Óleo de soja	0,7721	1	0,2	0,16	0,3	0,29	0,5	0,55	0,5	1	0,5	0
Girassol	0,7409	1	0,2	0	0,3	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Castanha do Pará	0,5658	0,8352	0,3	0	0,2	0	0,5	1	0,4	0,5	0,6	0,5
Babaçu	0,9125	1	0,3	0,96	0,2	0	0,5	0,04	0,4	0	0,6	1
Buriti	0,2876	0,4607	0,5	1	0,3	0	0,2	0	0,4	0	0,6	1
Óleo de Palma	1	1	0,3	0	0,2	0,19	0,5	0,81	0,4	0	0,6	1
Óleo de Coco	0,3343	0,4357	0,5	1	0,2	0	0,3	0	0,4	0	0,6	1

Fonte: Costa *et al.* (2013)

No modelo clássico DEA, dez alternativas atingiram a eficiência máxima. O biodiesel de óleo de fritura foi utilizado como *benchmark*¹⁵⁷ para 12 insumos do conjunto, com sebo e óleo de palma usados como referência para nove; óleo de babaçu usado para cinco; banha de porco + gordura de frango e óleo de soja usados para quatro; enquanto espuma, borra de ácidos graxos, mamona e girassol foram usados para três. Castanha do Pará, buriti e coco, que não atingiram a eficiência máxima, completam a sequência (Costa *et al.*, 2013).

Considerando o modelo de restrições aos pesos, os biocombustíveis de óleo de fritura, espuma, borra de ácidos graxos e óleo de palma são eficientes. O biodiesel feito de óleo de fritura e o de óleo de palma foi utilizado como *benchmark* para sete insumos do conjunto; com espuma e borra de ácidos graxos usados para três. O biodiesel de gorduras animais e o de óleo de babaçu alcançaram eficiência superior a 91%. O de óleo de mamona obteve 80%, enquanto o de óleo de girassol foi superior a 74%. O de castanha do Pará atingiu 56% de eficiência, o óleo de coco, 33%, e o de buriti, 28% (Costa *et al.*, 2013).

Desta forma, considerando-se os insumos residuais e os óleos vegetais como *inputs*, as prioridades do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel deveriam ser estabelecidas como segue, com vistas a maximizar o desenvolvimento sustentável:

Primeira avaliação: sem restrições

Ordem de Prioridade	Insumos
1	Óleo de fritura
2	Sebo bovino e óleo de palma
4	Babaçu
5	Banha de porco + gordura de frango e soja
7	Escuma, borra de ácidos graxos, mamona e girassol
11	Castanha do Pará
12	Buriti
13	Óleo de coco

¹⁵⁷ As opções eficientes podem ser obtidas em função do número de vezes que foram utilizados como indicadores para a outra unidade de produção dos três grupos analisados.

Segunda avaliação: com restrições:

Ordem de Prioridade	Insumos
1	Óleo de fritura e óleo de palma
3	Escuma, borra de ácidos graxos
5	Sebo bovino
6	Banha de porco + gordura de frango
7	Babaçu
8	Mamona
10	Girassol
11	Castanha do Pará
12	Óleo de coco
13	Buriti

A Tabela 14 compara os resultados anteriores com os obtidos em Oliveira *et al.* (2008). Os insumos residuais foram considerados as melhores fontes para a produção de biodiesel pelos dois estudos, sendo classificados como piores os insumos oriundos do extrativismo.

Tabela 14 – Priorização dos Insumos Graxos para o PNPB - Comparação entre estudos

Ranking	Oliveira <i>et. al.</i>	Costa <i>et. al.</i>
1	Óleo de fritura	Óleo de fritura e Óleo de palma
2	Escuma	
3	Borra de ácidos graxos	Escuma e borra de ácido graxos
4	Gordura animal	
5	Babaçu	Sebo bovino
6	Óleo de mamona	Gordura de frango + Banha de porco
7	Óleo de soja	Babaçu
8	Girassol	Óleo de mamona
9	Castanha do Pará	Óleo de soja
10	Buriti	Girassol
11	Óleo de palma	Castanha do Pará
12	Óleo de coco	Óleo de coco
13	*	Buriti

*A lista considerou óleo diesel mineral.

Fonte: Costa *et. al.*, (2013)

A grande diferença é a colocação do óleo de palma, que foi mal classificado por Oliveira *et al.* (2008), mas no presente trabalho emergiu na primeira posição. Estima-se que esta diferença decorre da melhoria dos dados disponíveis atualmente, particularmente a redução observada no valor do investimento.

5.3.6 Matérias-primas da Produção de Biodiesel no Brasil - Comparação entre o inicialmente proposto, o realizado e o sugerido pelo estudo de caso

No que tange à utilização das matérias-primas graxas para a produção de biodiesel no Brasil, cabe ponderar sobre as diferenças observadas entre a concepção inicial do PNPB, a produção histórica de fato realizada e o que sugere a aplicação do modelo DEA no estudo de caso ora apresentado.

O arcabouço regulatório orientado à produção do biodiesel buscou inicialmente estabelecer um estímulo ao aproveitamento das oleaginosas mamona e palma¹⁵⁸, produzidas nas regiões Norte e Nordeste e no semiárido. No entanto, o óleo de soja vem sendo a principal matéria-prima graxa empregada na produção brasileira de biodiesel, responsável por cerca de 80%, seguida do sebo bovino, como mostrado no Capítulo anterior. Por outro lado, de acordo com os resultados obtidos mediante a aplicação da DEA no presente trabalho, ao considerar as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável, entre todos os insumos analisados, esta opção não é a mais barata, nem a que gera mais empregos. Além disso, é uma alternativa que agrega menos benefícios ambientais em comparação aos insumos residuais.

Note-se que, entre a aprovação da Lei 11.097/2005 e o fornecimento eficaz de biodiesel para o atendimento das metas estipuladas transcorreu um intervalo de tempo que pode ser avaliado como pequeno, dado o tamanho do desafio. Através de um grande esforço em todos os níveis de governo foi alcançado o objetivo definido em 5% de adição de biodiesel em 2010, três anos antes do previsto na Lei. Nestas condições, a fonte preferida para o suprimento da demanda foi a soja. O mercado já estabelecido dessa oleaginosa proporciona vantagens comparativas que facilitaram sua utilização para o cumprimento das metas do PNPB, incluso os sucessivos aumentos do teor mandatório.

¹⁵⁸ Conforme apresentado no Capítulo 2, o Decreto 5297 (BRASIL, 2004a), que dispôs sobre a incidência da contribuição para PIS/PASEP e COFINS estabeleceu alíquotas diferenciadas para a mamona e a palma produzidas nas regiões Norte e Nordeste e no semiárido, por qualquer porte de produtor, fosse oriunda do agricultor familiar ou não. Também diferenciou as matérias-primas adquiridas da agricultura familiar. Posteriormente, a regulação evoluiu, alcançando 100% de redução, abrangendo quaisquer matérias-primas que sejam cultivadas pelo produtor familiar nas regiões Norte e Nordeste e no semiárido - Decreto 7768 (BRASIL, /2012).

5.4 Oportunidades de ampliação sustentável da produção de biodiesel

A aplicação da DEA ao estudo de caso revelou que, dentre os insumos cultivados, o óleo de palma é aquele que gera o maior benefício na obtenção do biodiesel no Brasil, sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Posteriormente, seguem todos os insumos residuais.

Assevera-se que a política de biocombustíveis deve ser dirigida para estimular o desenvolvimento econômico rural e a agricultura sustentável para sua produção, conforme apontam Russo *et al.* (2012). Além disso, políticas de suporte são importantes para incentivar a pesquisa de matérias-primas para a produção de biodiesel e, assim, possibilitar que seus preços se tornem mais competitivos em comparação com o diesel fóssil, como complementa Atabani *et al.* (2012).

Desta forma, mostra-se pertinente estabelecer as condições necessárias para que a produção de palma, assim como de outras oleaginosas, aumente suficientemente com vistas a garantir que seu preço de mercado se torne competitivo para a produção de combustível. O cultivo da palma propicia a geração de muitos postos de trabalho por área plantada. No entanto, por ser de caráter perene, está associado a empreendimentos de longo prazo. Já o uso dos insumos residuais, que também foram bem classificados, é recomendado por sua disponibilidade imediata, seu baixo custo (às vezes negativo) e as vantagens ambientais, muito embora representem apenas uma quantidade muito pequena em comparação com o potencial agrícola brasileiro.

Cabe assinalar que o potencial de oferta de biodiesel de resíduos, estimado em cerca de 2,5 bilhões de litros permitiria atender a grande parte da demanda obrigatória do Brasil. Assim, o uso desses insumos residuais pode ajudar a promover o PNPB, estimulando o uso de oleaginosas como o principal recurso de produção de biocombustíveis.

Assinala-se, ainda, que existem várias possibilidades para a expansão sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil, o que acarretará em diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Como visto ao longo deste trabalho, o biodiesel gera receita para o país, em função da redução da importação de diesel (mesmo considerando a importação de metanol para a reação química, a redução da exportação de óleo vegetal e a menos relevante exportação de glicerol); mitiga emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global; evita mortes e internações por poluição. Desta forma, é coerente propor a ampliação de sua produção.

Neste sentido, devido às suas externalidades positivas, algumas ações podem ser priorizadas, dentre as quais destacam-se:

- estimular os insumos residuais: redução da poluição da disposição destes resíduos; redução de custos da produção de biodiesel; redução da logística; geração de postos de trabalho urbanos; ganhos maiores na balança de pagamentos, pois dispensa a redução da receita da exportação do óleo vegetal;
- estimular os insumos perenes: redução de custos de produção de biodiesel; geração de postos de trabalho rurais; empreendimentos de longo prazo;
- redução das importações de diesel fóssil;
- mitigação das emissões de GEE em todo o ciclo de vida.

Algumas possibilidades para a ampliação sustentável da produção e uso de biodiesel no Brasil são descritas a seguir.

a. Uso Voluntário

Como apresentado, a Lei nº 13.033/2014 autorizou o uso voluntário em maiores percentuais de adição, em casos específicos: “I – 20% em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento; II – 30% no transporte ferroviário; III – 30% no uso agrícola e industrial”. Além disso, através da Lei 13.263/2016, o CNPE foi autorizado a elevar a mistura obrigatória em até 15% após serem realizados os testes em motores que validem a utilização dessa mistura.

Com vistas a quantificar os benefícios que poderiam resultar da ampliação do uso de biodiesel com base no aparato legal existente, realizou-se um exercício de cenarização. Para a projeção da demanda de diesel comercializado ao consumidor final (Diesel B) do cenário de referência no período 2016-2026, foram considerados os dados do PDE 2024¹⁵⁹ (EPE, 2015a), ajustados pela diferença entre o consumo realizado em 2016 (ANP, 2017) e o projetado no PDE para aquele ano. O cenário de referência considerou que o teor obrigatório de adição de biodiesel será conforme a Lei vigente, ou seja, 8% em 2017, 9% em 2018, 10% em 2019, sendo mantido nesse patamar no restante do período.

¹⁵⁹ A demanda prevista de diesel para 2016, segundo o PDE 2024 (EPE, 2015a) foi 17% inferior à efetivamente realizada (ANP, 2017). Os valores correspondentes ao ano de 2025 e 2026 foram obtidos mediante simples extrapolação da curva.

Assumiu-se para todos os cenários que a participação por setor de atividade econômica na demanda de diesel observada em 2015 (EPE, 2016a) será constante por todo o período. Com vistas a permitir a avaliação dos efeitos do uso voluntário de biodiesel em percentuais superiores ao obrigatório em setores específicos, assim como da elevação do teor mandatório para 15%, foram construídos os seguintes cenários alternativos:

Cenário 1: A obrigatoriedade alcança 10% em 2019 e é mantida nesse patamar em todo o período. Considerou-se que o uso voluntário de biodiesel nos setores agropecuário e ferroviário crescerá 5% a cada ano, passando de 15% em 2020 para os 30% previstos na Lei nº 13.033/2014 em 2024, quando estabiliza-se nesse valor.

Cenário 2: A obrigatoriedade alcança 10% em 2019, quando passa a ser acrescida em um ponto percentual a cada ano. Desta forma, em 2020 o mandatório será de 11%, alcançando 15% em 2024. O consumo voluntário de biodiesel nos setores agropecuário e ferroviário ocorrerá como no cenário 1.

O Gráfico 42 apresenta a evolução da demanda/oferta de biodiesel para os cenários descritos.

