INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE: AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO BIODIESEL COM USINAS DE ETANOL

STNIO GOMES DE OLIVEIRA

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ
2016

STNIO GOMES DE OLIVEIRA

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE: AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO BIODIESEL COM USINAS DE ETANOL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade.

Orientador: Professor D. Sc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira (Engenharia Agrícola).
Co-Orientador: Professor D. Sc. Marco Antônio Cruz Moreira. (Engenharia Elétrica)

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O483p Oliveira, Stnio Gomes de.
Potencial de produção de biocombustiveis na região Norte Fluminense: avaliação da integração do biodiesel com usinas de etanol/ Stnio Gomes de Oliveira. — Macaé, RJ, 2016.
86 f.: il. color.

Orientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira.
Coorientador: Marco Antônio Cruz Moreira.

Dissertação (Mestrado). — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Biocombustiveis - Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 2. Energia - Fontes alternativas - Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 3. Biodiesel - Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 4. Óleos vegetais como combustivel - Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). I. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, orient. II. Moreira, Marcos Antônio Cruz, coorient. III. Titulo.

CDD 665.5384 23.ed.

Bibliotecário-Documentalista |Henrique Barreiros Alves | CRB-7/ 6326

Dissertação intitulada "Potencial de Produção de Biocombustíveis na Região Norte Fluminense: Avaliação da Viabilidade de Integração da Produção de Biodiesel com Usinas de Etanol", elaborado por Stnio Gomes de Oliveira e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em 26 de Outubro de 2016.

Banca Examinadora:

.....

Prof. D.Sc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Viçosa / Professor titular no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense –IFF - Orientador

.....

Prof. D.Sc. Mauri Lima Filho
Doutor em Produção Vegetal / Universidade Estadual do Norte Fluminense / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

.....

Prof. D.Sc. Henrique Rego Monteiro da Hora
Doutor em Engenharia de Produção – UFF / Professor titular no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense –IFF

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Esmeraldino e Irene, fontes de bons exemplos em toda minha vida.

A toda minha família e amigos pelo apoio.

A minha esposa Suely e aos meus filhos, Stenius e Irene, pelo incentivo e carinho.

AGRADECIMENTOS

O mestrado é um sonho que está se concretizando com um aparente atraso, por ter sido adiado por mais de trinta anos. No entanto, a satisfação de estar chegando ao final de uma etapa tão desejada ainda é igual ao que poderia ter sido há tanto tempo atrás, ou quem sabe até maior, talvez porque agora eu consiga dimensionar melhor o significado exato desta etapa vencida.

Obrigado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) do Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé pela oportunidade.

Tive a oportunidade de fazer bons companheiros durante o período da parte presencial do curso, e muitos deles foram importantes em diversos momentos por situações bastante divertidas. Em especial gostaria de agradecer aos amigos Jorge Barbosa e Ramon Petrilho pela parceria e boa vontade em todas as dificuldades. Aliás, esta característica esteve presente em todos da equipe e se tornou muito visível principalmente quando cursamos a disciplina eletiva do professor Vicente na UPEA.

A todos os professores do curso pelo compartilhamento de seus conhecimentos.

Aos professores Antônio Gesualdi Júnior (UENF), José Augusto Ferreira (IFF) e Rodrigo Martins Martins Fernandes (IFF), pela participação e contribuição na banca de qualificação. Aos professores Henrique Rego Monteiro da Hora e Mauri Lima filho, pela participação na banca de defesa da dissertação e pelas muitas contribuições.

Ao professor Vicente, pela camaradagem, paciência, disposição de auxiliar e pela orientação em todos os momentos.

Finalmente, sou grato a Suely, que foi minha constante companheira de viagem Macaé – Campos, pelas boas conversas e paciência de estar sempre pronta a me ouvir.

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo, avaliar a possibilidade de agregar uma atividade complementar ao setor sucroalcooleiro da região Norte Fluminense com a produção de biodiesel, um biocombustível que é produzido a partir de matérias primas oleaginosas como a soja. No processo de produção do biodiesel, um dos reagentes que pode ser utilizado é o etanol, um derivado da cana de açúcar produzido regionalmente em larga escala. Apesar de a região não ter tradição no cultivo da soja, a mesma pode ser obtida através do sistema de rotação de culturas, por exemplo, com a cana de açúcar. Neste contexto, este trabalho pretende avaliar a viabilidade técnica e econômica de produção do biodiesel na região NF, utilizando a soja como matéria prima básica, obtida através do cultivo em rotação com a cana de açúcar, prática já avaliada na região com alguns resultados satisfatórios. A região Norte Fluminense já foi considerada a maior produtora de cana de açúcar do país, mas ao longo dos últimos trinta anos, têm ocorrido uma profunda mudança na percepção desta atividade como o referencial econômico regional. Inúmeros fatores resultaram na perda de competitividade deste segmento agroindustrial, o que levou ao encerramento das operações em diversas usinas. Uma grande fração das terras já utilizadas no plantio da cana de açúcar encontra-se atualmente sem utilização sustentável. A diferença da cana processada nas últimas décadas representa uma diferença de área colhida acima de 160.000 ha. A rotação de culturas agrícolas é uma técnica utilizada com vários objetivos, tais como: melhorar as qualidades do solo, e auxiliar no controle de plantas daninhas e pragas. Foram simulados dois cenários, da atual área utilizada no plantio de cana e também o potencial existente, através da determinação das áreas capazes de eliminar o nível de ociosidade da indústria sucroalcooleira local. A metodologia de trabalho compreende uma revisão ampla da bibliografia existente sobre a implantação e crescimento dos programas de biocombustíveis no país, além do estudo do caso específico do biodiesel, com o objetivo de conhecer a tecnologia, rotas atuais, perspectivas futuras, e outros aspectos ligados à atividade, como seus benefícios e desvantagens na área ambiental e social. Para alicerçar a aquisição e o aprendizado dentro da realidade de uma indústria, foram realizadas visitas técnicas a duas indústrias produtoras de biodiesel, inclusive uma contando com uma unidade de esmagamento e produção de óleo degomado. Também foram feitas revisões sobre a técnica de rotação de culturas, quanto à suas exigências climáticas, levantamento das vantagens e desvantagens da técnica, parte fundamental do

trabalho. Os resultados retratam uma região cujo regime de precipitação apresenta grande instabilidade, tornando a implantação de culturas exigentes quanto a quantidade anual e distribuição mensal de chuvas, sem um amplo trabalho experimental, uma decisão envolvendo bastante risco. O uso do etanol na integração dos processos é uma decisão que envolveria o balanço entre aumento dos custos por ser operacionalmente mais caro do que o metanol e os ganhos decorrentes implantação do sistema de rotação. A associação dos fatores avaliados pode determinar o fracasso da integração pesquisada.

Palavras chaves: Região Norte Fluminense. Biocombustíveis. Cana de Açúcar.

ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the possibility of adding a complementary activity to the sugar and alcohol sector of the North Fluminense region with the production of biodiesel, a biofuel produced from oleaginous raw materials such as soybeans. In the process of producing biodiesel, one of the reagents that can be used is ethanol, a sugarcane derivative produced on a large scale regionally. Although the region has no tradition in the cultivation of soybeans, it can be obtained through the crop rotation system, for example, with sugar cane. In this context, this work intends to evaluate the technical and economical viability of biodiesel production in the NF region, using soybean as basic raw material, obtained by rotating cultivation with sugarcane, a practice already evaluated in the region with some satisfactory results. The Norte Fluminense region was once considered the largest producer of sugar cane in the country, but over the last thirty years there has been a profound change in the perception of this activity as the regional economic reference. Numerous factors resulted in the loss of competitiveness of this agroindustrial segment, which led to the closure of operations in several plants. A large fraction of the land already used in planting sugar cane is currently without sustainable use. The difference of sugarcane processed in the last decades represents a difference of area harvested over 160,000 ha. Rotation of agricultural crops is a technique used for various purposes, such as improving soil qualities and helping to control weeds and pests. Two scenarios were simulated, from the present area used in the sugarcane plantation and also the existing potential, through the determination of areas capable of

eliminating the level of idleness of the local sugar and alcohol industry. The work methodology includes a broad review of the existing bibliography on the implementation and growth of biofuel programs in the country, as well as the study of the specific case of biodiesel, in order to know the technology, current routes, future perspectives, and other related aspects To the activity, as its benefits and disadvantages in the environmental and social area. In order to support acquisition and learning within the reality of an industry, technical visits were made to two biodiesel producing industries, including one with a crushing unit and production of degummed oil. Also revisions were made on the technique of crop rotation, regarding its climatic requirements, survey of the advantages and disadvantages of the technique, fundamental part of the work. The results depict a region whose precipitation regime presents great instability, making the implantation of demanding crops as annual quantity and monthly rainfall distribution without extensive experimental work, a decision involving a lot of risk. The use of ethanol in the integration of processes is a decision that would involve the balance between cost increase because it is operationally more expensive than methanol and the gains resulting from the rotation system deployment. The association of the evaluated factors can determine the failure of the integration studied.

Key words: Northern Fluminense Region. Biofuels. Sugar Cane.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I - A evolução dos biocombustíveis na matriz energética brasileira: uma análise qualitativa do Norte Fluminense como produtor de biodiesel.

FIGURA 1

Energia primária versus PIB (*per capita*) em 2012 para várias regiões 23

FIGURA 2

Oferta de Energia Primária per capita e a previsão de crescimento para 2030 25

FIGURA 3

Concentração de CO_2 e Temperatura média Global no período 1880 – 2013 30

FIGURA 4

Evolução da produção de biodiesel no Brasil 36

FIGURA 5

Produção de Biodiesel no Mundo em 2013 (bilhões de litros) 36

FIGURA 6

Reação de transesterificação 40

FIGURA 7

Fluxograma do processo de produção do biodiesel usando metanol 41

ARTIGO II - Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense.

FIGURA 1

Produção de etanol no Brasil 57

FIGURA 2

Diagrama de blocos simplificado produção de etanol de 2ª geração 58

FIGURA 3

Evolução do setor sucroalcooleiro no Brasil 59

FIGURA 4

Principais produtos derivados da cana de açúcar 60

FIGURA 5

Representação da reação de transesterificação 65

FIGURA 6

Crescimento do teor de biodiesel no Brasil 67

FIGURA 7

Zoneamento das áreas adequadas para plantar soja/cana em rotação 72

FIGURA 8

Fluxograma do processo purificação do óleo de fritura 73

FIGURA 9

Cana colhida na região Norte Fluminense a partir de 2010 76

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I - A evolução dos biocombustíveis na matriz energética brasileira: uma análise qualitativa do Norte Fluminense como produtor de biodiesel.

TABELA 1
Oferta Interna de Energia no Brasil e no Mundo (% e milhões de tep).....22
TABELA 2
Matriz Energética de transportes (% e tep).....22
TABELA 3
Diversificação das fontes de OIE no Brasil entre 1973 e 2013.....26
TABELA 4
Consumo (%) de energéticos no setor de transporte.....27
TABELA 5
Distribuição das reservas provadas de petróleo nas diversas regiões do mundo.....28
TABELA 6
Indicadores ambientais no Brasil e outras regiões do mundo em 2012.....30
TABELA 7
Impacto de emissões de B20 (Matéria prima – soja).....33
TABELA 8
Unidades de produção de biodiesel nas diferentes regiões do Brasil.....35
TABELA 9
Características das principais culturas para a produção de óleo.....38
TABELA 10
Distribuição (%) MP utilizadas no Brasil para produção de biodiesel por regiões 39
TABELA 11
Pré-avaliação do potencial atual da região para produção de biodiesel.....45

ARTIGO II - Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense.

TABELA 1
Insumos para produção de biodiesel pelas rotas metílica e etílica 66
TABELA 2
Distribuição regional de matérias primas na produção de biodiesel 68
TABELA 3
Usinas e Destilarias da região Norte Fluminense 70
TABELA 4
Histórico de área colhida e produção de cana no Norte Fluminense 75

TABELA 5
Precipitação mensal (mm) em Campos dos Goytacazes 77

LISTA DE QUADROS

ARTIGO I - A evolução dos biocombustíveis na matriz energética brasileira: uma análise qualitativa do Norte Fluminense como produtor de biodiesel.

QUADRO 1
Perspectivas ambientais para 2030 segundo a OCDE 28
QUADRO 2
Comparativo transesterificação usando etanol e metanol 42

ARTIGO II - Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense.

QUADRO 1
Consequências dos fatores de qualidade dos grãos de soja fora dos padrões 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASFLUCAN	Associação Fluminense dos Plantadores de Cana
BEN	Balanço Energético Nacional
BP	British Petroleum
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
GEE	Gases do Efeito Estufa
IEA	International Energy Agency
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
MME	Ministério das Minas e Energia
NF	Norte Fluminense
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
PESAGRO Rio	Pesquisa agropecuária do Estado do Rio de Janeiro
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
RFA	Renewable Fuels Association
RM	Razão Molar

UNICA União da Indústria de cana de Açúcar

SUMÁRIO

RESUMO.....vi
ABSTRACT.....vii
LISTA DE FIGURAS.....ix
LISTA DE TABELAS.....xi
LISTA DE QUADROS.....xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....xiii
APRESENTAÇÃO..... 16

ARTIGO CIENTÍFICO 1 – **A EVOLUÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO NORTE FLUMINENSE COMO PRODUTOR DE BIODIESEL**.