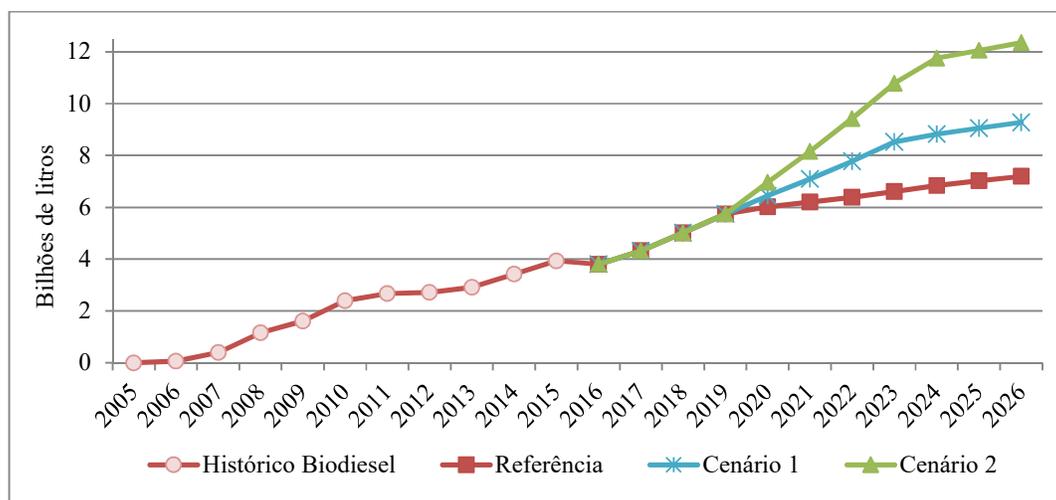


Gráfico 42 Cenários de Oferta de Biodiesel no Brasil 2005-2026

Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2015a; 2016a)

Considerando a demanda de diesel B prevista para o período 2016-2026, obtida como descrito, foi subtraída a demanda de biodiesel de cada um dos cenários apresentados no gráfico anterior, o que resultou em três cenários de diesel A, que são mostrados no Gráfico 43.

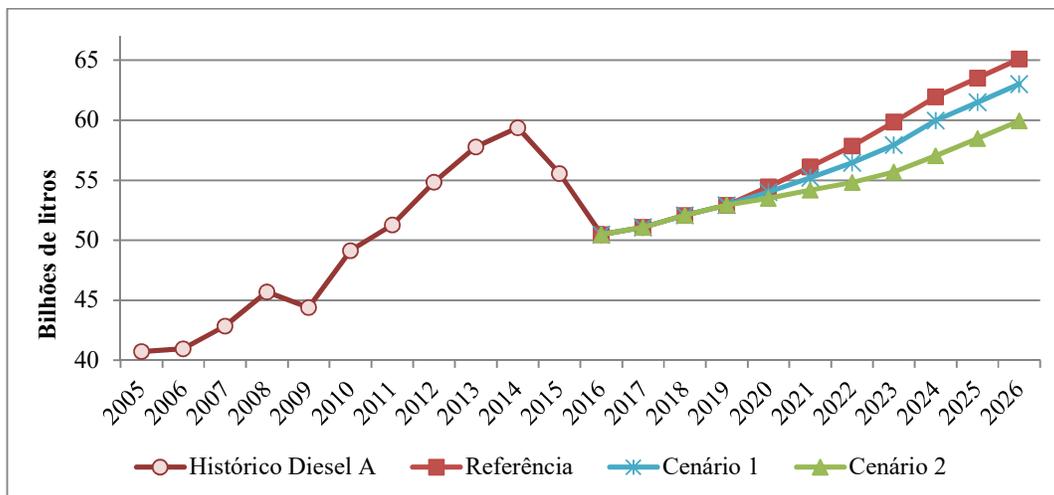


Gráfico 43 – Cenários de Demanda de Diesel A no Brasil 2005-2026

Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2015a; 2016a)

Para análise do balanço de diesel A no horizonte de estudo, foram considerados os dados históricos de produção brasileira desse combustível (EPE, 2016a) e os cenários de oferta de biodiesel. Realizou-se um exercício simplificado, admitindo que não serão construídas novas refinarias no país neste horizonte. Desta forma, estimou-se que a produção de diesel A equivalerá, em todo o período, ao volume máximo histórico já produzido (49,7 bilhões de litros, em 2014). Em todos os cenários, a demanda projetada foi superior à produção máxima histórica, o que sinaliza que será necessária a importação de diesel para o atendimento ao consumo nacional desse combustível, conforme Gráfico 44. Pode-se observar que os volumes importados variam entre 10 e 15 bilhões de litros em 2026.

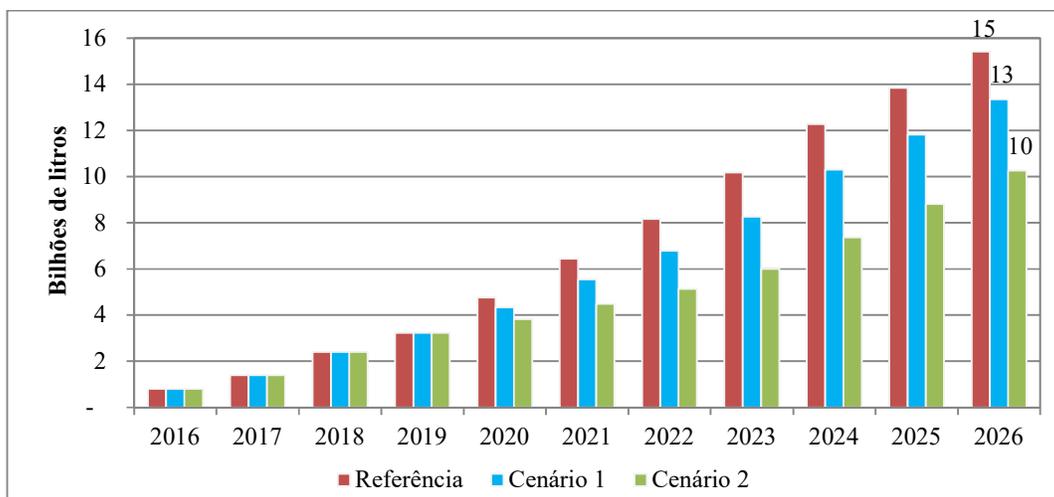


Gráfico 44 – Balanço Nacional de Diesel A - 2016-2026

Fonte: elaboração própria a partir de EPE (2015a; 2016a)

A partir dos dados obtidos, procedeu-se à estimativa dos benefícios que estas ampliações de consumo de biodiesel podem acarretar. Para realizar este cálculo, foram utilizados os

valores apresentados no item 3.5, os quais permitiram relacionar os volumes consumidos de biodiesel no período 2005-2015 aos impactos no balanço de pagamentos (US\$/L), na poluição global (tCO₂eq/L) e na saúde (óbitos/L e internações/L). Os resultados desse exercício simplificado são apresentados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Benefícios do consumo de biodiesel

Cenário	Biodiesel (ML)	Benefício			
		M US\$ ₂₀₁₅	Mt CO ₂ eq	Vidas Salvas	Internações Evitadas
Referência	65.138	16.192	184	9.887	59.643
Cenário 1	75.871	18.860	214	9.887	59.643
Cenário 2	90.351	22.459	255	12.457	75.147

Fonte: elaboração própria

Pode-se depreender que os benefícios estimados para o período são bastante relevantes. O Cenário de Referência triplica todos os benefícios obtidos no decênio anterior, de 2005 a 2015. No Cenário 1, os benefícios à saúde são iguais aos do cenário de referência, uma vez que estes só acontecem nas Regiões Metropolitanas, onde a importância da agropecuária e do transporte ferroviário é pouco significativa. Cabe observar que os valores monetários utilizados referem-se ao histórico do período 2005-2015. É possível também constatar que os cenários alternativos ampliam significativamente os benefícios do cenário de referência

b. Geração Elétrica

Os geradores nos sistemas isolados contribuem para a inclusão social, ao permitir o suprimento de energia elétrica para comunidades ainda não atendidas, mediante o uso do biodiesel em motores estacionários. Para mensurar os benefícios da substituição de diesel por biodiesel nestes sistemas, assumiu-se que o valor apresentado no “Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2016”, cerca de 700 milhões de litros, seria mantido constante até 2026 (ELETROBRAS, 2015). O somatório desta demanda atinge aproximadamente 7 bilhões de litros no período. Considerando a utilização de biodiesel em substituição ao diesel fóssil, os benefícios totalizam aproximadamente US\$₂₀₁₅ 2 bilhões de dólares e 20 milhões de toneladas de CO₂eq.

Além disso, existe a possibilidade de uso do biodiesel para geração de eletricidade no horário de ponta. Neste sentido, EPE (2015b) identificou em “Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta” a retomada de 9 GW, dos quais, em uma hipótese conservadora, um terço corresponde ao consumo de

diesel. Caso os 3 GW gerassem a diesel por 3 horas nos dias úteis, seriam 700 milhões de litros de diesel anualmente, portanto, cerca de 20% do consumo atual de biodiesel pelo PNPB. Assinala-se que este mercado pode ser atendido plenamente por biodiesel, acarretando o benefício da redução dos danos locais da combustão de diesel exatamente quando as bacias aéreas estão saturadas em função do congestionamento dos transportes; ao mesmo tempo em que desonera o setor de transporte desta quantidade (ora associada a seu consumo, por falta de monitoramento) e o país reduz as importações. Os benefícios da utilização de biodiesel no horário de ponta no período 2016-2026 totalizam US\$₂₀₁₅ 1,7 bilhão e vinte milhões de toneladas de CO₂eq.

É importante registrar a vitória de consórcio que utilizará biodiesel para a geração de energia elétrica no leilão destinado ao abastecimento dos sistemas isolados no Amazonas, realizado em 2016. Neste caso, o projeto de referência consiste em geração movida a óleo diesel. Pretende-se utilizar como matéria-prima para a produção de biodiesel, o óleo de palma, cultura perene, cujo plantio localiza-se no estado de Roraima. É oportuno ressaltar o expressivo deságio de 22% oferecido pela empresa. Desta forma, como a usina de biodiesel está localizada em Rondônia e os pontos de consumo no Amazonas, este benefício pode ser ampliado. O contrato de fornecimento possui duração de 15 anos, o que fundamenta a realização de leilão de longo prazo para a geração elétrica e também para o setor de transportes.

c. Leilão de longo prazo

Em virtude das palmáceas oferecerem maior produtividade de óleo e elevado prazo de exploração, os valores praticados, em nível internacional, são menores que o dos insumos utilizados para a produção de biodiesel no Brasil, notadamente a soja. Como o principal produto destas é o óleo e o tempo de crescimento médio é de três a quatro anos, com até 20 anos de colheita regular por todos os meses, o investimento nestes cultivos depende da percepção de risco ser baixa, o que pode ser traduzido por percepção de estabilidade do mercado consumidor.

Apesar dos óleos vegetais terem mercado internacional, o de palma (dendê) ter superado a produção do óleo de soja, por custar menos, e haver aptidão de grandes extensões de área para cultivo de palmáceas no Brasil, esta opção é praticamente inexistente e o país é importador líquido de óleo de dendê. Talvez o seja pela experiência de sucesso com o cultivo de soja, que disponibiliza vários produtos e permite rever a decisão de plantio anualmente, talvez o seja pela falta de estímulo para esta atividade.

Neste sentido, para reduzir o custo de produção no longo prazo, caso seja reproduzida no Brasil a lógica internacional do óleo de palmácea ser mais barato que o de cultivos anuais, deve-se considerar a aplicação de contratos de longo prazo para o biodiesel proveniente de palmáceas – ao contrário do que é promovido pelos leilões atuais, focados em entregas para o trimestre subsequente.

A proposta do leilão de longo prazo fundamenta-se na demonstração do deságio praticado pelo consórcio vencedor do leilão de eletricidade do sistema isolado no Amazonas, conforme citado anteriormente.

d. Biodiesel Urbano

O aproveitamento do óleo residual de fritura e dos ácidos graxos da caixa de gordura para a produção de biodiesel mostra-se uma alternativa conveniente para o abastecimento dos geradores movidos a diesel nas cidades, que são utilizados no horário de ponta, assim como para o suprimento de caminhões e ônibus urbanos que venham a utilizar voluntariamente teores mais elevados, conforme autorizado pela Lei 13.033/2014. No entanto, a especificação existente impede seu consumo puro no Brasil, ainda que seja permitido nos EUA, Canadá e Japão.

Para tanto, mostra-se adequado estudar a possibilidade de haver uma cota para estes insumos nos leilões promovidos pela ANP, de modo que sejam consideradas as externalidades de sua utilização, a exemplo de evitar a poluição das águas. A estimativa de disponibilidade dos insumos residuais é da ordem de apenas 7,5% (40 ML/ano de espuma e 260 ML/ano de óleo de fritura), face ao consumo atual de 4 bilhões de litros anuais. Os benefícios da utilização destes insumos no período 2016-2026 superam 2 bilhões de dólares, com uma redução de emissões de GEE que ultrapassa dez milhões de toneladas de CO₂eq.

Também é pertinente reconhecer estes benefícios através da remuneração, pois o óleo de fritura é consumido pelo setor de higiene na fabricação de sabão, por valor superior ao que o mercado de biodiesel vem pagando. Mesmo que este insumo fosse remunerado pelo dobro do valor praticado pelos demais, como sua quantidade é pequena, o efeito seria pouco significativo para o PNPB como um todo.

5.5 Conclusões

A estrutura do PNPB foi planejada baseando-se em três pilares fundamentais: a inclusão social por intermédio da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica, consoante afirmou Roussef (2004). O capítulo consolidou um diagnóstico do Programa, evidenciando os benefícios econômicos, ambientais e sociais decorrentes do seu estabelecimento. Após mais de uma década transcorrida da publicação da Lei 11.097/2005, verifica-se que o PNPB gerou resultados positivos que são irrefutáveis. O Programa conseguiu efetivar a inserção do biodiesel na matriz energética nacional, com implantação de capacidade de produção e atendimento à crescente demanda, concomitantemente à geração de impactos positivos nas dimensões econômica, ambiental e social.