Resumo.....18
Abstract.....19
1 INTRODUÇÃO.....20
2 REVISÃO DA LITERATURA.....21
2.1 A matriz energética mundial.....21
2.2 A matriz energética brasileira.....23
2.3 Motivações para o uso de biocombustíveis.....27
2.4 Motivações ambientais para o uso de biodiesel.....32
2.5 O biodiesel na matriz energética brasileira.....33
2.6 Matérias primas convencionais na produção de biodiesel.....37
2.7 O biodiesel e as tecnologias de produção.....39
3 MATERIAL E MÉTODOS.....43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....44
5 CONCLUSÕES.....46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....47

ARTIGO CIENTÍFICO 2 – **VIABILIDADE TÉCNICA DE INTEGRAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL COM USINA DE ETANOL NA REGIÃO NORTE FLUMINENS**E.

Resumo.....52
Abstract.....53
1 INTRODUÇÃO.....54
2 REVISÃO DA LITERATURA.....55
2.1 Biocombustíveis.....55
2.2 A produção de etanol.....56
2.3 A cana de açúcar.....58
2.3.1 A cadeia produtiva da cana de açúcar.....59
2.3.2 Fase agrícola da cultura de cana de açúcar.....60
2.4 A técnica de rotação de culturas soja e cana de açúcar.....61
2.5 As exigências climáticas da soja.....63
2.6 O biodiesel e as matérias primas utilizadas em sua produção.....63
3 MATERIAL E MÉTODOS.....68
3.1 O setor sucroalcooleiro na região Norte Fluminense.....69
3.2 Visitas técnicas a empresas ligadas à área de biodiesel.....71
3.3 O zoneamento agrícola da cana de açúcar e da soja.....71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....72
4.1 Desenvolvimento das visitas técnicas.....72
4.2 A realidade atual da cana de açúcar cultivada na região e o potencial de maximização.....75
4.3 O potencial de produção de biodiesel com base no uso da soja cultivada em rotação com a cana de açúcar.....78
4.4 A utilização do etanol como reagente para produção de biodiesel.....78
5 CONCLUSÕES.....79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....80

APRESENTAÇÃO

A região Norte Fluminense já foi um importante polo produtor de cana de açúcar em nível nacional. Em termos de área cultivada, a região já foi considerada a maior produtora de cana de açúcar do país. Ao longo dos anos, a prática da atividade na região acabou se desviando das modernas tecnologias agrícolas e industriais que marcaram a evolução deste segmento agroindustrial no final dos anos 90 e início do século XXI, gerando uma defasagem nos custos de produção e na rentabilidade, quando comparado aos resultados alcançados nas modernas regiões produtoras do país, o que tornou pouco sustentável a indústria canavieira local, levando inúmeras empresas ao encerramento de suas operações.

Alguns dos fatores cuja soma contribuiu para o declínio regional do cultivo da cana de açúcar podem ser listados como: produtividade agrícola em torno de 45 t de cana/ha, valor muito distante das médias consideradas como razoáveis, em parte devido à prática secular da monocultura; baixa remuneração dos produtores de cana, o que desestimulou o seu cultivo e culminou na sua deterioração, como atividade econômica referencial; recuperação industrial muito abaixo do mínimo admitido e possível com a utilização das tecnologias e gestão compatíveis com as novas realidades, de competitividade e eficiência.

Considerando a moagem realizada na safra de 1985, de 8,5 milhões de toneladas de cana com a produtividade média regional de 45 t/ha encontramos uma área já disponibilizada para a cultura acima de 180 mil hectares. Com a queda verificada na atividade, grande parte desta área acabou sendo pulverizada para usos diversos, incluindo fruticultura, pecuária e outros. No entanto, uma grande fração desta área, encontra-se atualmente sem utilização consistente e sustentável. Para dimensionar um valor, podemos usar um exemplo mais recente e avaliar a diferença da cana processada na safra de 2004 e na safra 2014, que representou uma diferença de área colhida de 92.000 ha, baseado nos valores de produtividade regionais.

Para a condução deste trabalho, a dissertação foi dividida em dois artigos:

Artigo 1: **A Evolução Dos Biocombustíveis na Matriz Energética Brasileira: Uma Análise Exploratória do Norte Fluminense como Produtor de Biodiesel.**

Este estudo procura estabelecer as condições históricas e os fatores que levaram o Brasil a apostar nas energias renováveis, sua escolha pelo uso dos biocombustíveis, o

posicionamento atual desta opção em sua matriz energética e as projeções futuras. As bases dos processos destes biocombustíveis são revisadas, especialmente o biodiesel.

O biodiesel é um biocombustível obtido convencionalmente de matérias primas como, plantas oleaginosas, óleos de fritura já utilizados e também de gorduras, e apresenta características químicas e térmicas similares a do óleo diesel mineral. O programa de biodiesel brasileiro apresenta como uma de suas diretrizes essenciais, a inclusão social através da participação da agricultura familiar na cadeia produtiva.

A região Norte Fluminense, tema chave desta dissertação, é discutida de forma exploratória como produtora de biodiesel, baseada em sua experiência com a produção de etanol, reagente da produção de biodiesel, e sua necessidade de procurar atividades complementares consistentes na condução do segmento sucroalcooleiro através da eventual incorporação de uma linha adicional de produção, o biodiesel, que através da soja, cultivada em rotação com a cana, poderia auxiliar na melhoria da produtividade da canavieira local.

Artigo 2: **Viabilidade Técnica de Integração da Produção de Biodiesel com Usina de Etanol na Região Norte Fluminens**e.

Este trabalho busca avaliar uma integração das unidades produtoras de etanol da região com a produção de biodiesel. A região é uma tradicional produtora de etanol, um reagente do processo de fabricação do biodiesel, e produzido a partir da cana de açúcar. A área plantada com cana de açúcar pode ser rotacionada com soja, no período de renovação dos canaviais, prática agronômica recomendada como forma de ocupação quando o solo, na primavera e verão, está mais suscetível à degradação e que possibilita uma oportunidade para geração de receitas para as unidades produtoras.

As unidades industriais locais apresentam atualmente um nível de ociosidade elevado, mesmo com o encerramento recente de diversas empresas, o que em princípio poderia fortalecer as empresas remanescentes, todavia, isto não tem se verificado. O estudo se fundamenta na necessidade regional de melhorar a produtividade agrícola com a cultura de cana de açúcar, aumentando sua sustentabilidade econômica.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

A EVOLUÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO NORTE FLUMINENSE COMO PRODUTOR DE BIODIESEL[1]

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão do processo de evolução das fontes de energia renováveis, especialmente a biomassa moderna, na Matriz Energética Brasileira e também avaliar de forma qualitativa e exploratória, a viabilidade de produção de biodiesel na Região Norte Fluminense. A partir da revisão da introdução dos biocombustíveis nas matrizes, energética e de transporte brasileira é feita uma análise comparativa da opção brasileira pelo uso preferencial dos biocombustíveis no Brasil perante o contexto mundial. Também é revisado o processo de produção de biodiesel com destaque para as principais diferenças entre o uso do metanol e o etanol na transesterificação. São discutidas as características da região Norte Fluminense usadas como referenciais para análise preliminar do seu potencial para produzir biodiesel a partir do uso da soja cultivada em sistema de rotação com a cana de açúcar, atividade que poderia resultar na agregação de renda e trabalho.

Palavras chaves: Palavras chave: Matriz Energética, Energia Renovável, Norte Fluminense.

[1] Artigo Científico a ser submetido à publicação na Revista Bioenergia.

ABSTRACT

This work aims to present a review of the evolution process of renewable energy sources, especially modern biomass, in the Brazilian Energy Matrix and also to evaluate in a qualitative and exploratory way, the feasibility of biodiesel production in the Northern Fluminense Region. From the review of the introduction of biofuels in the Brazilian energy and transport matrixes, a comparative analysis of the Brazilian option is made for the preferential use of biofuels in Brazil in the world context. The biodiesel production process is also reviewed, highlighting the main differences between the use of methanol and ethanol in transesterification. The characteristics of the Northern Fluminense region used as reference for preliminary analysis of its potential to produce biodiesel from the use of soybeans cultivated under a rotation system with sugarcane are discussed, an activity that could result in the aggregation of income and labor.

Keywords: Energy Matrix, Renewable Energy, Northern Fluminense

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, o trabalho apresenta uma breve evolução histórica da matriz energética mundial e brasileira e procura contextualizar suas reformulações, que tem procurado privilegiar uma maior participação das energias obtidas a partir de origens renováveis e sustentáveis. A fundamentação que tem sido explorada é a necessidade de introduzir, diversificar e consolidar novas fontes energéticas, que não impliquem em exploração e utilização inadequadas dos recursos naturais, e também a perspectiva cada vez mais real da amplificação dos problemas ambientais que são provocados pela utilização desenfreada dos combustíveis de origem fóssil que dominaram a matriz energética do século XX.

Como exemplo típico da vertente dos não renováveis, pode ser citado o petróleo, – representante principal dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial – que apesar das imensas contribuições à humanidade, tem sido fonte permanente de conflitos e crises econômicas no mundo e que tem deixado passivos ambientais de dimensões mundiais.

Os combustíveis líquidos derivados de fontes renováveis, como o etanol e o biodiesel, com propriedades equivalentes aos combustíveis tradicionais como a gasolina e o óleo diesel tem colocado os biocombustíveis como alternativas viáveis na complementação ou substituição dos tradicionais combustíveis derivados da refinação do petróleo.

A região Norte Fluminense, como produtor de etanol e que dispõe de área agricultável disponível é apresentada como uma possibilidade viável de produzir biodiesel, a partir do cultivo da soja – principal matéria prima na produção do biodiesel – em sistema de rotação com a cana de açúcar nas terras cultivadas atuais. Alguns benefícios que podem ser esperados desta associação são: o aumento da produtividade agrícola regional devido às melhorias proporcionadas às propriedades do solo; a possibilidade de renda adicional para o produtor de cana com uma atividade em franca expansão; e a geração de mais postos de trabalho na região.

Portanto o artigo tem como objetivos uma revisão do processo de evolução das fontes de energia renováveis, especialmente a biomassa, na Matriz Energética Brasileira e também do processo de produção do biodiesel, discutindo vantagens e desvantagens associadas ao uso do etanol como reagente do processo. Também discute de forma introdutória, a viabilidade de produção do biodiesel na região Norte Fluminense, dentro da realidade atual das usinas de açúcar e etanol.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Matriz Energética Mundial

O advento da revolução industrial no final do século XVIII originou a necessidade de encontrar fontes alternativas primárias de energia, com maior densidade energética (GOLDEMBERG, 2009). Neste período o uso do carvão mineral marcou o início do fim da produção de energia através da utilização intensiva da madeira nativa e da energia eólica na navegação.

O uso consistente do petróleo na sociedade moderna data de 1859, a partir da exploração comercial nos Estados Unidos. A descoberta do potencial dos destilados de petróleo para a iluminação pública deu início a era do petróleo (THOMAS, 2001).

Na segunda metade do século XIX, com o desenvolvimento das máquinas elétricas e a invenção dos veículos automotores, estava lançada a base para a moderna sociedade de consumo e a utilização intensiva de energia. No final do século XIX, o crescimento do transporte motorizado alavancou o consumo de gasolina e consolidou a indústria do petróleo (BRUNNETI, 2012).

No final do século XX, a participação dos combustíveis fósseis na Matriz Energética Mundial, produziu aproximadamente 86% da energia consumida no mundo, e quase 100% da energia utilizada no transporte (ATADASHI; AROUA; AZIZ, 2010).

Um comparativo das variações absolutas e percentuais da Oferta Interna de Energia (OIE) entre o Brasil e os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a média mundial, de 1973 para 2014 é mostrado na tabela 1. A OCDE é uma instituição internacional composta por 34 países com elevados IDH e PIB per capita, que compara e orienta políticas para solução de problemas comuns. Os resultados estão expressos em porcentagem e como tonelada equivalente de petróleo (tep), unidade indicativa da energia liberada na combustão de uma tonelada de petróleo, equivalente a 10 milhões de Kcal.

Tabela 1: Oferta Interna de Energia no Brasil e no Mundo (% e milhões tep)

	Brasil		OCDE		Mundo	
Fonte	**1973**	**2013**	**1973**	**2013**	**1973**	**2013**
Petróleo e Derivados	45,6	39,3	52,6	35,8	46,1	29,3
Gás Natural	0,4	12,8	18,9	26,6	16,0	21,6
Carvão Mineral	3,1	5,6	22,6	18,8	24,6	30,9
Urânio	0,0	1,3	1,3	9,4	0,9	4,8
Hidráulica e Eletricidade	6,1	12,5	2,1	2,3	1,8	2,3
Biomassa/Eólica/Outras	44,8	28,5	2,5	7,1	10,6	11,1
Total (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Total (milhões tep)	**82**	**296**	**3.740**	**5.186**	**6.115**	**13.482**
% Mundo	**1,3**	**2,1**	**61,2**	**38,5**	**----**	**----**

Fonte BRASIL (2014a)

A redução no consumo de petróleo e derivados na matriz energética da OCDE e mundial no período entre 1973 e 2013, foi consequência dos sucessivos aumentos nos preços do petróleo, induzindo a introdução da energia nuclear em larga escala e o aumento no consumo do gás natural, para geração de energia elétrica. O Brasil seguiu parcialmente a tendência mundial e as fontes não renováveis passaram a responder por 60,6% da atual matriz energética (BRASIL, 2014a).