Neste contexto, o objeto de pesquisa buscou identificar qual deveria ser a priorização dos insumos graxos utilizados para a produção sustentável de biodiesel no Brasil. Para tanto, remeteu ao conceito associado ao desenvolvimento "que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades" (WCED, 1987). Buscou-se evidenciar as múltiplas dimensões compreendidas nesta concepção de sustentabilidade, assim como a importância do desenvolvimento dos indicadores, que se constituem em ferramentas que possibilitam o estabelecimento das prioridades. Foi apresentada a metodologia de análise multicritério, que dá suporte à tomada de decisão, concentrando-se na Análise Envoltória de Dados (DEA).

Posteriormente, o capítulo apresentou um estudo de caso com a aplicação do método DEA às diferentes matérias-primas graxas que podem ser empregadas na produção sustentável de biocombustível no país, com vistas a hierarquizar tais insumos. Em função das condições edafoclimáticas brasileiras, foi possível agrupar os dados existentes sobre as diversas alternativas de acordo com a diferença de tempo para sua disponibilidade (imediato ou cultivo); o tempo de cultivo (perene ou anual); e quantidade de mão-de-obra envolvida (mecanizado ou intensivo em mão-de-obra). Foram analisadas treze alternativas graxas para a composição do biodiesel, a saber: óleo de fritura, sebo bovino, banha de porco + gordura de frango, ácidos graxos, espuma de esgoto, babaçu, buriti, castanha, palma, coco soja, girassol e mamona.

A aplicação da DEA permitiu concluir que, diferentemente do que tem sido observado, em que a soja representa cerca de 80% da produção de biodiesel, o ideal seria o

aproveitamento energético do óleo de palma, seguido do aproveitamento dos insumos residuais.

O capítulo assinalou que a política de biocombustíveis deve ser conduzida para fomentar o desenvolvimento econômico rural e a agricultura sustentável, reforçando a relevância das políticas de incentivo à pesquisa de matérias-primas para a produção do biodiesel, propiciando que seus preços se tornem mais competitivos face ao diesel fóssil. Deste modo, com vistas a assegurar que o preço de mercado do óleo de palma se torne competitivo para a produção do biocombustível, é forçoso o estabelecimento das condições necessárias à ampliação sustentável da produção desta oleaginosa. Note-se que o cultivo desta espécie acarreta o benefício da criação de muitos postos de trabalho por área plantada, mas requer empreendimentos de longo prazo, por ser um cultivo perene que tem produção com rendimento em óleo considerado satisfatório a partir do quinto ano de seu plantio definitivo, atingindo o fim de sua vida econômica, por volta de 25 anos. Por outro lado, o uso dos insumos residuais é aconselhado por sua disponibilidade imediata, seu baixo custo e suas vantagens ambientais.

Finalmente, o Capítulo aponta uma série de possibilidades para a expansão sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil.

6 Considerações Finais

A energia é fundamental para a sobrevivência e o bem-estar da humanidade, fator imprescindível para satisfação de suas inúmeras necessidades. A demanda energética cresce à medida da evolução tecnológica e das decorrentes mudanças de comportamento, hábitos de vida, padrões de consumo, mobilidade, industrialização, urbanização, expectativa de vida e crescimento populacional.

Na maior parte da história da humanidade, o consumo da energia pelo homem destinava-se principalmente à cocção e iluminação. Aliado ao crescimento populacional muito lento, este padrão resultou em um consumo energético baixo por milhares de anos, atendido basicamente por lenha. Somente a partir da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, caracterizada por um crescimento populacional exponencial e pela modernização da humanidade, se iniciou uma explosão no consumo de energia. Graças à crescente escassez de biomassa e ao conteúdo energético bastante superior do fóssil, rapidamente fez-se visível a vantagem da utilização do carvão mineral para alimentação da máquina a vapor. Assim se deu a transição da Era da Lenha para a Era do Carvão.

O consumo de energia global evoluiu a um ritmo sem antecedentes na história, a partir da Segunda Grande Guerra, em decorrência do desenvolvimento econômico dos países em industrialização ou reconstrução. Utilizado inicialmente para iluminação e geração de calor, o petróleo transformou-se na principal fonte de energia para a atividade de transporte somente após o desenvolvimento dos motores a combustão interna na segunda metade do século XIX, os quais levaram a um novo salto no uso da energia de origem fóssil. A invenção do automóvel não apenas modificou profundamente o mercado do petróleo (em função da criação da demanda mundial por derivados) e o desenvolvimento dessa indústria, como teve um papel fundamental na conformação do estilo de vida da humanidade, a partir do início do século XX. Marcadamente após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu nova transição da base energética. Graças às suas vantagens em termos caloríficos e à sua facilidade de produção, transporte e uso, o petróleo desbancou o carvão, se tornando o insumo-chave do desenvolvimento do século XX, marcado como a Era do Petróleo.

O petróleo é a principal fonte de energia atualmente consumida no planeta, e continuará mantendo sua supremacia nas próximas décadas, segundo projeções das principais instituições de pesquisa. A indústria petrolífera tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico das nações, em consequência tanto do caráter estratégico do

recurso, como de fatores geopolíticos. Esta expressiva participação na matriz energética global está associada ao processo de formação e evolução da Indústria Mundial de Petróleo, estabelecida sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, tornada viável por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia.

A indústria brasileira de petróleo, por sua vez, surgiu somente em meados do século XX, como parte de um projeto nacional de desenvolvimento industrial, que culminou com o estabelecimento do monopólio da União e com a criação da Petrobras em 1953. A companhia estatal integrada verticalmente, única executora do monopólio, foi encarregada de explorar todas as etapas da indústria petrolífera, papel mantido na Constituição Federal de 1988. Com a promulgação da Lei do Petróleo em 1997, permitiu-se à União transferir as atividades de E&P a empresas privadas, via contratos de concessão. Apesar da abertura do mercado, a maior parte dos investimentos no Brasil continuou sendo realizada pela Petrobras, líder mundial em águas profundas, que cooperou para a autossuficiência na produção de petróleo em 2006. Com a descoberta da gigantesca província petrolífera do Pré-Sal, foi primordial introduzir em 2010 o regime de partilha de produção tanto para essa como para as demais regiões estratégicas do Brasil. O pleno aproveitamento das reservas do Pré-Sal permitirá que o país se transforme em um relevante exportador de petróleo no mercado internacional, fortalecendo sobremaneira o escopo de atuação internacional da sua estatal.

Apesar de sua supremacia, além dos riscos normais de custos, mercados, demanda e preços, a indústria do petróleo está associada a uma série de outros riscos e incertezas, com destaque aos de natureza geopolítica, tecnológica e exploratória.

Os choques do petróleo em 1973 e 1979 elevaram o preço do barril a níveis extremamente altos, impactando seriamente uma infraestrutura industrial e de transportes baseada no recurso, onde o paradigma era de seu suprimento ininterrupto e a baixo custo. Dado o elevado grau de dependência das importações do energético, houve graves crises de abastecimento e foram gerados grandes *déficits* na balança comercial de diversos países. No Brasil, foram desencadeadas pressões inflacionárias e aumento do desemprego, gerando estagnação e um grande óbice ao desenvolvimento econômico e social na chamada “década perdida”.

A partir destes choques, as nações consumidoras se perceberam vulneráveis em relação à sua segurança no suprimento energético. Assim, entrou na agenda dos países, notadamente dos mais dependentes de importação de petróleo, a busca de soluções

voltadas à garantia de abastecimento. Inaugurou-se a procura pela racionalização do uso da energia através de equipamentos mais eficientes e modificação dos hábitos de consumo. Observou-se também a pesquisa e o desenvolvimento de outras fontes de energia que pudessem substituir os derivados no atendimento ao uso final das demandas requeridas pela sociedade.

Diante desse cenário, a procura por alternativas que propiciassem a redução da dependência das importações, bem como o estímulo à produção doméstica e à diversificação de fontes e tecnologias, com vistas a reduzir a vulnerabilidade dos países, passou a orientar a formulação das políticas energéticas por todo o planeta.

No Brasil, as primeiras respostas da política energética aos choques foram a intensificação dos esforços de prospecção *off-shore* com vistas ao aumento da produção nacional de petróleo e o lançamento de programas de substituição de seus derivados por fontes nacionais de energia, como o etanol de cana-de-açúcar e a hidreletricidade.

Entre as soluções promissoras para diminuir a dependência do petróleo, os biocombustíveis líquidos desempenham um papel de destaque, uma vez que tanto a infraestrutura de distribuição utilizada para os combustíveis fósseis, como as tecnologias de uso final, pode ser facilmente utilizadas por estes, em certos casos sem qualquer alteração e, em outros, com reduzidas modificações, sem custos elevados.

Adicionalmente ao benefício da redução da dependência ao petróleo, com o fortalecimento da segurança do abastecimento energético dos países, o uso de biocombustíveis está associado a uma série de vantagens, de natureza econômica, social e ambiental, em consonância com os objetivos da política energética das nações.

Vários países vêm incentivando o desenvolvimento de sua indústria doméstica de biocombustíveis, através de instrumentos diversos, sejam de comando e controle ou econômicos, como políticas, regulamentações legais, subsídios, isenção de impostos e tarifas. Ressalta-se que a viabilidade comercial dessa indústria ainda está atrelada aos preços do petróleo e matérias-primas. Avanços tecnológicos na área agrícola e industrial também podem ajudar a reduzir os custos de produção e aumentar sua competitividade.

A partir dos anos 1990, também a questão ambiental vem progressivamente assumindo maior importância, influenciando a tomada de decisão para a promoção de políticas de incentivo ao uso de fontes renováveis de energia. Embora não haja uma solução tecnológica única para mitigar a mudança do clima, dentre as alternativas apontadas está

o uso de biocombustíveis líquidos no setor de transportes, em substituição aos derivados de petróleo.

No entanto, uma vez que o atual sistema de preços não consegue refletir todas as externalidades positivas e negativas decorrentes das atividades da cadeia energética, a penetração de fontes de energia renováveis na matriz vem sendo restringida por motivos financeiros. Neste contexto, diversos mecanismos de viabilização e de incentivo têm sido adotados pelas nações para a promoção das fontes renováveis, como políticas e regulamentações (níveis federal e estadual) e incentivos fiscais e subsídios.

No Brasil, muitos programas e incentivos aos biocombustíveis foram implementados, sendo exemplos bem-sucedidos o Proálcool e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB.

No mundo, o panorama atual do uso dos recursos energéticos (IEA, 2016a) é marcado pela elevada preponderância dos combustíveis fósseis na matriz (superior a 80% em 2014), cuja participação teve uma queda inferior a 6% nas últimas quatro décadas. Ressalta-se a relevância do transporte no consumo final da energia pelos diferentes setores da atividade econômica (28% em 2014), dos quais expressivos 92% referem-se aos derivados do petróleo. A hegemonia dos derivados é consequência de serem favorecidos tanto pela existência de uma infraestrutura inteiramente consolidada para transporte e comercialização de combustíveis, quanto pela própria dimensão do mercado global, resultado de um gigantesco parque de veículos automotivos. O petróleo mantém sua supremacia na oferta primária (31% em 2014) e também no consumo final de energia (40%), embora tenha reduzido sua participação nas últimas quatro décadas, caindo, respectivamente, em 15% e 8%. Destaca-se a participação do diesel no consumo mundial de derivados, cerca de 35% em 2014.

Em contraste, o Brasil apresenta um elevado aproveitamento das fontes renováveis de energia, cuja participação na matriz nacional representou 41% em 2015, quase o triplo da média mundial. Em termos de combustíveis fósseis, o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, juntos, contribuíram com 57% de toda oferta interna de energia naquele ano. No que tange ao consumo final de energia, o transporte é o segundo setor da atividade econômica mais importante na matriz brasileira (32% em 2015), ligeiramente atrás do industrial. Majoritariamente rodoviário, este modal correspondeu a 92% da demanda de energia para transportes, em 2015. Nesse ano, o óleo diesel A e a eletricidade foram as fontes de energia mais consumidas no país (ambas com 17%), seguidas pelo bagaço de

cana (11%). O diesel A é também o derivado de petróleo de maior consumo, cerca de 41%, enquanto a gasolina A, na segunda colocação, participou com 22% em 2015 (EPE, 2016a).

Neste contexto, a adoção de um programa de incentivo ao uso de biodiesel se constitui um destacado instrumento de mitigação das mudanças climáticas, bem como uma alternativa a ser usada pelo planejamento energético no que se refere à garantia do abastecimento e à promoção de efeitos socioeconômicos. A partir do exposto, em que notadamente o diesel apresenta um papel de enorme destaque no Brasil, o biodiesel se configura como uma importante oportunidade para assegurar a oferta interna de energia, ao servir de insumo de complementação e de substituição do diesel mineral.

Apesar da tendência que os combustíveis fósseis ainda permaneçam predominantes nas próximas décadas, com declínio do carvão e ascensão do gás natural, os renováveis deverão assumir importância crescente na matriz energética global. Assim como a Era do Petróleo sucedeu a Era do Carvão, que, por sua vez, sucedeu a Era da Lenha, o biodiesel se apresenta como um importante energético para compor uma provável cesta na futura Era dos Renováveis.

Globalmente, sobretudo como resultado das políticas de incentivo aos biocombustíveis implementadas, a produção mundial de biocombustíveis evoluiu em taxas muito expressivas desde 2000.

O etanol carburante nos Estados Unidos tem no milho a sua matéria-prima principal, tendo o país se tornado o maior produtor mundial deste biocombustível em 2006. O Brasil, por sua vez, é o segundo maior produtor de etanol do mundo e o primeiro oriundo de cana-de-açúcar. Ressalte-se que o consumo de energia de origem fóssil e as emissões de GEE do etanol brasileiro são significativamente inferiores aos do estadunidense, dado o uso do bagaço (biomassa residual) como insumo energético na produção.