Com relação à forte retração no uso da biomassa no período em análise, este fato não pode ser encarado como um retrocesso absoluto, merecendo ser ressaltado, na opinião de Capriglione (2006), o caso da lenha – obtida de forma predatória – que foi uma das principais fontes de energia primária no Brasil até início da década de 80, quando cedeu espaço para outros representantes da energia renovável.

O Brasil também tem presença marcante na utilização de renováveis na matriz energética de transportes, tabela 2, tendo conseguido atingir o percentual de 16,6% no uso de bioenergia. Esta análise aplicada aos países da OCDE mostra o uso de apenas 3,5% de bioenergia em sua matriz de transportes. Nos outros países do mundo, excluindo o Brasil e os países da OCDE, esta participação é quase inexpressiva, 0,4% (BRASIL, 2014a).

Tabela 2: Matriz Energética de transportes (% e tep)

	Brasil		OCDE		Outros países	
Fonte	**1973**	**2013**	**1973**	**2013**	**1973**	**2013**
Petróleo e Derivados	98,9	81,2	95,7	93,7	91,3	92,4
Gás Natural	0,0	2,0	2,4	2,0	0,2	5,6
Carvão Mineral	0,01	0,0	1,1	0,01	7,0	0,3
Eletricidade	0,3	0,2	0,8	0,8	1,4	1,3
Bioenergia	0,9	16,6	0,0	3,5	0,02	0,4
Total (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Total (milhões tep)	**19**	**83**	**695**	**1.182**	**366**	**1.193**
% Mundo	**1,8**	**3,4**	**64,4**	**48,1**	**33,8**	**48,5**

Fonte: BRASIL (2014a)

A relação numérica entre a Energia Primária e o PIB, indicador denominado intensidade energética e utilizado como medida da eficiência no uso da energia para geração de uma unidade de PIB é mostrado na figura 1. Baseado neste indicador, o Brasil aparentemente é um país eficiente na utilização da energia. No entanto, apenas a intensidade energética, não é capaz de traduzir a eficiência real no uso da energia, sendo necessários elementos adicionais, como o tamanho do país e de sua economia, e adicionalmente o seu clima, já que países de clima frio utilizam energia de maneira intensa para aquecimento residencial, o que pode provocar um forte incremento na intensidade energética, dando uma ideia distorcida em relação à eficiência do aproveitamento no uso da energia (OCDE, 2013).

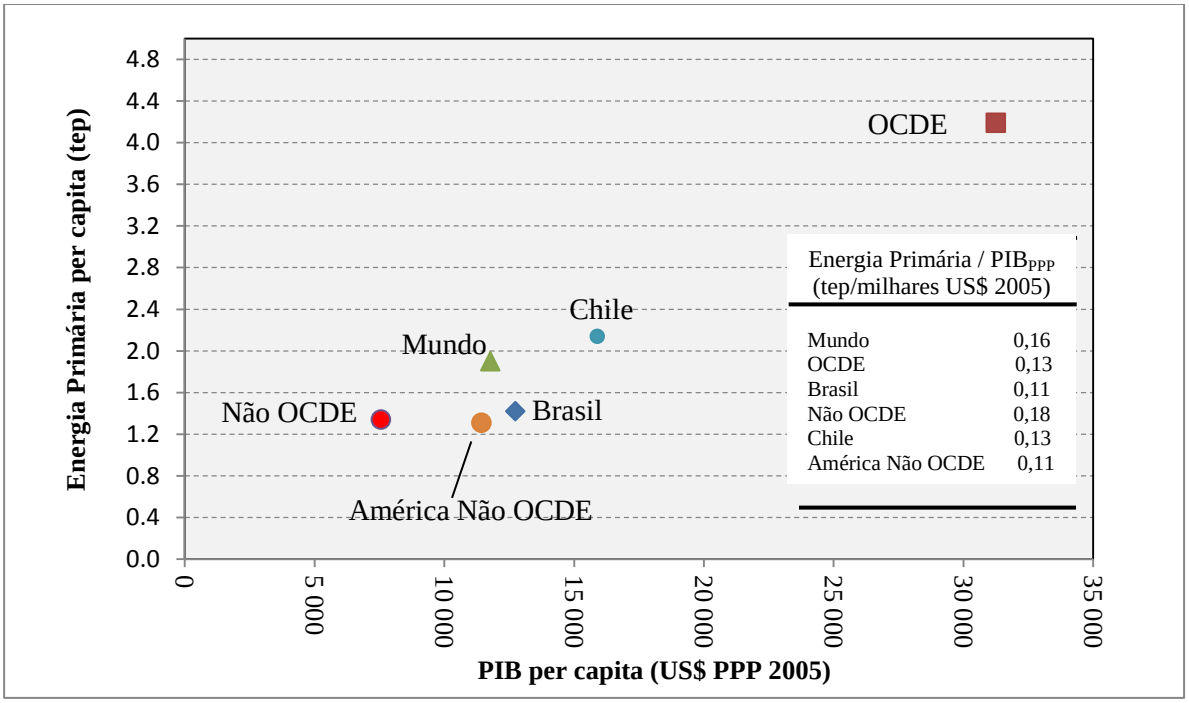

Figura 1: Energia primária versus PIB (*per capita*) em 2012 para várias regiões
Fonte: IEA (2014).

2.2 A Matriz Energética Brasileira

Tolmasquim et al. (2007) em seu trabalho sobre a prospectiva da Matriz Energética Brasileira, estima um crescimento médio da oferta de energia de 3,6% e 3,4% nos decênios 2010/2020 e 2020/2030 respectivamente, supondo na redução prevista, que a tendência normal será de aumento da eficiência energética, tanto da oferta como da demanda. Em sua

avaliação, ele conclui que este crescimento será sustentado, e que resultará em um aumento da renda per capita de 3%/ano e uma melhor distribuição de renda.

Além destes fatores citados, que estão mais conscientizados pela população elevando seus níveis de exigência, outra meta a ser alcançada é o crescimento do consumo de energia per capita, com o valor atual de 1,47 tep/hab, ainda muito abaixo da média mundial, como já discutido, e 3,5 vezes menor do que a média dos países da OCDE – valor elevado com participação relevante de energia para aquecimento residencial – com base nos dados de 2012 (IEA, 2014). A projeção no cenário traçado para 2030 é de um consumo de energia per capita de 2,33 tep/hab, correspondente a um consumo de 560 milhões de tep para uma população estimada de 238 milhões de habitantes (TOLMASQUIN et al., 2007).

Goldemberg e Moreira (2005) asseguram que a necessidade do Brasil produzir mais energia associado ao desenvolvimento sustentado como forma de garantir uma melhor qualidade de vida a sua população, deve ser realizada promovendo uma maior diversificação de suas fontes primárias de energia, já que por questões estratégicas é mais seguro pulverizar a dependência com vários recursos energéticos. No entanto, o aspecto econômico da exploração destes recursos não pode ser ignorado, e a abundância relativa das fontes existentes tem de ser obrigatoriamente consideradas.

O registro histórico de valores da oferta de energia primária *per capita* no país (tep/hab) no período entre 1970 e 2013 é apresentado na figura 2. O valor previsto (2.33) para OIE *per capita* em 2030 está representado isolado na figura 2 e pela tendência dos valores correspondente a realidade brasileira deste indicador até o ano de 2013, parece ser uma meta de difícil probabilidade de alcance.

Pode ser observado que a taxa de crescimento prevista foi afetada pela crise mundial de 2008, se refletindo no desenvolvimento do país entre 2009 e 2013, quando a oferta de energia per capita teve uma elevação abaixo do esperado.

Na opinião de Carvalho (2009), a análise destes desvios deve ter ativa participação do Estado, já que muitas vezes, as ações corretivas podem implicar em mudanças de modelos energéticos, sendo equivocada a ideia de que no Brasil, a produção e a forma de consumo de energia possam ser reguladas sem a participação efetiva do Estado nas decisões.

O artigo de Tolmasquim et al.(2007) reforça esta tese, afirmando que a preocupação com os impactos ambientais da produção e uso da energia, tem reforçado a necessidade do planejamento e ação do Estado, com o objetivo de garantir a sustentabilidade do desenvolvimento.

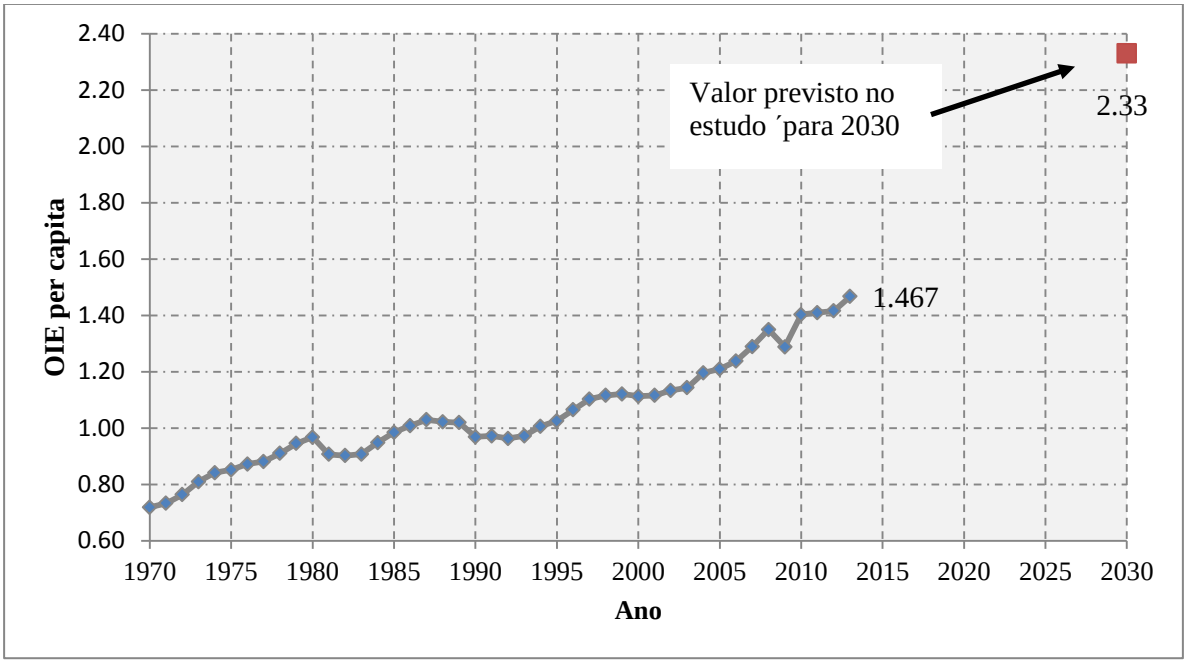

Figura 2: Oferta de Energia Primária *per capita* e a previsão de crescimento para 2030
Fonte: BRASIL (2014c)

Quando são utilizados modelos econométricos para realização de previsões de longo prazo, erros relevantes são cometidos, devido a fatores como: a imprevisibilidade econômica, mesmo no curto prazo; a turbulência internacional que instabiliza as condições socioeconômicas; e a procura da sociedade por modelos mais avançados de convivência política e econômica (CARVALHO, 2009).

Outro aspecto que pode ser citado relaciona-se a condições ambientais não previstas, como a atual seca de intensidade e duração incomuns, que reduziu o nível de água nos reservatórios e consequentemente diminuiu a produção das hidroelétricas, levando a necessidade de intensificar a geração de energia através das termoelétricas, o que tem resultado na elevação do custo da energia elétrica.

O processo de diversificação das fontes brasileiras de Energia Interna entre 1973 e 2013, mostrado na tabela 3, evidencia os aumentos da participação dos derivados da cana de açúcar, como o etanol carburante e o bagaço de cana, utilizado na cogeração de energia elétrica. Também se destaca o crescimento da hidroeletricidade e aumento de outras renováveis – representantes modernas da fração renovável – e a redução do consumo de lenha e carvão vegetal. Entre as fontes não renováveis, merece atenção o crescimento da participação do gás natural que, no entanto, na visão de Tolmasquim et al. (2007) em estudos de longo prazo, deverá ser complementado através da importação, pois o setor industrial, seu maior consumidor, deve continuar a tendência de substituição do óleo combustível.

Tabela 3: Diversificação das fontes de OIE no Brasil entre 1970 e 2013

	1970	1980	1990	2000	2010	2013
Petróleo/derivados	37,6	48,0	42,2	44,6	42,1	39,3
Gás natural	1,8	1,9	4,4	8,1	11,4	12,8
Carvão mineral	3,5	4,8	6,8	6,7	4,4	5,6
Urânio	0,0	0,0	0,0	1,1	1,6	1,3
Não renováveis	**42,9**	**54,7**	**53,4**	**60,5**	**59,5**	**59,0**
Hidráulica/eletricidade	5,0	9,6	12,4	14,0	11,7	12,5
Lenha/Carvão vegetal	46,5	26,8	19,9	12,4	8,7	8,3
Derivados da cana	5,3	8,0	12,9	10,7	16,4	16,1
Outras	0,3	0,9	1,5	2,4	3,5	4,2
Renováveis	**57,1**	**45,3**	**46,6**	**39,5**	**40,5**	**41,0**

Fonte: BRASIL (2014c)

A variação percentual 2013/2012 na oferta de fontes primárias apresenta algumas peculiaridades que valem ser ressaltadas tais como: O crescimento da fração denominada de outras renováveis (lixívia negra e energia eólica); a queda na oferta de hidroeletricidade devido à diminuição de vazão hídrica, o que provocou o aumento da demanda por gás natural nas termoelétricas; o gás natural, o petróleo e seus derivados representaram 80 % do crescimento da oferta interna de energia (BRASIL, 2014c).

No lado da demanda, os grandes consumidores são as indústrias, o transporte e o setor energético (exploração de fontes de energia primária e produtores de energia secundária), que em 2013, consumiram 75,9 % da energia ofertada no país.

O resumo do consumo por energéticos na área de transportes, tabela 4, tem como objetivo avaliar a participação dos biocombustíveis a partir de 2006. A manutenção da participação do biodiesel em 2,4%, na matriz de transportes – apesar dos aumentos de sua concentração na mistura com o óleo diesel que ocorreram de 2010 até o final de 2013 – é consequência do crescimento simultâneo no consumo anual de diesel. É importante ressaltar que os dois aumentos na proporção de biodiesel na mistura, para 6 e 7%, ocorridos em 2014, não estão compilados na tabela 4, mas sua participação em 2014, deve se situar em torno de 2,6%.

Tabela 4: Consumo (%) de energéticos no setor de transporte

Fontes	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Óleo diesel	51,1	49,6	48,3	47,1	46,6	46,2	45,7	46,2
Biodiesel	0,1	0,6	1,2	1,7	2,3	2,4	2,4	2,4
Óleo combustível	1,4	1,6	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2
Gasolina automotiva	26,9	24,6	23,1	23,3	25,1	28,2	30,9	29,3
Querosene	4,4	4,5	4,5	4,5	4,6	4,8	4,8	4,3
Álcool etílico	11,9	14,8	17,5	18,7	17,3	14,5	12,5	14,3
Outras	4,1	4,2	3,7	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2
Total de renováveis	**12,3**	**15,7**	**18,9**	**20,6**	**19,7**	**17,1**	**15,1**	**16,9**

Fonte: BRASIL (2014c)

2.3 Motivações para o uso de biocombustíveis

Diversos fatores tem motivado a procura por fontes alternativas de energia, dentre eles podem ser citados: o aumento da concentração na atmosfera dos gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa – especialmente o CO_2 – emitidos na exploração, processamento e posterior combustão das diversas correntes produzidas a partir da principal fonte de energia utilizada no planeta – o petróleo – e do carvão mineral; e a necessidade de diversificação das fontes de energia como ação estratégica visando reduzir a dependência e vulnerabilidade, especialmente do petróleo e seus derivados.

Apesar das crescentes novas descobertas de petróleo, o balanço entre o aumento do consumo e o das reservas, tem sido negativo. No entanto, segundo Ribeiro e Valle (2006), a maioria dos cientistas e técnicos em todo o mundo concorda que a era do petróleo está chegando ao fim, pois estão surgindo modernas tecnologias e cada vez mais, são inseridas novas fontes alternativas nas matrizes energéticas, com potencial para reduzir de forma intensa ou mesmo eliminar, os problemas provocados pelo uso do petróleo e seus derivados. O esgotamento futuro das reservas de petróleo é apenas um catalisador deste processo.

De acordo com a revisão estatística anual de energia da British Petroleum (2014), as reservas provadas de petróleo no mundo no final de 2013 alcançavam valores próximos a 1,7 trilhões de barris. Com base nesse dado, a relação das reservas provadas / produção mundial (relação R/P) no final do ano de 2013 indicava uma disponibilidade futura para 53 anos (BP, 2014).

A evolução do cenário das reservas provadas de petróleo nas diversas regiões do mundo é apresentada na tabela 5, onde se verifica que no caso da América do Sul e Central, a média das reservas/produção da região é elevada devido ao caso excepcional da Venezuela, dona da maior reserva de petróleo do mundo na atualidade. A relação R/P calculada para o

Brasil é de pouco mais de 20 anos, no entanto, Brasil (2014c) fornece o valor de 2, 4 bilhões de m³ como valor adicional para as reservas estimadas de petróleo, o que elevaria a disponibilidade total de uso – no nível de produção praticado em 2013 – para aproximadamente 40 anos.

Tabela 5: Distribuição das reservas provadas de petróleo nas diversas regiões do mundo

	1993 (%)	**2003 (%)**	**2013 (%)**	**R/P (base 2013) (anos)**
Oriente Médio	66,3	55,9	47,9	78,1
África	11,6	16,9	13,6	40,5
Américas Central e Sul	7,5	8,7	8,8	>100
América do Norte	5,9	8,0	7,7	37,4
Ásia	3,7	3,0	2,5	14,0
Total (bilhões de barris)	1.041,4	1.334,1	1.687,9	-
Crescimento (%)	-	28,1	26,5	-

Fonte: British Petroleum (2014)

Em documento sobre as perspectivas ambientais globais para 2030, a OCDE (2008), relaciona diversos problemas ambientais no quadro 1, classificando-os da seguinte forma: (Luz vermelha) os que são mal gerenciados, se encontrando em estado ruim ou em deterioração, requerendo atenção urgente; (Luz amarela) as questões ambientais que representam ainda um desafio, cujo enfrentamento está melhorando, mas o estado atual ainda permanece incerto; (Luz verde) são os problemas ambientais (no âmbito dos países da OCDE) cujas soluções e gestão têm promovido melhorias significativas, mas que precisam ser policiados de forma permanente.

Recursos	Luz vermelha	Luz amarela	Luz verde (OCDE)
Alterações climáticas	Emissões globais de GEE. Evidência crescente de mudanças no clima.	Redução do nível de emissão por unidade de PIB.	----------
Biodiversidade e Recursos Naturais.	Qualidade dos ecossistemas. Extinção de espécies. Florestas tropicais. Desmatamento ilegal.	Gestão florestal. Áreas protegidas.	Área florestal.
Água	Escassez de água. Qualidade de água subterrânea. Água para uso agrícola e poluição.	Qualidade das águas superficiais e tratamento de águas residuais.	Poluição hídrica por fontes pontuais (indústria e municípios).

Quadro 1: Perspectivas ambientais para 2030 segundo a OCDE

Fonte: OCDE (2008)

Uma das conclusões deste estudo da OCDE, – caso não se concretize medidas efetivas e urgentes para combater os efeitos previstos e classificados como “luz vermelha” – será o aumento de 37% na emissão global de GEE até 2030 e 52% até 2050, que se refletirá na elevação da temperatura média mundial entre 1,7 e 2,4ºC, levando a mudanças no regime de precipitação e a um aumento das ondas de calor, secas, tempestades e inundações.

Da revolução industrial até hoje, estima-se que os processos de queima de combustível, tenham liberado anualmente para a atmosfera quantidades de CO_2, que só em 2012, chegou a praticamente 32 Gt. Isto tem resultado em um crescimento exponencial na concentração atmosférica Global de CO_2, que atingiu o valor de 385 ppmv (partes por milhão em volume), e que na última década tem mantido uma taxa de crescimento constante de 2 % ao ano (IEA STATISTICS, 2014).

Das fontes primárias de energia, o carvão, embora represente 29% do consumo mundial, é responsável por 44% das emissões de CO2, superando o petróleo e seus derivados, devido ao seu elevado conteúdo de carbono por unidade de energia liberada (29 t C/ TJ), superior ao petróleo (16,8 a 27,5 t C/ TJ) e ao gás natural (15,3 t C/ TJ).

Diversos países como China, Índia, Austrália, África do Sul e Polônia produzem 67% de sua eletricidade e calor através da combustão do carvão, que representa 42% das emissões de CO_2. O setor de transporte gera 23% do total de emissões, sendo o segmento rodoviário, o principal responsável pelo valor de CO2 emitido – 75% - em 2012, o que representou um aumento de 64% a partir dos anos 90. (IEA STATISTICS, 2014).

A figura 3 representa a variação na concentração de CO_2 global e a elevação observada na temperatura, desde o período da revolução industrial, que tem sido associada ao crescimento da concentração dos gases responsáveis pelo efeito estufa.

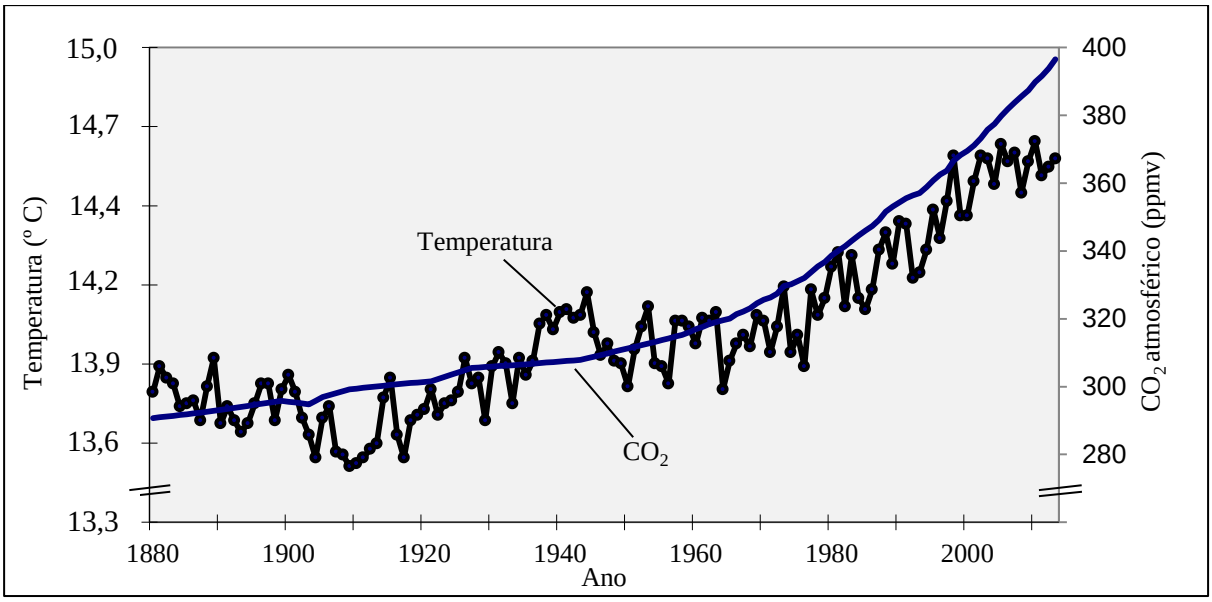

Figura 3: Concentração de CO_2 e Temperatura média Global no período 1880 – 2013.

Fonte: Earth Policy Institute (2014)

A síntese realizada por Brasil (2014c), mostra que o total de emissões antrópicas no país em 2013, atingiu 459 Mt de CO_2, representando um aumento de 7% em relação a 2012. Setorialmente, a área de transportes foi a maior responsável pela liberação de CO_2 (46,9%). A tabela 6 a seguir destaca alguns indicadores ambientais para emissão de CO_2, em relação a algumas regiões do mundo, que reflete a posição diferenciada do Brasil com a participação das energias renováveis em sua matriz, especialmente na relação entre o CO_2 e o PIB.

Tabela 6: Indicadores ambientais no Brasil e outras regiões do mundo em 2012.

	CO_2 *per capita* (t CO2/hab)	Região / Brasil	CO2/PIB (kg CO2/US$$_{PPP\ 2005}$)	Região/ Brasil
Brasil	2,22	-	0,17	-
China	6,08	2,74	0,62	3,65
União Europeia	7,00	3,15	0,23	1,35
Estados Unidos	16,15	7,27	0,36	2,12
OECD	9,68	4,36	0,31	1,82

Fonte: IEA STATISTICS (2014).

Considerando-se os problemas descritos, a utilização da biomassa e a produção e uso dos biocombustíveis como energéticos, representa uma alternativa presente e futura de elevada viabilidade.

O etanol ou bioetanol, denominação que denota sua origem da biomassa, é produzido no Brasil, desde a década de 1920, quando ocorreram as primeiras ações de introdução deste produto na matriz energética brasileira (LEITE e CORTEZ, 2000).

A crise do petróleo na década de 1970 serviu como base para o Programa Nacional do Álcool, denominado PROÁLCOOL, lançado e subsidiado (até 1985) pelo governo brasileiro com o objetivo de substituir parcialmente o uso da gasolina, e contribuir com a redução da dependência em relação ao petróleo importado.

No Brasil, a rota utilizada para produção de etanol é a fermentação de produtos contendo glicose e frutose, extraídas da cana de açúcar. O produto fermentado é posteriormente destilado e retificado para produzir etanol hidratado e adicionalmente desidratado, no caso de etanol anidro. Obtêm-se comercialmente, o álcool etílico hidratado carburante contendo em média 7 % de água, para utilização direta nos motores do ciclo Otto em substituição à gasolina, e o álcool etílico anidro com teor máximo de água de 0,7 %, utilizado atualmente na proporção de 27 % na mistura com a gasolina. Segundo Dias (2008), o Brasil era o maior produtor mundial de etanol até o ano de 2006, quando o crescente interesse em seu uso como aditivo antidetonante da gasolina, em substituição ao chumbo tetraetila, motivou um aumento da produção pelos Estados Unidos, que em 2007 atingiu 24,6 milhões de m^3 de etanol, enquanto no Brasil, a produção foi de 22,5 milhões de m^3.

A produção de etanol no mundo em 2014, superior a 93 milhões de m^3, apresentou crescimento de 4,87% em relação a 2013, expansão devido principalmente à produção dos Estados Unidos, superior em 7,5% (RENEWABLE FUEL STANDARDS, 2015).