A busca de garantia de abastecimento e a necessidade de mitigação da poluição local e global, ambos ameaçados pelo uso dos combustíveis fósseis, promovem um ambiente promissor para a penetração cada vez mais relevante dos biocombustíveis na matriz energética mundial. O Brasil, com a sua insolação intensa, disponibilidade hídrica e abundância de terras, reúne as vantagens competitivas para figurar entre as lideranças mundiais em biocombustíveis, o que representa um enorme potencial em contribuir tanto

para atender aos interesses econômicos e sociais do país bem como para conduzir o mundo a uma matriz global de baixo carbono.

O aproveitamento do biodiesel é uma realidade mundial, sendo empregadas tecnologias de produção que já possuem maturidade e escala de produção industrial, tanto nas regiões econômicas desenvolvidas, como Estados Unidos e União Europeia, quanto em países em desenvolvimento, como Brasil e Argentina. Além de possuir características físico-químicas similares ao diesel de petróleo, o biocombustível deve ter qualidade que assegure o bom funcionamento de motores e veículos, bem como a preservação ambiental. Existem diferentes rotas de produção, sendo função da matéria-prima graxa a escolha daquela que será empregada. A transesterificação metílica através de catálise alcalina é a tecnologia que possui o maior grau de desenvolvimento e a mais largamente empregada no mundo.

Os insumos graxos utilizados na obtenção de biodiesel podem ser encontrados em óleos vegetais (novos ou residuais), gorduras animais, resíduos industriais ou no esgoto sanitário. No entanto, a maior parte da produção mundial emprega como matérias-primas os óleos de soja, colza e dendê. A principal fonte de receitas financeiras dos cultivos oleaginosos comumente não consiste no óleo vegetal, que representa apenas um coproduto, mas sim na sua fração proteica, que pode ser aproveitada para fins alimentícios, humanos ou animais, ou mesmo energéticos. São gerados também outros subprodutos nesse processo, para os quais é adequado encontrar destinação, por razões de natureza técnica, ambiental ou econômica. É recomendável que o aproveitamento econômico e comercial da glicerina faça parte da estratégia de negócios do biodiesel.

O biodiesel é o biocombustível que tem apresentado as maiores taxas de crescimento no período recente: entre 2005 e 2015, sua produção mundial aumentou quase oito vezes, enquanto a de etanol mais que dobrou (ainda assim, o volume produzido de etanol em 2015 foi superior ao de biodiesel em mais de três vezes). Credita-se esse nível de progresso à adoção de uma política de estímulo ao estabelecimento dessa indústria por intermédio de incentivos diretos do Estado em vários países, com mais proeminência na Alemanha, França, EUA, Argentina, Brasil. A União Europeia permanece como o principal produtor regional, resultado de incentivos fiscais robustos, motivados inicialmente pelo aumento do preço do petróleo na década de 1990, e persistidos nas décadas seguintes também por seguridade energética e preocupações ambientais. Uma série de iniciativas governamentais e apoio político foram marcantes para o acelerado

crescimento da capacidade instalada e da produção estadunidense de biodiesel no final da década de 1990. Os Estados Unidos foram o principal país produtor em 2015. Diferentemente de EUA e da Alemanha, a França, a Argentina e o Brasil inseriram o biodiesel em suas respectivas matrizes energéticas somente a partir da segunda metade da década de 2000, o que não os impediu de estarem entre os principais atores globais dessa indústria.

O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial desde 2012, apenas sete anos após a introdução do biodiesel em sua matriz energética, através da Lei 11.097 em 2005. Ressalta-se que foi somente a partir de 2008 que passou a vigorar a exigência de ser adicionado o biocombustível ao diesel comercializado no país. Inicialmente, a mistura conteria obrigatoriamente apenas 2%, alcançando 5% em 2013. Não obstante, como instrumento de política pública, o Governo Federal antecipou o percentual de 5% para 2010. Desde 1º de março de 2017, a adição mandatória de biodiesel é de 8%, conforme a Lei nº 13.263/2016.

O óleo de soja vem sendo a principal matéria-prima empregada na produção nacional do biodiesel, representando em média 77% de participação nos últimos anos (2012 a 2015), com o sebo bovino com a segunda posição, média de 19%. Já o óleo de algodão aparece na terceira colocação, mas com uma participação bastante tímida (inferior a 3%). A utilização de outras espécies de oleaginosas, como a mamona, a palma e o girassol, não alcançou representatividade significativa na produção nacional.

A indústria de biodiesel no Brasil está representada majoritariamente por empresas verticalizadas do complexo da soja. A relação entre a demanda de biodiesel e sua capacidade de processamento mantém-se em um valor inferior a 50%, desde o início da obrigatoriedade. A ociosidade dessa indústria é uma característica observada em nível mundial, mas argumenta-se que tal proporção é resultado da expectativa do setor brasileiro em que ocorressem consecutivos aumentos do mandatório. A Lei 13.263/2016 ampliou o percentual mandatório para 9% e 10% em, respectivamente, até 2018 e 2019, o que resultará em que o papel do biodiesel no Brasil seja cada vez mais relevante.

A penetração do biodiesel no Brasil resultou em benefícios econômicos, ambientais e sociais. No primeiro aspecto, houve um efeito positivo sobre a Balança Comercial do Brasil, com melhoria das contas externas. Dada a dependência energética do país na importação do diesel, o uso do biocombustível permitiu reduzir a lacuna entre a capacidade de oferta e as necessidades de consumo deste derivado em território nacional,

o que representa cifras bastante elevadas. No período 2005-2015, os ganhos na balança comercial do país atingiram a quantia de US\$₂₀₁₅ 5,3 bilhões, considerando-se nesta estimativa tanto a receita com a exportação de glicerina como os dispêndios com importação de metanol e a perda de receita que teria sido obtida com a exportação do óleo de soja.

Os benefícios ambientais ocorrem em termos de redução do impacto global e também do local. Uma importante opção de mitigação do aquecimento global é o uso de energia renovável, a exemplo da substituição do diesel mineral pelo biodiesel. Para o período 2005-2015, estima-se que o consumo de 21 bilhões de litros de biodiesel proporcionou a mitigação de emissões de GEE em cerca de 60 milhões de toneladas de CO_{2eq}. Em relação à poluição local, avalia-se que, com o advento do PNPB, a redução de material particulado, decorrente da adição do biodiesel, proporcionou o benefício de reduzir a mortalidade e a morbidade no país, evitando mais de 3.000 mortes e 19.000 internações nas Regiões Metropolitanas do Brasil, assim como os custos relacionados à saúde.

Além dos benefícios econômicos e ambientais, destaca-se a promoção de renda de pequenos agricultores a partir da inserção da agricultura familiar no processo produtivo do biodiesel, em função do Selo Combustível Social. A posse do SCS permite participar de lote reservado dos leilões e possibilitou alíquotas diferenciadas de tributos federais incidentes sobre o biocombustível comercializado. Como resultado, houve uma forte adesão do setor industrial ao SCS no Brasil, mais de 90% da capacidade instalada do parque nacional em 2016. No período 2008-2015 foram adquiridas 16,3 milhões de toneladas da agricultura familiar, totalizando um desembolso de R\$₂₀₁₅ 18,5 bilhões.

Neste contexto, verifica-se o destacado papel do biodiesel como uma das fontes de energia limpa promissora para o mundo. Particularmente, para o Brasil, em função da sua extensão territorial e disponibilidade hídrica, coaduna-se com o enfrentamento de uma série de desafios de combate à desigualdade de renda e superação da dependência de importação de diesel mineral. A vocação do Brasil para a agricultura e o domínio tecnológico na produção do biocombustível, já desenvolvido e amadurecido nos últimos anos, proporcionam segurança no retorno da geração de benefícios que as políticas públicas de incentivo ao biodiesel e à agricultura familiar devem permanecer buscando.

Por sua vez, a tendência de gradual descarbonização da matriz energética global em função das crescentes restrições ambientais ao uso dos combustíveis fósseis, induz a uma persistente elevação da taxa de crescimento das energias renováveis no mundo. O

biodiesel, por ser um combustível líquido capaz de substituir o diesel mineral com pouca ou nenhuma adaptação nos motores ciclo diesel, se apresenta como uma importante fonte de energia a compor um cenário futuro de baixo carbono.

Desta forma, o PNPB conseguiu efetivamente concretizar a introdução do biodiesel na matriz energética, com implantação de capacidade de processamento e atendimento à demanda crescente. Este resultado logrou ser obtido graças à contribuição da soja, oleaginosa que o Brasil é um dos principais produtores mundiais. Também deve-se a esta espécie a continuidade da participação da agricultura familiar na produção do éster perpassando os sucessivos aumentos do mandatório, sobretudo após os problemas enfrentados pela mamona em 2011. O incentivo à ampliação da participação de outros insumos graxos na cesta de alternativas de abastecimento energético brasileira pode contribuir significativamente para maiores benefícios, também em termos sociais e de desenvolvimento regional. As características edafoclimáticas brasileiras reforçam sobremaneira o elenco de oportunidades creditado ao aproveitamento do biocombustível.

A estrutura do PNPB foi planejada baseando-se em três pilares fundamentais: a inclusão social por intermédio da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica, consoante afirmou Roussef (2004). Após mais de uma década transcorrida da publicação da Lei 11.097/2005, constata-se que o Programa conseguiu inserir o biodiesel na matriz energética nacional, concomitantemente à geração de benefícios irrefutáveis nas dimensões econômica, ambiental e social. Quanto ao desenvolvimento regional e à diversificação de matérias-primas, existe uma oportunidade de aprimoramento.

Para identificar qual deveria ser a hierarquização dos insumos graxos a utilizar para a ampliação sustentável da produção de biodiesel no Brasil, esta pesquisa recorreu ao conceito do desenvolvimento "que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades", publicado no Relatório Brundtland (WCED, 1987). As múltiplas dimensões envolvidas nesta concepção de sustentabilidade requerem uma metodologia de análise multicritério, que dê suporte à tomada de decisão, para o estabelecimento das prioridades que se julgam pertinentes.

Com este objetivo, foi realizado um estudo de caso sobre a hierarquização das diferentes matérias-primas graxas que podem ser empregadas na produção sustentável de biocombustível no país, através da aplicação do método DEA. As condições edafoclimáticas brasileiras permitiram agrupar as diversas alternativas de acordo com a

diferença de tempo para sua disponibilidade (imediato ou cultivo); o tempo de cultivo (perene ou anual); e a quantidade de mão-de-obra envolvida (mecanizado ou intensivo em mão-de-obra). Os resultados da pesquisa apontaram que, considerando as múltiplas dimensões do desenvolvimento sustentável, a maximização dos benefícios para o país corresponderia ao aproveitamento energético do óleo de palma para produção de biodiesel, seguido pelos insumos residuais, diferentemente do histórico observado, no qual a soja tem participação absolutamente majoritária.

É forçoso que a política de biocombustíveis seja conduzida de forma a estimular o desenvolvimento econômico rural e a agricultura sustentável, com destaque ao incentivo à pesquisa de matérias-primas, propiciando que seus preços se tornem mais competitivos em relação ao diesel fóssil. Para assegurar que o preço de mercado do óleo de palma se torne competitivo para a produção do biodiesel, é imperativo o estabelecimento das condições necessárias à ampliação sustentável da produção desta oleaginosa, que acarreta o benefício da criação de muitos postos de trabalho por área plantada, mas requer empreendimentos de longo prazo. Por outro lado, o uso dos insumos residuais é aconselhado por sua disponibilidade imediata, seu baixo custo e suas vantagens ambientais.

Finalmente, a pesquisa aponta uma série de possibilidades para a expansão sustentável da produção e uso do biodiesel no Brasil.

Como desdobramento deste trabalho, sugere-se o desenvolvimento em trabalhos futuros dos temas que são descritos a seguir.

Considerando a necessidade de promoção do desenvolvimento do semiárido brasileiro, que concentra a maior parcela da população rural em situação de pobreza do país e que as únicas usinas em operação em 2016 pertenciam à Petrobras Biocombustíveis - PBio, faz-se necessário avaliar o impacto socioeconômico da venda das unidades produtoras de biodiesel da empresa. De acordo com o plano de negócios adotado pela gestão atual da Petrobras, haverá a saída integral das atividades de produção de biocombustíveis, o que deverá piorar os indicadores sociais do semiárido nordestino, uma vez que a PBio vem tendo atuação relevante para o enfrentamento da pobreza rural na região. Examinar esta questão sinaliza a necessidade de pesquisas futuras.

Os cenários alternativos elaborados apontam para uma ampliação significativa dos benefícios econômicos, ambientais e sociais do cenário de referência e, ainda, que será

necessária a importação de diesel A para o atendimento ao consumo nacional desse combustível no horizonte de estudo. Desta forma, mostra-se pertinente aprofundar a discussão sobre qual deveria ser a abrangência desta medida, e o limite de substituição da importação do combustível.

Mostra-se também adequado envidar esforços para identificar o motivo pelo qual não há um consumo maior de biodiesel em certas regiões do país (como o Norte e o Centro-Oeste), nas quais o preço do biodiesel, em condições específicas, é competitivo com o diesel fóssil e existe capacidade industrial ociosa.