O etanol americano é produzido utilizando o milho como matéria prima, que é subsidiado pelo governo americano, com custo de produção superior ao etanol obtido da cana de açúcar. Segundo Procknor (2014), a grande desvantagem da utilização do milho é a necessidade de fornecimento externo de energia térmica produzida por gás natural e de energia elétrica das redes concessionárias. Esta particularidade desqualifica o etanol do milho americano como um biocombustível avançado, pelo Renewable Fuel Standards (RFS).

A competição pelo uso da terra entre os biocombustíveis e o cultivo de alimentos tem colocado em dúvida programas de expansão de produção baseado na tecnologia atual, denominada de primeira geração. No caso do etanol, a alternativa extremamente promissora que tem se desenhado é a introdução e rápida consolidação da tecnologia de produção de etanol de segunda geração, com a utilização de matérias primas celulósica e lignocelulósica, cuja potencial de oferta tem uma amplitude imensa e permitirá aumentos de produção e

produtividade, sem os inconvenientes de ampliação de áreas plantadas das matérias primas usadas atualmente.

O comportamento da produção de etanol hidratado e anidro no Brasil a partir do ano 2000 tem sido mantido com uma produção média anual em torno de vinte e sete bilhões de litros. A produção de etanol hidratado é dependente do preço do petróleo que regula sua competitividade perante a gasolina, enquanto o anidro apresenta menores variações, pois seu uso, na mistura com a gasolina normalmente se mantem em torno de 27%, valor regulamentado pelo governo.

2.4 Motivações ambientais para o uso de biodiesel

Segundo Guarieiro et al. (2011), aproximadamente 3.000 compostos orgânicos já foram detectados na atmosfera como resultado de ações antrópicas. Os indicadores de controle da qualidade do ar incluem o dióxido de enxofre, os materiais particulados, o monóxido de carbono, o ozônio e os óxidos de nitrogênio, denominados de poluentes primários, cujas emissões ocorrem através do escapamento dos veículos, podendo formar poluentes secundários, através de reações entre eles ou de processos fotoquímicos.

O óleo diesel é um combustível formulado a partir de várias correntes obtidas da destilação atmosférica do petróleo e de processos para tratamento e remoção de substâncias sulfuradas, nitrogenadas e oxigenadas. O diesel é utilizado em motor de combustão interna por compressão e que devido à sua alta eficiência, durabilidade e flexibilidade, possui demanda superior aos demais derivados de petróleo (BRUNETTI, 2012).

Os veículos a diesel emitem inúmeras substâncias, especialmente NO_x e material particulado, uma das maiores causas de poluição nos centros urbanos, causadores de sérios problemas respiratórios em seres humanos (BRUNETTI, 2012). Os parâmetros do óleo diesel que mais afetam a emissão de poluentes são: o número de cetano (mede a qualidade de ignição do óleo diesel, influenciando diretamente na partida do motor, na sua operação com carga e no nível de emissão); o teor de enxofre e de aromáticos; e a densidade.

A tabela 7 apresenta uma avaliação comparativa realizada pela Environment Protection Agency, EPA (2002), com óleo diesel puro e B20 (proporção do biodiesel de soja na mistura com o diesel), e mostra que os teores de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e os materiais particulados emitidos nos gases de exaustão têm uma redução significativa no processo de combustão em testes com motores pesados.

Tabela 7: Impacto de emissões de B20 (Matéria prima – soja)

Poluente	Variação nas emissões (%)
NO_x	+2,0
MP	-15,6
HC	-13,8
CO	-14,1

Fonte: EPA (2002)

2.5 O biodiesel na matriz energética brasileira

Em 1900, a companhia Otto realizou uma demonstração de um motor diesel de pequeno porte, operando diretamente com óleo de amendoim que operou com óleos vegetais sem necessidade de qualquer adaptação. Os óleos vegetais foram usados como combustíveis para motores a diesel até a década de 1920. Devido ao baixo custo e grandes disponibilidades do petróleo no início do século XX, os motores a diesel foram alterados para utilizar os combustíveis fósseis, devido a sua menor viscosidade (KNOTHE et al., 2006).

A primeira patente mundial sobre o processo de transesterificação de óleos vegetais cujo autor foi Charles Chavanne na Bélgica, relatava a utilização de ésteres etílicos e metílicos, descritos como combustíveis equivalentes ao diesel, produzidos a partir do óleo de palma e outros por transesterificação em meio ácido (SUAREZ e MENEGHETTI, 2007; RAMOS et al., 2011).

Segundo Suarez e Meneghetti (2007), os graves problemas de abastecimento de petróleo durante a 2ª Guerra Mundial incentivaram a busca por soluções tecnicamente viáveis para substituição dos combustíveis fósseis. Após a Segunda Guerra Mundial, o mercado de petróleo se estabilizou e só a partir dos anos 70, com as crises no mercado mundial de petróleo, o biodiesel volta a se tornar uma alternativa mundial ao óleo diesel de origem fóssil.

Em 1980, em plena crise do petróleo, o governo cria o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, o Pró-óleo, cujo objetivo era produzir excedentes de óleo vegetal, tornando-o competitivo em relação ao óleo mineral. O programa pró-óleo foi abandonado em 1986, após a queda no preço do petróleo (SUAREZ e MENEGHETTI, 2007).

O governo federal que visava reduzir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis lança no final da década de 70, o PROÁLCOOL – Programa Nacional do Álcool –, e em 1983, criou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG) que foi responsável pela utilização de biodiesel e suas misturas em diversas proporções com o diesel mineral em

caminhões e máquinas agrícolas, que percorreram mais de um milhão de quilômetros (RAMOS et al. 2003).

A utilização direta dos óleos vegetais após os longos períodos de testes apresentaram inúmeros inconvenientes devido aos seus elevados valores de viscosidade e sua baixa volatilidade (MA e HANNA, 1999; RAMOS et al. 2003).

Segundo Mattei (2010), o tema biodiesel retorna à pauta no final da década de 90, após uma reestruturação da matriz energética e com a criação das agências reguladoras.

A agricultura familiar se tornou uma das prioridades na implantação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que adquiriu um aspecto social devido à sua capacidade para geração de emprego e renda. O PNPB foi lançado oficialmente em 2004, com as diretrizes de implantar um programa sustentável, promovendo: a inclusão social; a garantia de preços competitivos, qualidade e suprimento; a produção do biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas; e com objetivo de tornar o país um grande produtor mundial aumentando a proporção do biodiesel na Matriz Energética Nacional.

No decreto que oficializou o PNPB, o governo brasileiro como forma de incentivar o produtor e garantir a inclusão da agricultura familiar na cadeia de produção do biodiesel instituiu o selo combustível social, SCS, a ser concedido ao produtor que "promover a inclusão social dos agricultores familiares enquadrados no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF, que lhe forneçam matéria-prima" (BRASIL, 2004).

Em 2005, a lei 11.097, introduz o biodiesel na matriz energética brasileira tornando obrigatória a proporção de 2% da mistura do biodiesel ao diesel, denominado B2 (A nomenclatura que identifica a concentração de biodiesel na mistura com óleo diesel utiliza as letras BX, sendo B, a inicial de biodiesel, e X, a concentração em volume de biodiesel na mistura), e projetando um valor de 5% em 2013. Segundo Ramos *et al*. (2011), uma resolução do CNPE antecipa a proporção de 3% para 2008, alterada para 4% em 2009, e posteriormente é tornada obrigatório o uso de 5% em 2010.

O ano de 2014 se caracterizou pelo aumento da proporção do biodiesel em dois momentos distintos, 6% em julho e 7% em novembro.

O PNPB não determinou uma tecnologia específica para produzir biodiesel, supondo a coexistência da agricultura familiar do Norte e Nordeste com o agronegócio das regiões mais ricas. A desproporção entre a força dos produtores de soja e a agricultura familiar, com as oleaginosas incentivadas nas regiões Norte e Nordeste, provocou o insucesso de uma das

principais diretrizes do PNPB para estas regiões. Salomão (2013) aponta que os aspectos positivos do programa se concentraram na introdução do biodiesel na matriz de combustível nacional, economizando divisas devido à redução na importação de óleo diesel, além da diminuição na emissão dos GEE. Como aspecto negativo, argumenta que o programa não conseguiu promover o desenvolvimento regional e a inclusão dos agricultores das regiões mais pobres do país, como prometia em sua implantação.

Dados divulgados por Brasil (2015) citam que a capacidade instalada, para a produção de biodiesel, autorizada a operar comercialmente, em janeiro de 2015, ficou em 7.652 mil m³/ano (638 mil m³/mês), sendo 90%, empresas detentoras do Selo Combustível Social.

O Estado do Rio de Janeiro tem duas unidades autorizadas perante a ANP, a Cesbra e a Grand Valle, com capacidade de produção de 150 mil m³/ano, ambas localizadas na região Sul do Estado (BIODIESELBR, 2014).

A localização das unidades produtoras por região com autorização de comercialização pela ANP é apresentada na tabela seguinte, onde são discriminadas a capacidade instalada anual e a produção realizada em dezembro de 2014. Pode ser observado que a ociosidade é maior nas regiões onde estão concentradas as maiores capacidades.

Tabela 8: Unidades de produção de biodiesel nas diferentes regiões do Brasil

Região	Nº de Usinas	Capacidade Instalada		Produção realizada dez/2014 (mil m³)	Produção mês % capacidade instalada
		mil m³/ano	%		
Norte	3	191	3	12,18	80,29
Nordeste	3	455	6	30,62	80,75
Centro Oeste	25	3.312	43	135,02	48,92
Sudeste	10	1.043	14	30,28	34,84
Sul	13	2.651	35	139,9	63,32
Total	**54**	**7.652**	**100**	**348,0**	**54,57**

Fonte: BRASIL (2015)

A figura 4 apresenta a produção de biodiesel no Brasil, com a produção consolidada do ano de 2014, onde se verifica uma expressiva taxa de crescimento em relação ao ano de 2012, de 17%, consequência dos aumentos de sua concentração no ano de 2014, principalmente o primeiro, ocorrido em maio.

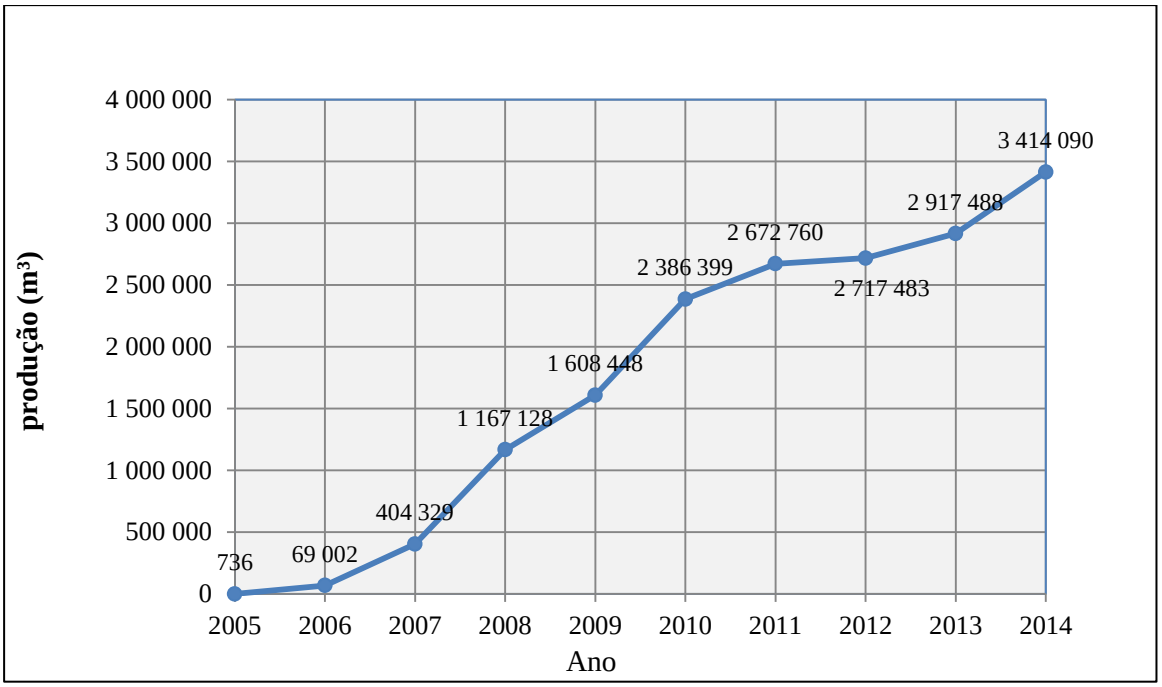

Figura 4: Evolução da produção de biodiesel no Brasil

Fonte: BRASIL (2015).

Os dados do cenário mundial em 2013 mostram que o Brasil ocupava a terceira posição em termos de produção anual, atrás dos Estados Unidos e Alemanha, responsáveis, na ordem descrita, pelas maiores produções. Esta evolução pode ser visualizada na figura 5, mas deve ser ressaltado que é comum a ocorrência de revezamento nestas posições em função das condições macroeconômicas regionais.

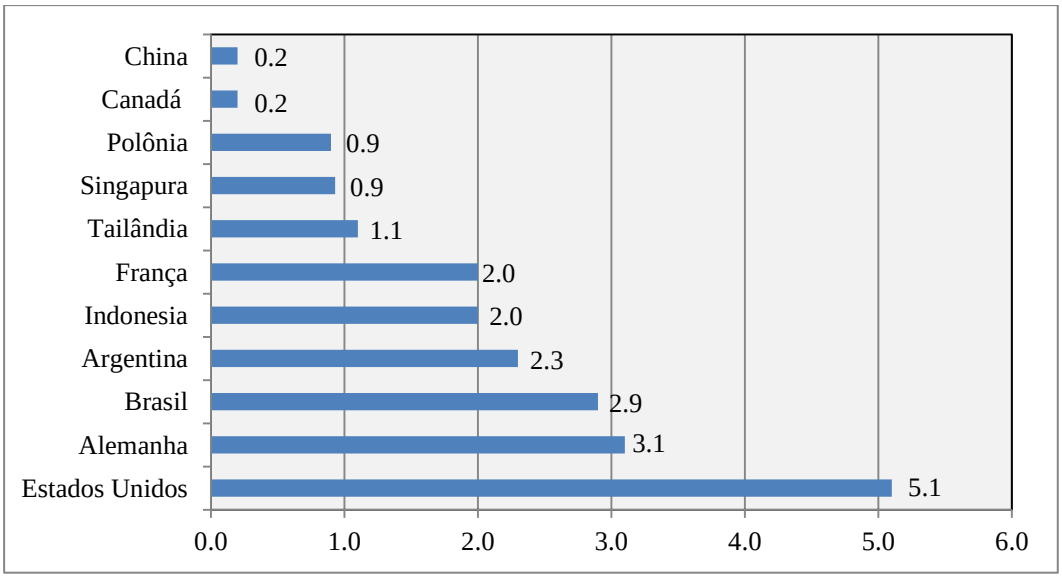

Figura 5: Produção de Biodiesel no Mundo em 2013 (bilhões de litros)

Fonte: STATISTA (2014)

2.6 Matérias primas convencionais na produção de biodiesel

Os óleos vegetais são constituídos basicamente por substâncias denominadas de triglicerídeos ou acilgliceróis, que possuem amplas aplicações industriais, sendo atualmente utilizados também como matéria prima na produção de biodiesel. Quimicamente, são ésteres formados a partir de ácidos graxos (ácidos carboxílicos de cadeia longa) e glicerol. Os óleos vegetais também apresentam em sua composição, água, ácidos graxos livres (produzidos no processo de extração do óleo), fosfolipídeos, esteróis e tocoferóis. O que diferencia óleos e gorduras é o seu estado físico a 20ºC, que depende do tamanho dos seus ácidos graxos e do grau de instauração da cadeia carbônica. Os óleos possuem altos teores de ácidos graxos insaturados à temperatura ambiente. Nas gorduras, predominam os ácidos graxos saturados (MOURA, 2010).

As fontes de matéria prima utilizadas no mundo para produção de biodiesel variam principalmente com as disponibilidades de óleo vegetal e/ou gordura animal de cada país (SALOMÃO, 2013).

Nos Estados Unidos, a maior parcela da produção está suportada pelo uso da soja (65,7 % em 2013) e no Brasil este predomínio da soja é maior – 74,9 % – vindo em seguida o sebo bovino com 20,3 % (BRASIL, 2014c).

Na União Europeia, o uso da canola é predominante e em países como Malásia e Indonésia, o óleo de palma e o dendê são os mais usados. Diversas outras fontes, são usadas em proporções menores em todo o mundo, como gordura animal; resíduo de óleo de fritura; óleos de milho, de girassol, pinhão manso e amendoim; algas e microalgas e outros óleos não comestíveis (SALOMÃO, 2013).

Algumas avaliações relativas à qualidade tecnológica do óleo a ser processado incluem: nível de complexidade exigido na extração e purificação do óleo; presença de impurezas originais do óleo ou formadas no processo de extração/purificação; teor de ácidos graxos poli-insaturados; composição em relação aos ácidos graxos saturados; presença de substâncias de valor agregado elevado (MOURA, 2010).

Os óleos fixos podem ser extraídos das oleaginosas, usando prensas ou através da utilização de solventes. A extração por pressão hidráulica resulta em uma torta contendo entre 8 e 14% de óleo residual, o que diminui o rendimento do processo. O método de extração por solventes é uma operação unitária clássica onde os componentes de interesse são solubilizados em um solvente adequado, sendo posteriormente separados (MOURA, 2010).

Segundo Trzeciak et al (2008), para a produção de biodiesel é imprescindível a consideração de fatores, como: teor e qualidade do óleo, produção por unidade de área, adaptação a diferentes sistemas produtivos, ciclo da cultura e adaptação regional. A tabela 9 resume as características de produção de diversas oleaginosas usadas no Brasil e seus rendimentos típicos na produção de biodiesel.

Tabela 9 – Características das principais culturas para a produção de óleo

CULTURAS	TEOR DE ÓLEO (%)	PRODUTIVIDADE (kg/ha/ano)	BIODIESEL (kg/ha/ano)	CICLO (meses)	BIODIESEL (kg/ha/mês)
SOJA (safrinha)	19	1.500	256,50	4,17	68,40
SOJA	19	2.000	342,0	4,17	91,20
MAMONA	49	1.300	567,5	4,50	140,11
ALGODÃO	15	1.800	243,0	2,33	115,71
AMENDOIM	39	1.800	631,8	4,0	175,50
GIRASSOL	43	1.600	619,2	3,33	206,40

Fonte: PESAGRO RIO (2007)

Os principais parâmetros de qualidade da matéria prima que interferem no processamento posterior da produção do biodiesel é o teor de umidade inicial e o índice de acidez. A correção para adequação destes índices com as necessidades do processamento seguinte é realizada pela desumidificação do material e a redução da acidez, através de processos de neutralização, seguido de secagem ou desumidificação. É normal o processo de esterificação ácida em matérias primas com elevada acidez inicial (KUCEK, 2004).

Considera-se que a liderança da soja seja muito conveniente para o Brasil, pois atualmente nenhuma outra matéria prima consegue aliar a disponibilidade, produção, preço e viabilidade, como a soja é capaz. Um exercício simples permite avaliar que, com a necessidade anual de diesel de aproximadamente 60 bilhões de litros, a área de soja capaz de produzir uma quantidade equivalente de biodiesel seria de 85 milhões de ha, supondo um excelente rendimento de conversão do óleo de soja em biodiesel (600 kg/ha/ano). Portanto, a grande limitação da soja como matéria prima para a produção de biodiesel é sua baixa produtividade.

A distribuição de matérias primas utilizadas atualmente nas diferentes regiões do Brasil é apresentada na tabela 10, onde pode ser observada a grande predominância no uso da soja. O preço no mercado internacional provoca pequenos reflexos nos consumos anuais de soja que, no entanto, tem se mantido em torno de 70%.

Tabela 10: Distribuição (%) MP utilizadas no Brasil para produção de biodiesel por regiões.

Matéria Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de soja	84,84	64,26	89,04	47,44	69,53
Gordura bovina	12,14	25,57	8,51	44,92	18,28
Óleo de algodão	-	6,22	0,41	5,89	-
Óleo de fritura usado	-	0,25	0,39	-	0,62
Gordura de porco	-	-	0,24	-	1,51
Gordura de frango	-	-	-	-	10,06
Outros materiais graxos	3,02	3,55	1,41	1,75	-

Fonte: BRASIL (2014b)

2.7 O biodiesel e as tecnologias de produção

Em 2008, a ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), definiu o biodiesel como “um combustível composto de monoalquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivado de óleos vegetais ou gordura animal e designado B100”.

O processo utilizado na transformação dos triglicerídeos em ésteres mono alquílicos de ácidos graxos é conhecido como transesterificação, sendo conhecida desde o século XIX. Devido à baixa velocidade da reação nas condições normais, o processo industrial é realizado na presença de um catalizador. O processo pode ser catalisado por substâncias alcalinas ou ácidas em meio homogêneo, por catalisadores heterogêneos, ou utilizando biocatalisadores (KNOTHE, 2006).

O rendimento do biodiesel na reação de transesterificação depende de uma série de fatores, sendo considerados os mais importantes, parâmetros como: tipo e quantidade do álcool utilizado; tipo e quantidade de catalisador, a temperatura, o tempo de reação e a intensidade de agitação do meio reacional (DEMIRBAS, 2008).

A qualidade da matéria prima também possui grande influência na determinação da escolha do método de catálise a ser usada no processo.

A representação genérica de uma reação geral de transesterificação de óleos vegetais é reproduzida na figura 6, onde o “R” representa grupamentos alquila contendo em média de 18 a 22 átomos de carbono e R1 é o grupamento alquila do álcool utilizado como agente de transesterificação.

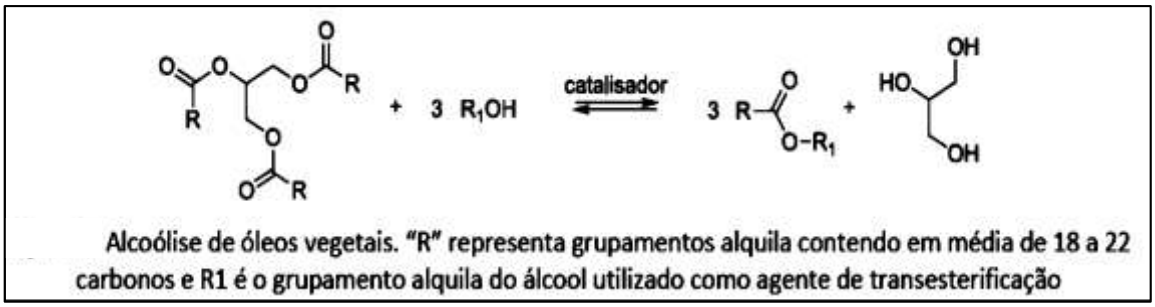

Figura 6: Reação de transesterificação

Fonte: Ramos (2011)

A transesterificação usando metanol (metanólise) de óleos vegetais em meio alcalino homogêneo é o processo predominante de produção do biodiesel, pois o metanol, além do seu baixo custo, possui elevada reatividade em função de ser uma molécula pequena e de significativa polaridade. O coproduto da reação, o glicerol, é produzido na proporção de 10%, e sua produção anual no Brasil, cerca de 250 mil toneladas, representa um desafio para seu pleno aproveitamento, que aumentaria a sustentabilidade da produção do biodiesel.

Uma limitação da reação de transesterificação alcalina é a exigência de que os reagentes, triglicerídeos e o álcool utilizado, sejam absolutamente anidros e com baixos teores de ácidos graxos livres. Pequenos traços de água no sistema induzem à formação de sabão, que interferem no rendimento da reação, e dificulta a separação do biodiesel e glicerol formados (MA e HANNA, 1999).

Dos catalisadores alcalinos podem ser citados: o hidróxido de sódio, o hidróxido de potássio, o metóxido e o etóxido de sódio ou potássio. O hidróxido de sódio por possuir custo menor, tem larga utilização. Os alcóxidos de sódio ou potássio dão melhores rendimentos, mas tem maiores custos e são de difícil manipulação (SHAHID e JAMAL, 2011).

A razão molar (RM) estequiométrica entre o álcool e o óleo na transesterificação é de 3:1, contudo, dada a reversibilidade da reação, um amplo excesso de álcool é necessário para garantir que o equilíbrio químico se desloque na direção dos produtos (BORGES, 2011).

No caso do metanol, a relação em excesso mais utilizada é de 6 até 9 para 1, enquanto a RM etanol / óleo é de 12:1 (MOURA, 2010).

Independente do álcool utilizado, a rota por catálise alcalina homogênea segue o fluxograma representado na figura 7.

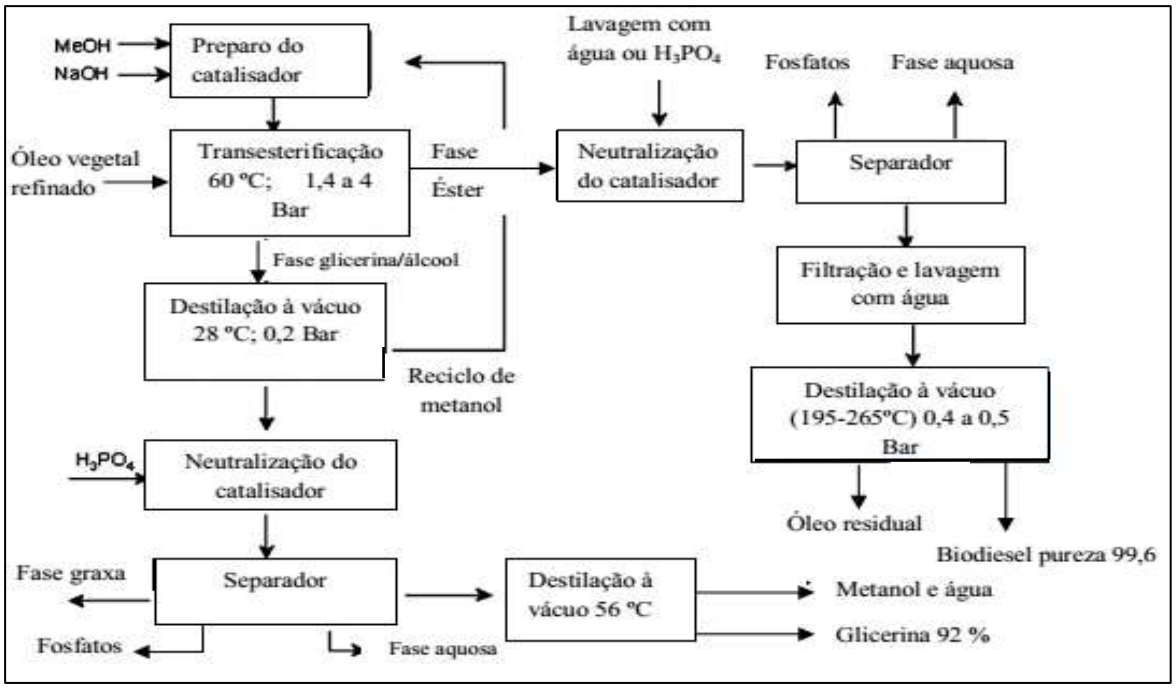

Figura 7: Fluxograma do processo de produção do biodiesel usando metanol

Fonte: Adaptado de BALAT e BALAT (2011)

A temperatura da transesterificação é dependente da matéria prima usada e afeta a velocidade da reação e o rendimento dos ésteres formados. Segundo Lora e Venturini (2012), a transesterificação pode ocorrer em diversas temperaturas, de acordo com o óleo usado, mas é conduzida na metanólise, em valores próximos à temperatura de ebulição do metanol.