Propõe-se, ainda, desenvolver estudos sobre a glicerina como matéria-prima para aplicações industriais, incluindo o desenvolvimento de novos produtos, processos e aplicações, com vistas a favorecer a competitividade do biodiesel.

Analogamente, sugere-se incentivar estudo sobre o uso de biomassa residual da oleaginosa para produção de biogás, e com posterior emprego do biometano obtido como insumo para produção de metanol.

Mais além, em continuidade a esta pesquisa, sugere-se analisar a viabilidade de alavancar a redução das emissões de GEE através da compatibilização do uso de biodiesel com biometano em sistemas bicomcombustível, através da instalação de kits, sem a substituição dos equipamentos existentes.

7 Referências Bibliográficas

ABREU, F. R.; VIEIRA, S., J. N.; RAMOS, S. Y., 2006. *Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel Diretrizes, desafios e perspectivas*. In Revista de Política Agrícola. Ano XV – N° 3 – Jul./Ago./Set. 2006. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Revista%203%2006.pdf. Acesso em: 10 mar. 2016.

AFDC - Alternative Fuel Data Center, 2015a. *Ethanol Blends*. Disponível em http://www.afdc.energy.gov/fuels/ethanol_blends.html. Acesso em 12 fev. 2016.

_____. 2015b. *Key Federal Legislation*. Disponível em http://www.afdc.energy.gov/laws/key_legislation#epact92. Acesso em 22 ago. 2016.

_____. 2015c. *Renewable Identification Numbers*. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/laws/RIN.html>. Acesso em 22 ago. 2016.

_____. 2015d. *Biodiesel Blends*. Disponível em: http://www.afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_blends.html. Acesso em 10 jul. 2016.

_____. 2016. *U.S. Biodiesel Production, Exports, and Consumption*. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/data/10325>. Acesso em 25 jan. 2017.

AGÊNCIA PETROBRAS, 2013. *Exposição Petrobras em 60 Momentos. Década de 1960*. Disponível em <http://exposicao60anos.agenciapetrobras.com.br/decada-1960.php>. Acesso em 18 mai. 2013.

AGÊNCIA SENADO, 2016. *Sancionada lei que revoga obrigatoriedade de exploração do pré-sal pela Petrobras. 30/11/2016*. Disponível em <http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/11/30/sancionada-lei-que-revoga-obrigatoriedade-de-exploracao-do-pre-sal-pela-petrobras>. Acesso em 12 fev. 2017.

ALCANTARA, R.; AMORES, J.; CANOIRA, L.; FIDALGO, E.; FRANCO, M.J.; NAVARRO A., 2000. *Catalytic production of biodiesel from soy-bean oil, used frying oil and tallow*, Biomass and Bioenergy, Volume 18, Issue 6, 1 June 2000, Pages 515-527, ISSN 0961-9534, [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00014-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00014-3).

ALMEIDA, P. R., 2008. *Monteiro Lobato e a emergência da política do petróleo no Brasil*. In: Barros Filho, Omar L. de e Bojunga, Sylvia (orgs.). *Potência Brasil: Gás natural, energia limpa para um futuro sustentável*. (Porto Alegre: Laser Press Comunicação, 2008). Disponível em

https://www.academia.edu/5794083/065_Monteiro_Lobato_e_a_emerg%C3%Aancia_da_pol%C3%ADtica_do_petr%C3%B3leo_no_Brasil_2008. Acesso em 28 jul. 2012.

ALVEAL, E. D. C., 2003. *Evolução da Indústria de Petróleo. Nascimento e Desenvolvimento*. Rio de Janeiro: COPPEAD-IE/IJFRJ, 2003. (Mimeo).

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2016. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2016*. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario2016/anuario2016.zip>. Acesso em 28 out. 2016.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013a. *Boletim Anual de Preços 2013: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional*. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/Boletim-Anual/Boletim-2013.pdf>. Acesso em 14 dez. 2016.

_____. 2013b. *Resolução ANP nº 50, de 23.12.2013* - DOU 24.12.2013. Dispõe sobre as especificações do óleo diesel de uso rodoviário contida no Regulamento Técnico ANP nº 4 de 2013 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 ago. 2014. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>. Acesso em 10 dez. 2016.

_____. 2014a. *Boletim Anual de Preços 2014: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional*. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/Boletim-Anual/Boletim-2014.pdf>. Acesso em 04 jul. 2016.

_____. 2014b. *Resolução ANP nº 45, de 25.8.2014* - DOU 26.8.2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 ago. 2014. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>. Acesso em 04 mar. 2016.

_____. 2015a. *Petróleo e Estado*. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.anp.gov.br/site/extras/downloads/livro-petroleo-e-estado-ANP.pdf>. Acesso em 21 mai. 2016.

_____ 2015b. *Orientações sobre o Edital Padrão do Leilão de Biodiesel*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=78862>. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2016a. *Edital Padrão para entregas previstas para 2016 – Atualizado*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=79744>. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2016b. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2016*. Disponível em: http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2016c. *Resumo dos Leilões de Biodiesel da ANP*. Disponível em: http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/DISTRIBUICAO_E_REVENDA/LEILOES_DE_BIO_DIESEL/Resumo_leiloes_ANP-L51.pptx. Acesso em 28 out. 2016.

_____ 2017. *Dados Estatísticos. Vendas de Combustíveis. Óleo Diesel*. Disponível em: http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/DADOS_ESTADISTICOS/Vendas_de_Combustiveis/Vendas_de_Combustiveis_m3.xls. Acesso em: 10 mar. 2017.

ANTOLIN, G., TINAUT, F. V., BRICENO, Y., CASTANO, V., PEREZ, C., & RAMIREZ, A. I., 2002. *Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification*. Bioresource technology 83.2 (2002): 111-114.

AO&GHS - American Oil & Gas Historical Society, 2016. *Petroleum Pioneers, First American Oil Well*. Disponível em: <http://aoghs.org/petroleum-pioneers/american-oil-history/>. Acesso em 25 jun. 2016.

ARAGÃO, A. P., 2005. *Estimativa da Contribuição do Setor Petróleo ao Produto Interno Bruto Brasileiro: 1955/2004*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ATABANI AE, SILITONGA AS, BADRUDDIN IA, MAHLIA TMI, MASJUKI HH, MEKHILEF S., 2012. *A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16(4):2070–93.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2006a. *Formação do Mercado de Biodiesel no Brasil*. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2502.pdf. Acesso em 14 dez. 2016.

_____2006b. *Seminário Investimentos em BIODIESEL*. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Biodiesel_BNDES.pdf. Acesso em 09 dez. 2016.

BNDES e CGEE - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. 1 ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 314 p. ISBN 9788587545244. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2002/1/Bioetanol%20da%20cana-de-acucar_P.pdf. www.cgее.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=5126. Acesso em 22 ago. 2016.

BP - British Petroleum, 2016a. *BP Statistical Review of World Energy 2016*. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. Acesso em: 28 out. 2016.

_____2016b. *BP Energy Outlook 2016*. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>. Acesso em 27 nov. 2016.

BRASIL, 1938a. *Decreto-Lei nº 366 de 11 de abril de 1938*. Incorpora ao Código de Minas, decreto nº 24.642, de 10 de julho de 1934, novo título, em que se institue o regime Legal das jazidas de petróleo e gases naturais, inclusive os gases raros. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, RJ, 12 abr. 1938. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-366-11-abril-1938-349726-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em 28 jul. 2015.

_____1938b. *Decreto-Lei nº 395, de 29 de abril de 1938*. Declara de utilidade pública e regula a importação, exportação, transporte, distribuição e comércio de petróleo bruto e seus derivados, no território nacional, e bem assim a indústria da refinação de petróleo importado em produzido no país, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, RJ, 29 abr. 1938. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-395-29-abril-1938-349746-norma-pe.html>. Acesso em 28 jul. 2015.

_____1953. *Lei nº 2.004, de 03 de outubro de 1953*. Dispõe sobre a Política Nacional do Petróleo e define as atribuições do Conselho Nacional do Petróleo, institui a Sociedade Anônima, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, RJ, 03 out. 1953. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L2004.htm. Acesso em 28 jul. 2015.

_____ 1975. **Decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975.** Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras Providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 nov. 1975. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 14 dez. 2015.

_____ 1979. **Decreto nº 83.700, de 5 de Julho de 1979.** Dispõe sobre a execução do Programa Nacional do Álcool, cria o Conselho Nacional do Álcool - CNAL, a Comissão Executiva Nacional do Álcool - CENAL, e dá outras Providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 05 jul. 1979. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-83700-5-julho-1979-433063-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em 14 dez. 2015.

_____ 1995. **Emenda Constitucional nº 9, de 09 de novembro de 1995.** Dá nova redação ao art. 177 da Constituição Federal, alterando e inserindo parágrafos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 nov. 1995. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Emendas/Emc/emc09.htm. Acesso em 28 out. 2015.

_____ 1997. **Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997.** Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 ago. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm. Acesso em: 28 out. 2016.

_____ 2002. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.** Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 abr. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438compilada.htm. Acesso em: 12 fev. 2016.

_____ 2003a. **Decreto nº 02 de julho de 2003.** Institui Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia, propondo, caso necessário, as ações necessárias para o uso do biodiesel. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 jul. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2003/Dnn9920.htm. Acesso em 12 fev. 2015.

_____ 2003b. **Decreto de 23 de dezembro de 2003**. Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 jul. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2003/Dnn10093.htm. Acesso em 28 jul. 2015.

_____ 2004a. **Decreto nº 5.297 de 6 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 dez. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5297.htm. Acesso em 28 out. 2015.

_____ 2004b. **Decreto nº 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 abr. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5060.htm. Acesso em 10 mar. 2016.

_____ 2004c. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mar. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm. Acesso em: 22 jun. 2016.

_____ 2005a. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 Jan. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em 03 mar. 2016.

_____ 2005b. **Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005**. Dispõe sobre o Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel

e sobre a incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins sobre as receitas decorrentes da venda desse produto; altera as Leis nos 10.451, de 10 de maio de 2002, e 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 mai. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11116.htm. Acesso em 04 mar. 2016.

_____ 2006. *Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006*. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jul. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm. Acesso em: 24 abr. 2016.

_____ 2007. *Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007*. Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM, orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 nov. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6263.htm. Acesso em 04 jul.2015.

_____ 2009. *Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009*. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em 08 jul. 2015.

_____ 2010a. *Lei nº 12.351 de 22 de dezembro de 2010*. Dispõe sobre a exploração e a produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, sob o regime de partilha de produção, em áreas do pré-sal e em áreas estratégicas; cria o Fundo Social - FS e dispõe sobre sua estrutura e fontes de recursos; altera dispositivos da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12351.htm. Acesso em 28 jul. 2015.

_____ 2010b. *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 dez. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm. Acesso em 28 out. 2015.

_____ 2011. **Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011.** Altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 set. 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112490.htm. Acesso em: 12 fev. 2016.

_____ 2012. **Decreto nº 7.768, de 27 de junho de 2012.** Altera o Decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004, que dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7768.htm. Acesso em: 04 mar. 2016.

_____ 2013. **Lei nº 12.859, de 10 de setembro de 2013.** Institui crédito presumido da Contribuição PA ra oa PIS/Pasep e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) na venda de álcool, inclusive para fins carburantes (...) e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 set. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12859.htm. Acesso em 14 dez. 2016.

_____ 2014. **Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014.** Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 set. 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm. Acesso em: 25 jan. 2016.

_____ 2015. **Decreto nº 8.395, de 28 de janeiro de 2015.** Altera o Decreto nº 5.059, de 30 de abril de 2004, que 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 e querosene de aviação, e o Decreto nº 5.060, de 30 de abril de 2004, que 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 abr. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8395.htm. Acesso em 14 dez. 2016.

_____ 2016a. *Lei nº 13.365, de 29 de novembro de 2016*. Altera a Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010, para facultar à Petrobras o direito de preferência para atuar como operador e possuir participação mínima de 30% (trinta por cento) nos consórcios formados para exploração de blocos licitados no regime de partilha de produção. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 nov. 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13365.htm#art1. Acesso em 12 fev. 2017.

_____ 2016b. *Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016*. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 mar. 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113263.htm. Acesso em 22 ago. 2016.

BRASIL, N. Í.; ARAÚJO, M. A. S., SOUSA, E. C. M., 2012. *Processamento de petróleo e gás. Petrobras*, Rio de Janeiro: LTC.

BLS - Bureau of Labor Statistics, 2016. *Databases, Tables & Calculators by Subject: Inflation & Prices*. Disponível em: <https://www.bls.gov/data/>. Acesso em 28 out. 2016

CAMPOS, A. F., 2005. *A Reestruturação da Indústria de Petróleo Sul Americana nos Anos 90*. Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

CANELAS, A.L.S., 2007. *Evolução da Importância Econômica da Indústria de Petróleo e Gás Natural no Brasil: Contribuição a Variáveis Macroeconômicas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

CARD - Center for Agricultural and Rural Development, 2007a. *A Comparative Analysis of the Development of the United States and European Union Biodiesel Industries*. Disponível em: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=card_briefingpapers. Acesso em 10 mar. 2015.

_____ 2007b. *The Growth and Direction of the Biodiesel Industry in the United States*. Disponível em: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1468&context=card_workingpapers. Acesso em 03 mar. 2015.

CARMO, V. B., 2013. *Avaliação da eficiência energética renovável de biomassa alternativas para a geração de eletricidade*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, SP.

CARRIQUIRY, M.L. 2007. *U.S. Biodiesel Production: Recent Developments and Prospects*. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=iowaagreview>. Acesso em 28 out. 2015.