A transesterificação ácida não apresenta a mesma exigência da catálise alcalina em relação à acidez do óleo, sendo capaz de processar produtos de menor valor agregado, como óleos de fritura. No entanto, este processo exige relações molares álcool: triglicerídeo elevadas, além de condições de temperatura mais rigorosas. Outra limitação deste processo é a presença de água na matéria prima, (ABBASZAADEH et al, 2012).

Na opinião de Ramos (2011), mesmo condições tão radicais, como a elevada razão molar e temperatura, presentes na transesterificação catalisada por ácidos, não favorecem sua cinética, sendo normal tempo de reação igual ou superior a 3 horas. Os ácidos sulfúrico, fosfórico, clorídrico e sulfônico, são os catalisadores utilizados (QUINTELLLA et al., 2009).

Segundo Ramos et al. (2003), a transesterificação usando metanol é tecnicamente mais viável do que com o etanol comercial. O etanol anidro minimiza este problema, mas não soluciona a dificuldade inerente à separação da glicerina do meio reacional, que no caso do metanol é mais simples. Um ajuste nas condições da reação é suficiente para que a separação de fases ocorra de forma espontânea.

Na visão de Suarez (2008), é possível realizar a transesterificação etílica e se obter altos rendimentos. As particularidades regionais de cada matéria prima, impõe a necessidade de estudos localizados de otimização. Na transesterificação etílica, a velocidade da reação e o rendimento dependem da razão molar etanol: óleo, do tipo e da carga de catalisador, da temperatura da reação e da intensidade de agitação. (STAMENKOVIC et al., 2011).

Ramos (2009) cita as características de toxidez e risco de manuseio do metanol, mais elevados do que o etanol, que torna seu uso proibitivo, em instalações de pequeno porte. O etanol possui propriedades mais compatíveis com a produção de biodiesel em escalas até médio porte, produz biodiesel de melhor qualidade e pode representar benefícios socioambientais.

Entre as principais tecnologias disponíveis atualmente, Lora e Venturini (2012) citam o sistema Dedini-Ballestra, acoplado a plantas de bioetanol, com flexibilidade para utilizar etanol ou metanol. O quadro 2 sintetiza diversas características da transesterificação, comparando-a quanto ao uso do etanol ou metanol como reagente da alcoólise.

Características	Etanol	Metanol
Auto suficiência	Sim	Não
Geração de empregos no país	Muitos	Poucos
Impacto na cadeia produtiva	Grande	Pequeno
Viabilidade econômica comparativa	Equivalente	Equivalente

Quadro 2: Comparativo transesterificação usando etanol e metanol

Fonte: ENCARNAÇÃO (2008)

A rota metílica para produção de biodiesel é uma tecnologia que foi importada na fase inicial do programa de biodiesel brasileiro devido ao nível de maturação que a mesma já tinha alcançado no exterior quando foi instituído o PNPB. O seu domínio quase total subsequente foi decorrente desta vantagem tecnológica inicial. Os resultados já obtidos com a pesquisa da transesterificação etílica, já dominada na opinião de muitos pesquisadores, permitem a integração da produção de etanol à cadeia produtiva do biodiesel.

A visão crítica em relação à sustentabilidade dos combustíveis de primeira geração tem direcionado a atenção para o potencial que representa os de segunda geração. Conceitualmente, os biocombustíveis de segunda geração são aqueles produzidos, tanto a partir de matérias primas que não sejam concorrentes na utilização de áreas para produção de

alimentos, como por tecnologias que sejam capazes de processar materiais já utilizados, gerando produtos com padrões de qualidade equivalentes aos constantes nas especificações.

Nesse contexto, destacam-se as tecnologias de segunda e terceira geração para conversão de ésteres graxos oriundos de fontes lipídicas não alimentícias, como óleos e materiais graxos residuais. Os processos alternativos para a transformação destas matérias primas em ésteres graxos podem estar associados à catálise heterogênea, a hidroesterificação e a destilação não reativa. Também na vertente de terceira geração encontram-se os hidrocarbonetos e ésteres graxos provenientes do cultivo de microalgas em substratos tais como sacarose da cana, águas servidas e efluentes industriais. (RAMOS, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho, através da revisão bibliográfica da matriz energética mundial e brasileira, especificamente do período posterior a década de 1970, procura apresentar de forma sistemática, as motivações de segurança energética estratégica e ambiental, e como tem ocorrido a progressão da produção dos biocombustíveis.

Como padrões referenciais, foram levantados dados médios mundiais e dos países membros da OCDE, comparando-os perante os valores encontrados no Brasil. Para garantia de máxima exatidão na coleta das informações na área de produção e uso de energia e o ambiente, as consultas foram realizadas diretamente no sítio e nas publicações disponibilizadas pelo International Energy Agency (IEA) – instituição que orienta a política para o uso eficiente e limpo de energia de 34 países membros – e do Balanço Energético Nacional (BEN), publicação anual do Ministério das Minas e Energia realizado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE).

Foi realizada uma abordagem do contexto histórico em que ocorreu a adoção dos programas de incentivo à produção do etanol brasileiro, o PROÁLCOOL, e do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, o PNPB. São apresentadas as tecnologias de produção do biodiesel, com maior ênfase na rota comercial que utiliza o metanol ou etanol, como um dos reagentes do processo.

Finaliza com uma discussão exploratória sobre a viabilidade de produção de biodiesel na região Norte Fluminense, baseada em sua indústria alcooleira existente e já consolidada,

capacitada a produzir etanol anidro com qualidade compatível à exigida no processo produtivo do biodiesel, e que já dispõe de áreas já agricultáveis e disponíveis.

A soja, cultivada em consorciação com a cultura de cana de açúcar, prática já estudada na região, é analisada como uma opção de matéria prima na produção de biodiesel e os resultados de pré-avaliação são discutidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biodiesel no Brasil tem apresentado uma significativa taxa de crescimento, que acompanha o aumento anual do consumo de óleo diesel no país, implicando em sua participação na matriz energética de transporte com um valor de 2,4%, que deve ser mantido, pelo menos em torno deste patamar.

No Brasil, a soja é a matéria prima predominante utilizada no processo de transesterificação, com uma proporção em torno de 70%. Apesar das alternativas de produção que são pesquisadas em todo o mundo, a transesterificação alcalina ainda é a principal rota utilizada e pelo estágio de desenvolvimento das opções mais promissoras, esta tecnologia, utilizando a soja como principal suporte, ainda tem um tempo de vida considerável.

A região Norte Fluminense (NF), historicamente tem sua economia ligada à agroindústria sucroalcooleira, já tendo mobilizado no cultivo da cana de açúcar uma área de aproximadamente 147.285 ha, valor atualizado para aproximadamente 35.000 ha na safra 2013 (CONAB, 2013). Além da queda na área cultivada, a região apresenta a produtividade mais baixa do Brasil, com relação à cana de açúcar, equivalente a 45,3 t/ha, decorrente da prática secular desta monocultura e de um regime de precipitação irregular e de baixa previsibilidade, que prejudica principalmente os pequenos produtores por não disporem de recursos e nem de incentivos oficiais mínimos necessários à prática da agricultura irrigada.

É uma região que dispõe de áreas e solos aptos ao cultivo agrícola sem necessidade de desmatamento, tem topografia favorável, possui recursos hídricos adequados, está próxima de grandes centros consumidores, possui uma boa infraestrutura rodoviária e portuária para escoamento de produção, estando desta forma, qualificada para desenvolver atividades agrícolas e agroindustriais.

Plantas leguminosas como a soja, tem a particularidade de conseguir fazer a fixação de nitrogênio atmosférico no solo, reduzindo ou mesmo eliminando, dependendo das

circunstâncias, a adubação com base nitrogenada. Desta forma, baseado em resultados regionais de produtividade no plantio da soja sem irrigação (2000 kg/ha) em experiências da PESAGRO-RIO (2007) e em trabalhos realizados por Lima (2006) com o cultivo de soja em rotação com cana de açúcar, também na região NF, com os cultivares adequados conseguindo rendimentos agrícolas elevados (3800 kg/ha), pode-se considerando em uma análise exploratória de viabilidade regional para a rotação da soja com a cana de açúcar,

Apesar da reestruturação da produção agrícola local, que deslocou áreas utilizadas tradicionalmente no plantio da cana de açúcar para outras atividades, como o aumento do cultivo da fruticultura, o redirecionamento de uma grande área para construção das indústrias de suporte às operações do porto do Açu, e a expansão da pecuária, uma avaliação preliminar do cenário permite vislumbrar que ainda existe um grande potencial para a recuperação, mesmo que seja parcial, do setor da agroindústria da cana de açúcar, após décadas de atraso tecnológico, em bases econômicas e socioambientais mais sustentáveis.

A lacuna proporcionada pela decadência da indústria sucroalcooleira da região e todas as consequências negativas advindas deste evento como o aumento do desemprego, a migração da mão de obra rural, entre outros, pode voltar a ser preenchida por esta atividade, com a adoção de um novo modelo de gestão, suportado pelas modernas tecnologias que têm sido implantadas com sucesso em outras regiões do Brasil, que atingem índices de produtividade agrícola e industrial elevados.

Nestas circunstâncias, com a produção da soja em rotação em 20 % da área de cana cultivada ao ano, período recomendado para renovação dos canaviais, a produção de biodiesel na região Norte Fluminense é pré-avaliada como uma nova atividade alternativa para a região, o que também promoveria o fortalecimento da cadeia produtiva da cana de açúcar, devido aos aspectos positivos que a rotação de culturas proporciona. Existem dois cenários possíveis de avaliação quanto à sua viabilidade, a área plantada atualmente, cerca de 35.000 ha, e a área potencial ainda disponível para agricultura. Os resultados da pré-avaliação são apresentados na tabela 11, baseado no quadro atual da área cultivada com cana de açúcar.

Tabela 11: Pré-avaliação do potencial atual da região para produção de biodiesel

Área disponível (ha)	Área para rotação (ha)	Biodiesel (kg/ha/ano)	Produção de biodiesel (m^3/ano)	Receita Bruta anual (R$)
35.000	7.000	340	2.800	5.488.000
		646	5.320	10.427.000

No valor do rendimento em biodiesel considerado na tabela 11 estão implícitos os dois valores de produtividade descritos anteriormente para a região NF, de 2.000 kg e 3.800 kg de soja/ha, com um teor de óleo de 20 %. A área real já utilizada para o cultivo de cana e ainda disponível para a prática desta atividade é possivelmente muito superior ao que está sendo computado o que aumentaria e muito, a escala de produção pré-avaliada.

5 CONCLUSÕES

O Brasil tem se consolidado na liderança mundial de utilização da biomassa como fonte renovável de energia, tanto para geração de eletricidade como na produção de biocombustíveis, representados pelo etanol e biodiesel. Esta posição de destaque na utilização de fontes renováveis – onde estão inseridas também a energia hidráulica, eólica e outras de menor representatividade – está traduzida em um valor de 41%, considerando a Matriz Energética atual. Os planos energéticos de médio e longo prazo têm projetado participações futuras crescentes para os biocombustíveis na matriz de transporte.

O PNPB, responsável pelas diretrizes na produção de biodiesel, prioriza a agricultura familiar como fornecedora de matéria prima para o processo convencional de transesterificação que, no entanto, foi dominada de forma ampla pela utilização da soja.

A possibilidade de cultivar soja em sistema de rotação com a cana de açúcar com base nos bons resultados alcançados em pesquisas realizadas na região Norte Fluminense, se apresenta como uma possibilidade pelos múltiplos benefícios que esta prática agrícola propicia e pelas boas condições de infraestrutura que atualmente a região apresenta.

A região em questão é produtora de etanol, um dos reagentes básicos da tecnologia de produção do biodiesel, possui uma extensa área agricultável disponível e se constitui nesta análise inicial, por suas particularidades regionais favoráveis, como um possível produtor de biodiesel, que mesmo em pequena ou média escala, poderia proporcionar agregação de valor à atividade de cultivo de cana de açúcar, que merece ser quantificado de forma rigorosa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASZAADEH, A. *et al*. Current biodiesel production technologies: a comparative review. **Energy Conversion and Management**, v. 63, p. 138-148, 2012.

ATADASHI, I. M.; AROUA, A.; AZIZ, A. A. High quality biodiesel and its diesel engine application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 14. p. 1999 - 2008, 2010.

BALAT, M; BALAT, H. A critical reviews of biodiesel as a vehicular fuel. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 2727 - 2741, 2008.

BIODIESELBR. As usinas de biodiesel no Brasil. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/usinas/>. Acesso em 06 de abril de 2015.