CASTRO, H. F.; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C.; AGUIAR, C. L., 2004. *Modificação de óleos e gorduras por biotransformação*. Quím. Nova [online]. vol.27, n.1, pp.146-156. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000100025&lng=en&nrm=iso. Acesso em 21 dez. 2016.

CBO - Congressional Budget Office, 2015. *Testimony The Renewable Fuel Standard: Issues for 2015 and Beyond*. Disponível em: <https://www.cbo.gov/sites/default/files/114th-congress-2015-2016/reports/50944-RenewableFuelStandard.pdf>. Acesso em 21 mai. 2016.

CE – Comissão Europeia,, 2003a. *Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0030&from=PT>. Acesso em 18 mai. 2015.

_____ 2003b. *Directiva 2003/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0096&from=PT>. Acesso em 28 jan. 2015.

_____ 2009. *Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=PT>. Acesso em 28 jan. 2015.

_____ 2012. *A política agrícola comum – A história continua*. Disponível em: http://ec.europa.eu/agriculture/50-years-of-cap/files/history/history_book_lr_pt.pdf. Acesso em 28 jan. 2015.

CECCHI, J. C., DUTRA, L. E. D., 1998. *Petróleo, Preços e Tributos. Experiência Internacional e Política Energética Nacional*. Editora Suma Econômica. Rio de Janeiro.

CENTROCLIMA - Centro de Estudos sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, 2002. *Proposta Revisada de Critérios e Indicadores de Elegibilidade para Avaliação de Projetos Candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)*. Disponível em: http://easycarbon.com.br/materias/criterio_de_ELEGIBILIDADE_MDL.pdf. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____ 2007. *Projeto SouthSouthNorth 1 - Desenvolvimento, facilitação e implementação de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em países do Hemisfério Sul*. Disponível em: http://antigo.centroclima.coppe.ufrj.br/new2/proj_ssn1.htm. Acesso em: 22 ago. 2016.

CHANG, C.C.; WAN, S.W., 1947 *China's motor fuels from tung oil*. Industrial & Engineering Chemistry, v. 39, n. 12, p. 1543-1548.

CIM - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMIC - Brasil*. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf. Acesso em: 28 out. 2015.

CIMGC – Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, 2003. *Resolução nº 1 de 11 de setembro de 2003. Dispõe sobre as atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0013/13130.pdf. Acesso em: 10 ago. 2016.

Club of Rome, 2016. *Club of Rome. About us. History*. Disponível em: <http://www.clubofrome.org/about-us/>. Acesso em: 22 ago. 2016.

COM - Comissão das Comunidades Europeias, 2000. *Livro Verde – Para uma Estratégia Europeia de Segurança do Aproveitamento Energético*. Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias. Luxemburgo, 2001.

_____ 2006. *Relatório da Comissão ao Conselho - sobre o reexame do regime das culturas energéticas*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2006/PT/1-2006-500-PT-F2-1.Pdf>. Acesso em 08 jul. 2015.

_____ 2008. *Comunicação da Comissão - Eficiência Energética: Atingir o objetivo de 20%*. COM/2008/0772. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52008DC0772&from=PT>. Acesso em 09 dez. 2015.

_____ 2014a. *Comunicação da Comissão - Um quadro político para o clima e a energia no período de 2020 a 2030*. COM/2014/015. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=PT>. Acesso em 21 dez. 2015.

_____, 2014b. *Comunicação da Comissão - Estratégia europeia de segurança energética. COM/2014/330*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0330&from=EN>. Acesso em 28 jan. 2017

CONAB - Companhia Brasileira de Grãos, 2003. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2002/03 – Sexto levantamento*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/c009db051e6748a6a4f54524fa70ec55..pdf>. Acesso em 21 jan. 2017.

_____, 2017. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2016/17 – Quarto levantamento*. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_11_11_30_39_boletim_graos_janeiro_2017.pdf. Acesso em 25 jan. 2017.

COPERSUCAR, 1989. *Proálcool: fundamentos e perspectivas*. São Paulo: Copersucar, 1989.

COSTA, A. O., 2003. *Poluição por óleo na Baía de Guanabara: O caso do complexo industrial REDUC-DTSE*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

COSTA A. O.; OLIVEIRA L. B.; LINS, M. P. E.; SILVA, A. C. M.; ARAUJO M. S. M.; PEREIRA JR., A. O., Rosa L. P., 2013. *Sustainability Analysis of biodiesel production: A review on diferente resources in Brazil*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;27:407-412.

CRS - Congressional Research Service, 2016. *The Renewable Fuel Standard (RFS): Waiver Authority and Modification of Volumes*. Disponível em: <https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R44045.pdf>. Acesso em 09 dez. 2016.

CSD - Commission on Sustainable Development, 2001. *Indicators of sustainable development: framework and methodologies*. Disponível em: http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd9_indi_bp3.pdf. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____, 2007. *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. Disponível em: www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf. Acesso em: 28 jul. 2016.

DEMIRBAŞ, A., 2003. *Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey*. Energy conversion and Management, v. 44, n. 13, p. 2093-2109, 2003.

DESTATIS - Statistisches Bundesamt, 2017. *Energy. Production. Survey of biofuels*. Disponível em:

<https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/EconomicSectors/Energy/Production/Tables/Biofuels.html>. Acesso em 25 jan. 2017.

DIAS, G. G., 2013. *Mudança institucional e desenvolvimento: o caso da indústria do petróleo no Brasil*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento. IE/UFRIJ, Rio de Janeiro.

DUFF, S. J. B.; MURRAY, W. D., 1996. *Bioconversion of forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review*. Bioresource Technology; Vol.55, pp.1-33.

DUFFIELD, J. A.; COLLINS, K., 2006. *Evolution of renewable energy policy. Choices: The Magazine of Food, Farm & Resource Issues*; 2006 1st Quarter, Vol. 21 Issue 1, p9. Disponível em <http://www.choicesmagazine.org/2006-1/biofuels/2006-1-02.pdf>. Acesso em 03 mar. 2015.

EIA - Energy Information Administration. US Department of Energy, 2002. *Petroleum Chronology of Events 1970 - 2000*. Disponível em http://www.eia.gov/pub/oil_gas/petroleum/analysis_publications/chronology/petroleumchronology2000.htm. Acesso em 18 mai. 2016.

_____ 2016a. *Total Energy. Data. Monthly Energy Review. Renewable energy. Table 10.4 Biodiesel and Other Renewable Fuels Overview*. Disponível em: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/xls.cfm?tbl=T10.04&freq=m>. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2016b. *International Energy Outlook, 2016*. Disponível em: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf). Acesso em: 28 out. 2016.

_____ 2016c. *Fuel Ethanol Overview*. Disponível em: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/xls.cfm?tbl=T10.03>. Acesso em 27 nov. 2016.

_____ 2016d. *U.S. Product Supplied of Finished Motor Gasoline (Thousand Barrels)*. Disponível em: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/xls.cfm?tbl=T10.03>. Acesso em 09 dez. 2016.

_____ 2016e. *Annual Energy Outlook 2016*. Disponível em [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2016).pdf). Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2017. *World liquid fuels consumption million barrels per day (MMb/d)*. Disponível em <https://www.eia.gov/forecasts/steo/xls/fig6.xlsx>. Acesso em 01 abr. 2017.

ELETROBRAS, 2015. *Grupo Técnico Operacional da Região Norte – GTON. Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2016*. Disponível em http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/083/documento/plano_anual_de_operacao_2016.pdf. Acesso em 14 dez. 2016.

_____ 2016. *Programas. PROINFA. Relação de Empreendimentos Contratados e Extratos dos Contratos e Termos Aditivos Celebrados*. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/ProinfA/data/Pages/LUMISABB61D26PTBRIE.htm>. Acesso em 09 dez. 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1981. *Programa Nacional de Pesquisa de Energia*, Brasília.

_____ 2008. *Documentos 201. Oleaginosas e seus Óleos: Vantagens e Desvantagens para Produção de Biodiesel*. Campina Grande, PB. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA-2009-09/22146/1/DOC201.pdf>. Acesso em 10 ago. 2016.

_____ 2009. *Documentos 220. Opções para a Produção de Biodiesel no Semiárido Brasileiro em Regime de Sequeiro: Por Que Algodão e Mamona*. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA-2010/23668/1/DOC220.pdf>. Acesso em 10 jul. 2014.

_____ 2015. *Documentos 171. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos* 2ª edição. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126080/1/Doc171-OL.pdf>. Acesso em 12 fev. 2016.

EPA - US Environmental Protection Agency, 2002. *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*. Disponível em <https://www3.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>. Acesso em 14 dez. 2016.

_____ 2013. *Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) - Overview*. Disponível em: <https://archive.epa.gov/mtbe/web/html/faq.html>. Acesso em 21 de dezembro de 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2015a. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acesso em 14 de dezembro de 2016.

_____. 2015b. *Nota Técnica DEA 01/15. Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2001%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20no%20Hor%C3%A1rio%20de%20Ponta.pdf>. Acesso em 14 de dezembro de 2016.

_____. 2016a. *Balço Energético Nacional 2015*. Ministério de Minas e Energia – MME. Disponível em: <https://www.ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2016.

_____, 2016b. *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2015*. Ministério de Minas e Energia - MME Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura%20dos%20Biocombust%C3%ADveis%20-%20boletins%20peri%C3%B3dicos/An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura%20dos%20Biocombust%C3%ADveis%20-%20Ano%202015.pdf>. Acesso em 10 jul. 2016.

FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2010. *ADITIVOS OXIGENADOS PARA GASOLINAS VERDES. Relatório realizado no âmbito da Unidade Curricular Projecto FEUP*. Disponível em https://web.fe.up.pt/~projfeup/cd_2010_11/files/QUI602_relatorio.pdf. Acesso em 10 ago. 2015.

FLEXOR, G.; KATO, K. Y. M.; LIMA, M. S.; ROCHA B. N.. 2011. *Dilemas institucionais na promoção dos biocombustíveis: o caso do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil. Cadernos do Desenvolvimento. 2011. Ano 5, nº 8*. Rio de Janeiro: Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento, 2011. Disponível em: http://www.centrocelsofurtado.org.br/arquivos/image/201109221441340.CD8_0.pdf. Acesso em 22 ago. 2014.

FREEDMAN, B., PRYDE, E. H.; MOUNTS, T. L, 1984. *Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils*. J Am Oil Chem Soc (1984). JAOCS. 61: 1638-1643. doi:10.1007/BF02541649.

FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H., 1986. *Transesterification kinetics of soybean oil*. JAOCS 63(10): 1375-1380.

FREIRE, A. F., 2001. *Análise Comparativa da Evolução Política e Institucional da Indústria de Petróleo na América Latina*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

FUKUDA, H., AKIHIKO K.; NODA, H., 2001. *Biodiesel fuel production by transesterification of oils*. Journal of bioscience and bioengineering 92.5 (2001): 405-416.

GIAKOUMIS, E. G., 2012. *A statistical investigation of biodiesel effects on regulated exhaust emissions during transient cycles*. Applied Energy Vol. 98, pp. 273-291.

GINSBERG, J., 2009. *The Development of the Pennsylvania Oil Industry*. *American Chemical Society (ACS)*. Disponível em: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/pennsylvaniaoilindustry/pennsylvania-oil-industry-historical-resource.pdf>. Acesso em 03 mar. 2016.

GOMES, E. G., 1999. *Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial*. Tese (de mestrado). Programa de Engenharia de Produção. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. RJ. 229 p.

GPO - U.S. Government Publishing Office, 2004. *American Jobs Creation Act of 2004*. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-108publ357/pdf/PLAW-108publ357.pdf>. Acesso em 23 abr. 2015.

_____ 2005. *Energy Policy Act of 2005*. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-109publ58/pdf/PLAW-109publ58.pdf>. Acesso em

_____ 2007. *Energy Independence and Security Act de 2007*. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-110publ140/pdf/PLAW-110publ140.pdf>. Acesso em 10 mar. 2016.

_____ 2008. *Food and Energy Security Act de 2008*. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-110publ246/pdf/PLAW-110publ246.pdf>. Acesso em 22 jun. 2016.

GRAY, K.A.; ZHAO, L.; EMPTAGE, M., 2006. *Bioethanol. Current Opinion in Chemical Biology*, v. 10, pp. 1-6.

GTI – Grupo de Trabalho Interministerial, 2003. *Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial Encarregado de Apresentar Estudos sobre a Viabilidade de Utilização de Óleo Vegetal – Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/galerias/arquivos/biodiesel/relatoriofinal.pdf>.

Acesso em 22 ago. 2015.

GUSMAO, J.; BRODZKI, D.; DJÉGA-MARIADASSOU, G.; FRETY, R., 1989. *Utilization of vegetable oils as an alternative source for diesel-type fuel: hydrocracking on reduced Ni/SiO₂ and sulphided Ni-Mo/γ-Al₂O₃*. *Catalysis Today*, v. 5, n. 4, p. 533-544.

HAMELINCK, C. N.; VAN HOOIJDONK, G.; FAAIJ, A. P. C., 2005. *Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long-term*. *Biomass and Bioenergy*, v. 28, pp. 384-410.

HÉMERY, D., DEBIER, J.C., BELÉAGE, J.P., 1993, *Uma História da Energia*, Editora Universidade de Brasília, Brasília.

HOBSBAWN, E., 1995. *A Era dos Extremos: O Breve Século XX 1914-1991*. São Paulo: Companhia das Letras.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. *Censo 2010. Regiões Metropolitanas. Tabela 5.1.1 - População residente, por sexo e situação do domicílio, segundo as Regiões Metropolitanas, as Regiões Integradas de Desenvolvimento e os municípios – 2010*.

Disponível em:

[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/xls/Regioes Metropolitanas/tab5_1_1.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/xls/Regioes_Metropolitanas/tab5_1_1.zip). Acesso em 12 fev. 2017.

_____. 2015. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

_____. 2016a. *Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultinpc.shtm. Acesso em: 04 mar. 2016.

_____. 2016b. *Estimativas de População*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm.

Acesso em: 21 dez. 2016.

IDEM, R. O.; KATIKANENI, S. P. R.; BAKHSHI, N. N., 1996. *Thermal cracking of canola oil: reaction products in the presence and absence of steam*. Energy & Fuels, v. 10, n. 6, p. 1150-1162.

IEA – International Energy Agency, 2002. *Biodiesel – a Success Story. The Development of Biodiesel in Germany*. Disponível em: http://biodiesel.org/reports/20020201_gen-318.pdf. Acesso em 28 jan. 2015.

_____. 2004. *Biofuels for Transport: An International Perspective*.

_____. 2007. *Contribution of Renewables to Energy Security. IEA Information Paper*. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/so_contribution.pdf. Acesso em 21 mai. 2015.

_____. 2016a. *Key World Energy Statistics 2016*. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2016.

_____. 2016b. *World Energy Outlook 2016. Energy access database*. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energydevelopment/energyaccessdatabase/>. Acesso em: 28 jan. 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf. Acesso em 10 jul. 2014.

_____. 2014. *Greenhouse Gas Emissions by Economic Sectors. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acessado em 10 ago. 2016.

JEROMIN, L.; PEUKERT, E.; WOLLMAN, G., 1987 *Process for the pre-esterification of free fatty acids in fats and oils*, US Patent No. 4,698,186.

KÖSE Ö.; TÜTER M.; AYSE A. H., 2002. *Immobilized Candida antarctica lipase-catalyzed alcoholysis of cotton seed oil in a solvent-free medium*. Bioresour. Technol. 83: 125–129.

LA ROVERE, E. L., 1999. *Política Ambiental e Planejamento Energético. Apostila da disciplina de Poluição Industrial*. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

LA ROVERE, E. L.; SOARES, J. B.; OLIVEIRA, L. B.; LAURIA, T., 2010. *Sustainable expansion of electricity sector: Sustainability indicators as an instrument to support decision making*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v. 14, p. 422-429, 2010.

LINS, M. P. E; SILVA, A. C. M., 2004. *Análise envoltória de dados aplicada a fontes alternativas de energia e desenvolvimento sustentável*.

LINS, M. P. E; OLIVEIRA, L. B.; SILVA, A. C. M.; ROSA L. P., 2006. *Avaliação de Desempenho das Fontes Alternativas de Energia no Brasil utilizando a Análise Envoltória de Dados*. XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Pesquisa Operacional na Sociedade: Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2006/pdf/arg0011.pdf>. Acesso em 08 jul. 2017.

LINS, M. E.; LOBO, M. S. C.; SILVA, A. C. M.; FISZMAN. R.; RIBEIRO, V. J. P., 2007. *O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros*. Ciênc. Saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 985-998, Aug. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232007000400020&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 12 fev. 2017.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. Costa; CRUZ, R. S., 2009. *Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos*. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1596-1608. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000600044&lng=en&nrm=iso. Acesso em 22 ago. 2017.

MA, F.; HANNA, M. A., 1999. *Biodiesel Production: A Review*. Bioresource Technology, 70, 1-15.

MACCRIMMON, K. R., 1973. *An overview of multiple objective decision making*. In J. L. Cochrane & M. Zeleny (Eds), Multiple criteria decision making. Columbia, S.C.: University of South Carolina Press, 18-44.

MACHADO, C. T. C., 2015. *Agricultura Familiar, Instrumentos de Ação Pública e o Jogo de Interesses: Uma Análise do Selo Combustível Social*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005. *Diretrizes de Política de Agroenergia 2006-2011*. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/diretrizes_de_politica_de_agroenergia_2006_2011_000g6twyw7102wx5ok0wtedt39cd5pf9.pdf. Acesso em 28 jul. 2015.

_____. 2006. *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA.pdf. Acesso em 28 out. 2015.

_____. 2007. *Projeções do agronegócio 2006/2007-2016/2017*. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/6/1127.pdf>. Acesso em 14 dez. 2015.

_____. 2015. *Portaria MAPA nº 75, de 05 de março de 2015*. Fixa, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 mar. 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 21 mai. 2016.

MARGULIS, S., 1990. *Economia dos recursos naturais*. In: MARGULIS, S. (ed.) Meio ambiente - aspectos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro: IPEA/INPES.

MARTIN, J.M., 1990. *L'Économie Mondiale de l'Énergie*. Paris: Éditions La Découverte (Edição Brasileira, 1992: A Economia Mundial da Energia. São Paulo: UNESP).

MARX, K., ENGELS, F., 2002. *A Ideologia Alemã*, Editora Martins Fontes, 2ª Edição - 3ª tiragem, São Paulo.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. *Portaria MCT nº 702, de 30 de Outubro de 2002*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 nov. 2004. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14600.html>. Acesso em 04 jul. 2015.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário, 2005. *Instrução Normativa nº 01, de 05 de Julho de 2005*. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão de uso do selo combustível social. Disponível em: <http://portal.mda.gov.br/o/4218792>. Acesso em: 25 jun. 2015.

_____. 2009. *Instrução Normativa nº 01, de 19 de fevereiro de 2009*. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do selo combustível social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 fev. 2009. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_627/IN%2001%2019fev09.pdf. Acesso em: 08 jul. 2015.

_____ 2011. *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial*. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf. Acesso em: 22 ago. 2015.

_____ 2015a. *Portaria nº 337, de 18 de setembro de 2015*. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 set. 2015. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_627/Portaria%20337,%20de%2018%20de%20setembro%20de%202015_0.pdf. Acesso em: 12 fev. 2016.

_____ 2015b. *Portaria nº 362, de 16 de outubro de 2015. Retifica a Portaria nº 337 de 18 de setembro de 2015*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 out. 2015. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_873/Portaria%20MDA%20n%C2%BA%20362_2015%20Retifica%20a%20Portaria%20MDA%20337.pdf. Acesso em: 25 jun. 2015.

_____ 2016a. *Portaria nº 4, de 5 de janeiro de 2016. Retifica a Portaria nº 337 de 18 de setembro de 2015*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jan. 2016. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_873/Portaria%20MDA%20n%C2%BA%204_2016%20Retifica%20a%20Portaria%20MDA%20337.pdf. Acesso em: 14 dez. 2016.

_____ 2016b. *Balanco do Selo Combustível Social 2015 para Publicação*. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_21/SCS_BALANCO_2015_PAR_A_PUBLICACAO.pdf. Acesso em: 21 dez. 2016.

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2016. *Aliceweb. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior*. Disponível em www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br. Acesso em 21 dez. 2016.

MEEM – Ministère de L'Environnement, de L'Énergie et de La Mer, 2011. *Énergie, Air et Climat. Les biocarburants : cinq questions pour comprendre*. Disponível em: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Les-biocarburants-cinq-questions-.html>. Acesso em 09 dez. 2015.

_____ 2016. *Panorama Énergies-Climat. Édition 2016. Les carburants de substitution*. Disponível em: <http://www.developpement->

durable.gouv.fr/IMG/pdf/Panorama_energie_climat_2016_complet-Vdef.pdf. Acesso em 28 out. 2016.

MELLO, J. C. C. B. S. *et al.*, 2003. *Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras*. *Pesqui. Oper.*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345, Aug. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382003000200005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jan. 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2006. *“Estudo Referente aos Impactos Ambientais na Cadeia Produtiva, Distribuição e Uso do Biodiesel”*. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/item_4.pdf. Acesso em 04 jul. 2015.

_____. 2010. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em: 08 jul. 2015.

_____. 2012. *Declaração Final Da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20): O futuro que queremos*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/O-Futuro-quequeremos1.pdf>. Acesso em: 21 Out 2014.

_____. s.d. *Agenda 21 Global*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____. s.d. *Agenda 21 Global. Capítulo 40 – Informações para a Tomada de Decisão*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/720>. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____. 2015. *Intended Nationally Determined Contribution towards Achieving the Objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>. Acesso em 10 mar. 2016.

MME - Ministério de Minas e Energia, 2005a. *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Histórico do Programa*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/historico.html>. Acesso em 28 jul. 2015.

_____ 2005b. **Resolução CNPE nº 03 de 23 de setembro de 2005**. Reduz o prazo de que trata o § 1º do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 Set. 2005. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139147/Resolucao03.pdf/ea0bcfa0-378c-4ff7-88d6-a3ad9cfa2457>. Acesso em 23 abr. 2016.

_____ 2008. **Resolução CNPE nº 02 de 13 de março de 2008**. Estabelece em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 mar. 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139153/Resolucao02.pdf/afaedc9e-51a5-410b-ab80-ac5e767e658a>. Acesso em: 25 jun. 2015.

_____ 2009a. **Resolução CNPE nº 02 de 27 de abril de 2009**. Estabelece em quatro por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, de acordo com o disposto no art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mai. 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139155/RESOLUCAO_2_CNPE.pdf/42edda68-3a26-4c4c-a005-ba9dc64d4f4d. Acesso em: 08 jul. 2015.

_____ 2009b. **Resolução CNPE nº 06 de 16 de setembro de 2009**. Estabelece em cinco por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, de acordo com o disposto no art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 out. 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139155/Resoluxo_6_CNPE.pdf/0ca20397-0145-4976-8945-dbab764d773c. Acesso em: 10 mar. 2015.

_____ 2010. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) – Caminho Limpo para o Desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>. Acesso em: 12 fev. 2016.

_____ 2012. **Portaria MME nº 476 de 15 de maio de 2012**. Dispõe sobre as diretrizes específicas que devem ser observadas pela ANP para realização de Leilões Públicos destinados à contratação do biodiesel necessário para atendimento ao percentual mínimo obrigatório de que trata a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 ago. 2012. Disponível em: http://www.lex.com.br/legis_23593044_PORTARIA_N_476_DE_15_DE_AGOSTO_DE_2012.aspx. Acesso em: 25 jan. 2015.

_____ 2013. **Portaria MME n° 116 de 04 de abril de 2013**. Estabelece diretrizes específicas para a formação de estoques de biodiesel no País. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 abr. 2013. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=71&data=08/04/2013>. Acesso em 09 dez. 2016.

_____ 2015a. **Resolução CNPE n° 03 de 21 de setembro de 2015**. Autoriza e define diretrizes para comercialização e uso voluntário de biodiesel. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 out. 2015. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/2431527/Resolu%C3%A7%C3%A3o_3_CNPE_Biodiesel.pdf/d7480b33-c6b4-45fe-a20b-19b0e23f3293. Acesso em: 09 dez. 2015.

_____ 2015b. **Portaria MME n° 516 de 11 de novembro de 2015**. Dispõe sobre os percentuais autorizados de mistura voluntária de biodiesel ao óleo diesel, previstos no art. 1º da Resolução CNPE n° 3, de 21 de setembro de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 nov. 2015. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1942329/Portaria_n_516-2015/60b2e749-572b-492f-a9c5-39c5d4308775?version=1.0. Acesso em 25 jun. 2016.

_____ 2016. **Boletim Mensal dos Biocombustíveis. Edição n° 104. Outubro de 2016**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3342640/Boletim+DBio+n%C2%BA+104+outubro+de+2016.pdf/40240778-7e81-4ccd-b927-5d0477aadeba>. Acesso em 22 jun. 2016.

_____ 2017. **Resolução CNPE n° 11, de 14 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 de março de 2017. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/3201726/Resolu%C3%A7%C3%A3o_CNPE_11_Biodiesel.pdf/db551997-10a9-4ce6-9695-7479b41ead2f. Acesso em 10 mar. 2017.

MORAIS, J. M., 2013. **Petróleo em águas profundas : uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore** . – Brasília : Ipea : Petrobras, 2013. Disponível em http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1147/1/livro_petrobras_em_aguas_profundas.pdf. Acesso em 28 out. 2016.

MUNASINGUE, M., 1994. **Hacia una Estructura Integrada de los Precios de la Energia en los Paises en Desarrollo. XXIV Curso Latinoamericano de Economia y Planificación Energética. Instituto de Economía Energética**. San Carlos de Bariloche.

- NBB – National Biodiesel Board, 2015. *History of Biodiesel*. Disponível em: <http://nbb.org/about-us/history-of-biodiesel-nbb>. Acesso em 04 mar. 2016.
- NELSON, L. A.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N., 1996. *Lipase catalyzed production of biodiesel*, JAOCS 73 (8) 1191 – 1195.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, .E. S., 2003. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência; vol 1: 199pg.
- NREL - National Renewable Energy Laboratory. 2016. *2015 Renewable Energy Databook*. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66591.pdf>. Acesso em 27 nov. 2016.
- NYE, M. J., WILLIAMSON, T. W., DESHPANDE, S., SCHRADER, J. H., SNIVELY, W. H., YURKEWICH, T. P., FRENCH, C. L., 1983. *Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification: preliminary tests*. J. Am. Oil Chem. Soc. 60 (8), 1598–1601.
- ODUM, E. P., 1988. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development, 2013. *Glossary of Statistical Terms. Blair House Agreement*. Disponível em: <http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=222>. Acesso em 10 mar. 2015.
- OLIVEIRA, L. B., 2004. *Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil*. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. RJ. 237p.
- OLIVEIRA L. B., ARAUJO M. S. M., ROSA L.P ., BARATA M., LA ROVERE, E. L., 2008. *Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008;12:883–90.
- ONU – Organização das Nações Unidas, 1992. *Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>. Acesso em 10 mar. 2017.
- OPEC. Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2016. *Brief History*. Disponível em http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/24.htm. Acesso em 28 out. 2016.
- OTC, 2016. *Offshore Technology Conference*. Disponível em: <http://www.otcnet.org/Content/OTC-Distinguished-Achievement-Awards-for-Companies-Organizations-and-Institutions>. Acesso em 14 dez. 2016.

PARENTE, E. J. S., 2003. *Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado*. Fortaleza: Tecbio.

PARREIRAS, R. O., 2006. *Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério*. Tese (de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. UFMG, Belo Horizonte. MG. 166 p.

PATUSCO, J. A. M., 1998. *Setor Energético - Organização Institucional*. In: Revista Economia & Energia. Ano II, número 8. Disponível em: http://ecen.com/eee8/org_ins.htm. Acesso em: 18 mai. 2016.

PEDROTI, P. M., 2013. *Os Desafios do Desenvolvimento e da Inclusão Social: O Caso do Arranjo Político-Institucional do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel*. Texto para Discussão – TD1858. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=19498. Acesso em: 23 abr. 2015.

PELISSON, L., 2008. *Análise direta de mono, di e triacilglicerídeos em biodiesel por cromatografia gasosa de alta resolução: resolução ANP 42 e suas extensões*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEÑA, C. R., 2008. *Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA)*. Rev. adm. contemp., Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, Mar. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552008000100005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 12 fev. 2017.

PERMAN, R.; MA, Y.; MCGILVRAY, J., 1996. *Natural Resource and Environmental Economics*. Longman Group Limited. United Kingdom.

PETROBRAS, 2007. Petrobras. *Tecnologia. Processo H-Bio. Tecnologia Petrobras para Produção de Óleo Diesel Renovável*. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/hbio.asp>. Acesso em 22 ago. 2012.

_____. 2011. Blog Fatos e Dados. *70 anos de exploração de petróleo na Bahia*. Disponível em <http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2011/12/14/70-anos-da-exploracao-de-petroleo-na-bahia/>. Acesso em 22 ago. 2012.

_____. 2012. *Bacia de Campos*. Disponível em <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm>. Acesso em 22 ago. 2013.

PIACENTE, E. A., 2006. *Perspectivas do Brasil no mercado internacional de etanol*. 189f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIRES, P. V., 2000. *A evolução do Monopólio Estatal do Petróleo*. Rio de Janeiro : Lumén Juris. Pg 123.

PISTONESI, H., 1994. *Política Energética*. XXIV Curso Latinoamericano de Economia y Planificación Energética. Instituto de Economía Energética. San Carlos de Bariloche.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, s.d.. *Desenvolvimento Humano e IDH*. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0.html>. Acesso em: 18 mai. 2016.

RAMOS, P., 2007. *Os mercados mundiais de açúcar e a evolução da agroindústria canavieira do Brasil entre 1930 e 1980: do açúcar ao álcool para o mercado interno*. Econ. Apl., Ribeirão Preto , v. 11, n. 4, p. 559-585, Dez. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-80502007000400006&lng=en&nrm=iso. Acesso em 27 nov. 2016.

REIS, E.; LOBLER, M. L., 2012. *O processo decisório descrito pelo indivíduo e representado nos sistemas de apoio à decisão*. Rev. adm. contemp., Curitiba, v. 16, n. 3, p. 397-417, June 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552012000300005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 12 fev. 2017.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2015. *Renewables 2014 Global Status Report*. Disponível em: www.ren21.net/renewables-2014-global-status-report-full/. Acesso em 14 dez. 2016.

_____. 2016. *Renewables 2015 Global Status Report*. Disponível em: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf. Acesso em 21 dez. 2016.

RFA – Renewable Fuels Association, 2016. *Fueling a High Octane Future*. Disponível em: http://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2016/02/RFA_2016_full_final.pdf. Acesso em 27 nov. 2016.

RFB - Receita Federal do Brasil, 2014. *Instrução Normativa RFB nº 1514, de 20 de Novembro de 2014*. Dispõe sobre a incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para o

Financiamento da Seguridade Social (Cofins) na aquisição de matérias-primas destinadas à produção de biodiesel. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 nov. 2014. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=58488&visao=compilado>. Acesso em: 21 mai. 2016.

ROMERO, C. 1996. *Análisis de las decisiones multicriterio* (No. 14). Madrid: Isdefe. Disponível em http://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/decisiones_multicriterio.pdf. Acesso em: 28 jan. 2017.

ROSA, L. P. (org.), 1996. *Greenhouse Gas Emissions Under Developing Countries Point of View*. In: Proceedings of Latin-American Workshop on Greenhouse Gas Emission of Energy Sector and their Impacts. ALAPE.

ROSA, L. P.; TOLMASQUIM, M. T.; D'ARAUJO, R., 2000. "*O Brasil e os riscos de déficit de energia*" Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. Disponível em: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/rosa1.zip>. Acesso em 12 fev. 2014.

ROSA, L.P, 2001. "*A dívida com os consumidores*". São Paulo: Folha de São Paulo, 12 de julho de 2001". Disponível em: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/rosa2.zip>. Acesso em 25 jan. 2014.

ROSA, L. P., OLIVEIRA, L. B., COSTA, A. O., PIMENTEIRA, C. A. P., MATTOS, L. B. R., HENRIQUES, R. M., ARANDA, D. A., 2003. *Geração de Energia a partir de resíduos sólidos urbanos e óleos vegetais*. In: Proceedings of TOLMASQUIM, M.T (Coord) Fontes Alternativas de Energia no Brasil, CENERGIA. 1ª ed. Editora Interciência. 515 pp.

ROUSSEF, D. V., 2004. *Biodiesel – O novo combustível do Brasil. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel*. Apresentação da Ministra de Minas e Energia. Brasília. Disponível em: http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/galerias/arquivos/biodiesel/Apres_MinistraME_06-12-04.pdf. Acesso em 17 abr. 2016.

RUSSO, D.; DASSISTI, M.; LAWLOR V.; OLABI, A. G., 2012. *State of the art of biofuels from pure plant oil*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16(6):4056–70.

SAKA, S.; KUSDIANA, D., 2001. "*Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol*." Fuel 80.2 (2001): 225-231.

SALDIVA, P. H. N., 2007. *Transporte, sustentabilidade e cidadania. Boletim DNA Brasil*. Disponível em: <http://www.acervonossasaopaulo.org.br/bitstream/handle/11539/1679/artigo%20de%20imprensa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 10 mar. 2016.

SALDIVA, P. H. N.; 2008. *Energia, Sustentabilidade e Cidadania: Algumas Reflexões sobre as Opções Energéticas do Brasil, Vistas sob o Prisma de um Médico Brasil*. Gaz. méd. Bahia 2008;78 (Suplemento 1):59-64. Disponível em: <http://www.gmbahia.ufba.br/index.php/gmbahia/article/viewFile/261/252>. Acesso em 08 jul. 2016.

SALDIVA, P. H. N.; ANDRADE, M. F.; MIRAGLIA, S. G. K.; ANDRÉ, P. A., 2010. *O etanol e a saúde*. In: Proceedings of SOUZA, E. L. L. e MACEDO, I. C. (Coords). Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo : Luc Projetos de Comunicação, 2010. p. 98-135.

SANTOS, A. L. F., 2007. *Produção de Bio-Óleo a partir do Craqueamento Térmico a partir de Gorduras Residuais Derivadas de Biomassa Vegetal e Animal*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília.

SCANDIFFIO, M. I. G., 2005. *Análise prospectiva do álcool combustível no Brasil - cenários 2004-2024*. 182 p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campinas, Campinas.

SCHWAB, A. W. *et al.*, 1988. *Diesel fuel from thermal decomposition of soybean oil*. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 65, n. 11, p. 1781-1786.

SILVA, N. F., 2006. *Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia Eólica*. Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

SILVA, R., 2008. *“Efeito dos combustíveis Oxigenados no Rendimento Termodinâmico e Tratamento Catalítico das Emissões em Motores Ciclo Otto Operando na Região de Queima Pobre”*. Tese de Doutorado. IQ/URGS. Porto Alegre.

SOUZA, F. R., 2006. *Impacto do Preço do Petróleo na Política Energética Mundial*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

SOUZA, J., 2000. *Dendê. Beneficiamento*. Extraído do Jornal Ceplac Notícias. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>. Acesso em 25 jan. 2014.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S.; PLENTZ, M.; MENEGHETTI, M. R.; WOLF, C. R., 2007. *Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica*. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 667-676, June 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000300028&lng=en&nrm=iso. Acesso em 12 fev. 2015.

TAVARES, M. E. E., 2005. *Análise do Refino no Brasil: estado e perspectivas - uma análise "cross-section"*. Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

TOLMASQUIM, M. T., 1984. *Avaliação de sistemas integrados de produção de energia e alimentos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

TOMASEVIC A.V., SILER-MARINKOVIC. S.S., 2003. *Methanolysis of used frying oil*. Fuel Process Techno 2003;81:1-6.

TUGENDHAT, C., HAMILTON, A. 1975. *Oil, the biggest business*. London: Eyre Methuen London.

UE - União Europeia, 2016. *A União Europeia. Sobre a UE*. Disponível em: https://europa.eu/european-union/about-eu/eu-in-brief_pt. Acesso em 18 mai. 2015.

UFOP - German Union for the Promotion of Oils and Protein Plants, 2015. *UFOP-Imagefolder Sow ideas, harvest success!*. Disponível em: http://www.ufop.de/files/7014/1638/4898/WEB_RZ_UFOP_1002_Selbstdarstellung_EN.pdf. Acesso em: 10 mar. 2015.

_____ 2016. *Biodiesel 2015/2016. Report on the current situation and prospects – extract from the UFOP annual report*. Disponível em: http://www.ufop.de/files/5514/7801/4764/UFOP_1411_Biodieselauszug_2016_011116_ENG.pdf. Acesso em: 14 dez. 2016.

UN - United Nations, 1997. *Earth Summit. Background*. Disponível em: <http://www.un.org/geninfo/bp/envirp2.html>. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 1999. *The World at Six Billion*. Disponível em: <https://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2016.

UNDP, United Nation Development Program, 2016. *Human Development Index (HDI)*. Disponível em <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>. Acesso em 28 out. 2016.

UNEP - United Nations Environment Programme, s.d.. *Rural Development & Job Creation*. Disponível em: <http://www.unep.org/climatechange/mitigation/Bioenergy/Issues/RuraldevelopmentJobcreation/tabid/29469/Default.aspx>. Acesso em 04 mar. 2015.

UNFCCC - United Nations, 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponível em <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em 04 mar. 2015.

USCB - U.S. Census Bureau, 2016. *World Population. Total Midyear Population for the World: 1950-2050*. Disponível em: https://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table_population.php. Acesso em: 28 out. 2016.

USDA - U.S. Department of Agriculture, 2000. *Commodity Credit Corporation (CCC) Announces Bioenergy Program Sign Up*. Disponível em: http://www.fsa.usda.gov/Internet/FSA_File/bioenergy_release_1654.pdf. Acesso em 08 jul. 2016.

_____ 2008. *Audit Report. Commodity Credit Corporation Bioenergy Program*. Disponível em: <https://www.usda.gov/oig/webdocs/03601-25-KC.pdf>. Acesso em 04 jul. 2016.

_____ 2014. *FAS - Foreign Agricultural Service. GAIN - Global Agricultural Information Network. Argentina. Biofuels Annual 2014*. Disponível em: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_7-1-2014.pdf. Acesso em 22 ago. 2016.

_____ 2016a. *FAS - Foreign Agricultural Service. GAIN - Global Agricultural Information Network. EU-28. Biofuels Annual. EU Biofuels Annual 2016*. Disponível em: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-29-2016.pdf. Acesso em 21 dez. 2016.

_____ 2016b. *FAS - Foreign Agricultural Service. GAIN - Global Agricultural Information Network. Argentina. Biofuels Annual 2016. Disponível em: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-29-2016.pdf*. Acesso em 14 dez. 2016.

VICENTE, G., COTERON, A., MARTINEZ, MD., ARACELI, J., 1998. *Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production*. Ind. Crops Prod. 8, (29-35).

VICTOR, M..1970. *A Batalha do Petróleo Brasileiro*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1970.

WCED - World Commission on Environment and Development, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford (1987). Disponível em <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Acesso em 25 jun. 2016.

WHO - World Health Organisation, 2014. *Media Centre. 7 million premature deaths annually linked to air pollution*. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>. Acesso em 10 ago. 2017.

WRIGHT, H. J.; SEGUR, J. B.; CLARK, H. V.; COBUM, S. K.; LANGDON, E. E.; DUPUIS, R. N., 1944. *A report on ester interchange*. Oil & Soap 2 1(1): 145-148.

XAVIER, C. E. O., 2008. *Localização de tanques de armazenagem de álcool combustível no Brasil aplicação de um modelo matemático de otimização*. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, Brasil

YERGIN, D. 1992. *O petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder*. São Paulo: Editora Scritta.