BORGES, K. A. **Efeito das variáveis operacionais na transesterificação metílica e etílica do óleo de soja**. 2011. 91p. Dissertação (Mestrado em Química). UFU, Uberlândia, MG, 2011.

BRASIL, 2004. Presidência da República. **Decreto Nº 5297 de 6/12/2004**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao /97172/decreto-5297-04>. Acesso em 20 de março de 2015.

_____, 2014a. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). **Resenha Energética Brasileira** – exercício 2013. Brasília – DF. 2014. 28 p.

_____, 2014b. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim mensal do biodiesel** – relatório nº 80. Setembro de 2014. Brasília. 22 p.

_____, 2014c. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

_____, 2015. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim mensal do biodiesel** – relatório nº 84. Março de 2015. Brasília. 27 p.

BRITISH PETROLEUM. "BP Statistical Review of World Energy, 2014". Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf>. Acesso em 03 de Abril de 2015.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. V. 1, São Paulo: Blucher, 2012. 554 p.

CAPRIGLIONE, P. S. **A Energia Renovável na Matriz Energética Brasileira**. 2006. 102 p. dissertação (Mestrado em Economia). EESP – FGV. São Paulo. 2006.

CARVALHO, J. F. **O Declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. 2009. 142 p. Tese (Doutorado em Bioenergia). USP, São Paulo. 2009.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel**. Springer. London, 2008. 213 p.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção de etanol visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. 2008. 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). FEQ, UNICAMP, Campinas. 2008.

EARTH POLICY INSTITUTE (EPI). Gráfico do CO_2 e temperatura no mundo – Disponível em <http://www.earth-policy.org/data_center/C23>. Acesso em 02 de Abril 2015.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. 2008. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFRJ. 2008.

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA), 2002. Comparativo de emissão do biodiesel versus diesel convencional. Disponível em http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420r10006.pdf . Acesso em 13 de Abril de 2015.

GOLDEMBERG, J. ; MOREIRA, J. Política energética no Brasil. **Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.

GOLDEMBERG, J. Biomass and energy. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GUARIEIRO, L.L.N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C.. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). "Key World Energy Statistics". Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>. Acesso em 01 Abril de 2015.

_____ – STATISTICS. CO_2 emissions from fuel combustion–highlights 2012. Disponível em: <http://www.iea.org/media/statistics/co2highlights.pdf>. Acesso em 10 de Abril de 2015.

KNOTHE, G. *et al*. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Blucher, 2006. 340 p.

KUCEK, K. T. **Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Química). UFPR, Curitiba. 2004.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. O etanol combustível no Brasil. **Revista Biocombustíveis no Brasil: Realidades e Perspectivas.** Ministério das Relações Exteriores, Brasília. 2008.

LIMA, E. A. **Avaliação fitotécnica e econômica de cultivares de soja em áreas de reforma de cana-de-açúcar, na região Norte Fluminense.** 2006. 95 p. Tese (Doutorado em Produção vegetal). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. 2006.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**, Vol. 1. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 588 p.

MA, F.; HANNA, M.A. Biodiesel production: a review. **Bioresource technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

MATTEI, L. F. Programa Nacional para produção e uso do biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **BNB. Documentos Técnicos Científicos**, v. 41, n. 04, 2010.

MOURA, B. S., **Transesterificação alcalina de óleos vegetais para produção de biodiesel: Avaliação técnica e econômica**. 2010. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

ORGANISATION ECONOMIC COOPERATION DEVELOPMENT (OECD). **OECD environmental outlook to 2030**. 2008. 14 p.

_____, 2013. Environment at a Glance 2013: OECD Indicators, OECD Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264185715-en>. Acesso em 14 Mai. 2015.

PESAGRO-RIO. **Viabilidade técnica do cultivo de oleaginosas no Norte Fluminense** – A experiência da PESAGRO-RIO – 2007. 47 p. Campos dos Goytacazes.

PROCKNOR, C. 2014. Etanol do milho x Etanol da cana. Disponível em: <http://www.procknor.com.br/br/artigos>. Acesso em 10 de junho de 2015.

QUINTELLA, C.M. *et al*. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.

RAMOS, L. P. 2009. Etanólise. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/ramos.htm. Acesso em 20/04/2015.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento-Edição nº**, v. 31, p. 29, 2003.

RAMOS, L. P. *et al*. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA). Produção de etanol. Disponível em <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production>. Acesso em 13 de Abril 2015.

RIBEIRO, S.K. ; REAL, M.V. **Novos combustíveis**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2006. 93 p.

SALOMÃO, I.L. **Análise do programa nacional de produção e uso do biodiesel no Brasil entre os anos 2005 e 2010: o papel dominante do biodiesel de soja**. 2013. 169 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

SHAHID, E. M.; JAMAL, Y. Production of biodiesel: a technical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 15, n. 9, p. 4732-4745, 2011.

STAMENKOVIĆ, O. S.; VELIČKOVIĆ, A. V.; VELJKOVIĆ, V. B. The production of biodiesel from vegetable oils by ethanolysis: current state and perspectives. **Fuel**, v. 90, n. 11, p. 3141-3155, 2011.

STATISTA. Biodiesel Production in the world. Disponível em: <http://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>. Acesso em 01 de abril de 2015.

SUAREZ, P.A.Z. 2008. Metanol ou Etanol: considerações. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez.htm>. Acesso em 20 de Abril 2015.

_____; MENEGHETTI, S. M. P. Assuntos Gerais. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 271 p.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.

TRZECIAK, M. B. *et al*. Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel. **Informativo ABRATES**. V. 18, n.1,2,3 p. 30-38, 2008.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

VIABILIDADE TÉCNICA DE INTEGRAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL COM USINA DE ETANOL NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE[2]

RESUMO

Este trabalho discute a viabilidade de integrar a produção de biodiesel – usando a soja como matéria prima, a ser obtida em rotação com a cana de açúcar – com o etanol na região Norte Fluminense, com o objetivo de buscar alternativas agroindustriais que possam auxiliar no reaquecimento da atividade sucroalcooleira regional. Para condução do trabalho, é avaliado o estágio atual do setor na região e sua capacidade integral de moagem para determinação da potencialidade da integração. O conhecimento da cadeia produtiva da soja e os aspectos técnicos da produção de biodiesel foram adquiridos através de pesquisa bibliográfica e de visitas a unidades industriais do setor, ao passo que a análise do risco para o cultivo regional da soja é avaliada com base em uma série histórica do nível e regularidade de precipitação característica da região e também do mapa de zoneamento de áreas aptas para reforma de canaviais usando a soja em rotação. Os resultados obtidos indicam que a base central da integração pesquisada, a rotação da cana de açúcar com soja na região, apresenta risco.

Palavras chave: biodiesel, etanol, rotação de culturas.

[2] Artigo Científico a ser submetido à publicação na Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão.

ABSTRACT

This paper discusses the feasibility of integrating the production of biodiesel - using soybeans as raw material, to be obtained in rotation with sugar cane - with ethanol in the northern Fluminense region, in order to seek agroindustrial alternatives that can assist in recovery regional sugar and ethanol activity. To conduct the study, the current status of the sector in the region and its full milling capacity to determine the integration potential is evaluated. Knowledge of the soybean production chain and the technical aspects of biodiesel production were acquired through literature and visits to industrial units in the sector, whereas the risk analysis for the regional cultivation of soy is evaluated based on a number historical level and characteristic precipitation regularity of the region and also the map of zoning suitable areas for reform cane fields using soybean rotation. The results indicate that the central base of the searched integrated, the rotation of sugar cane in the region with soy presents risk.

Key words: biodiesel, ethanol, crop rotation.

1 INTRODUÇÃO

A região Norte Fluminense (região NF) tem um extenso histórico econômico e social associado ao cultivo e industrialização da cana de açúcar, tendo os produtores regionais, no período de implantação do Programa Brasileiro do Álcool (PROÁLCOOL), usufruído das vantagens de financiamento e subsídio que o governo federal direcionou para catalisar a adesão ao programa. A queda no preço do petróleo no final dos anos 80, a retirada do subsídio ao etanol da cana e o baixo preço do açúcar no mesmo período encontrou um setor enfraquecido, que na região, já apresentava baixos níveis de produtividade agrícola e um setor industrial com tecnologia defasada, resultando no conjunto, em uma pequena capacidade de competição, que tem provocado ao longo dos anos 80 e 90, o encerramento das atividades da grande maioria das usinas de açúcar da região (SILVA e CARVALHO, 2004).

As consequências para a região foram o elevado nível de desemprego com o impacto em toda a cadeia produtiva, extremamente dependentes de uma única atividade agroindustrial, que durante seu domínio, chegou a responder pela geração de 70% da renda regional (SILVA e CARVALHO, 2004).

O etanol é um biocombustível alternativo à gasolina, quando em sua forma hidratada e complementar quando praticamente isento de água (conhecido como etanol anidro). Obtido a partir da cana de açúcar, tem uma participação socioeconômica na conjuntura brasileira bastante significativa, através da maciça geração de empregos que o segmento proporciona tanto na área agrícola e industrial da atividade quanto no setor de serviços (produtos químicos, mecânica e metalúrgicas, empresas de consultoria, etc) vinculados às múltiplas necessidades do setor. Para atingir a produção de 50 bilhões de litros projetada para 2030 seriam necessários a criação de 750 mil postos de trabalho diretos e indiretos (UNICA, 2016a).

O biodiesel é um biocombustível obtido de recursos renováveis podendo ser usado puro ou em mistura com o diesel, dependendo da aplicação. Para o transporte rodoviário, é usado misturado com o óleo diesel mineral com proporção autorizada em novembro de 2014 pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) de 7%. É produzido a partir de óleo vegetal obtido de plantas oleaginosas e de gordura animal, sendo que no caso específico do Brasil, quase 75% a partir da soja (ANP, 2016a).

Algumas de suas principais propriedades benéficas do ponto de vista ambiental são: a biodegradabilidade; apresenta baixos teores de enxofre e compostos aromáticos em sua composição; e durante sua combustão, emite uma quantidade menor de particulados. Suas características físico-químicas como combustível similar ao diesel lhe conferem uma plena garantia de utilização em motores diesel convencionais, apresentando desempenho e durabilidade equivalentes (ANGARITA et al., 2012).

O trabalho faz uma revisão sobre a tecnologia tradicional e matéria prima para obtenção dos dois principais biocombustíveis líquidos que são utilizados no Brasil e no Mundo, o etanol e o biodiesel. Também apresenta uma revisão sobre a rotação de culturas, técnica indicada na recuperação de solos degradados com baixa produtividade. Avalia a área para maximização da produção de cana de açúcar na região NF, assim como o uso do etanol na integração dos processos. Determina o potencial regional para produzir biodiesel a partir da soja, a ser obtida utilizando a técnica de rotação com a cana de açúcar, visando uma integração da produção do biodiesel com o etanol.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Biocombustíveis

Nos últimos 40 anos, a matriz energética Brasileira e Mundial sofreram mudanças significativas em sua estrutura, representada pela participação das diversas fontes de energia primária, divididas em fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio) e renováveis (solar, eólica, biomassa e hidráulica). As oscilações no preço do petróleo a partir de 1973 motivaram a busca da diversificação das fontes de energia primária no Brasil, apoiada posteriormente pelo fato do uso das energias renováveis viabilizarem a redução da emissão dos GEE (especialmente o CO2). Uma consequência da busca pela diversificação é o nível de utilização atual dos biocombustíveis – bioetanol ou simplesmente etanol e biodiesel – que tem levado o Brasil a uma destacada posição no uso da energia renovável em comparação ao resto do mundo (BRASIL, 2014).

Existem diversas razões para que os biocombustíveis sejam considerados de extrema relevância tanto nos países industrializados quanto nos países em desenvolvimento, dentre as

quais podem ser destacados: o panorama das reservas mundiais de petróleo que são economicamente recuperáveis; a segurança estratégica vinculada à independência energética; os aspectos ambientais positivos dos biocombustíveis ligados à menor emissão de gases do efeito estufa; baixa concentração de enxofre em relação ao óleo diesel; a economia de divisas dos países dependentes do petróleo importado; e as questões socioeconômicas relacionadas ao setor rural (DRAPCHO et al., 2008).

De acordo com Atadashi et al. (2010), no final do século XX, os combustíveis fósseis eram responsáveis por mais de 85% de toda energia primária consumida no mundo e de quase 100% da energia utilizada mundialmente no setor de transportes, contribuindo para a emissão de grandes quantidades de poluentes para a atmosfera, incluindo os gases do efeito estufa (GEE).

2.2 A produção de etanol

O etanol é produzido nas usinas de açúcar em muitas partes do mundo, e em especial no Brasil, desde a década de 40, sendo considerado durante um grande período, como um produto residual no processamento da cana de açúcar, pois utilizava como matéria prima, o melaço, tradicionalmente um subproduto da fabricação de açúcar.

A crise do petróleo na década de 1970 serviu como base para o Programa Nacional do Álcool, denominado PROÁLCOOL, lançado e subsidiado pelo governo brasileiro com o objetivo de substituir parcialmente o uso da gasolina, e contribuir com a redução da dependência em relação ao petróleo importado (AZEVEDO, 2004).

Segundo Dias (2008), o Brasil era o maior produtor mundial de etanol até o ano de 2006, quando o crescente interesse em seu uso como aditivo da gasolina motivou um aumento da produção pelos Estados Unidos, que em 2007 atingiu 24,6 milhões de m^3 de etanol, enquanto no Brasil, a produção foi de 22,6 milhões de m^3 (ANP, 2016b).

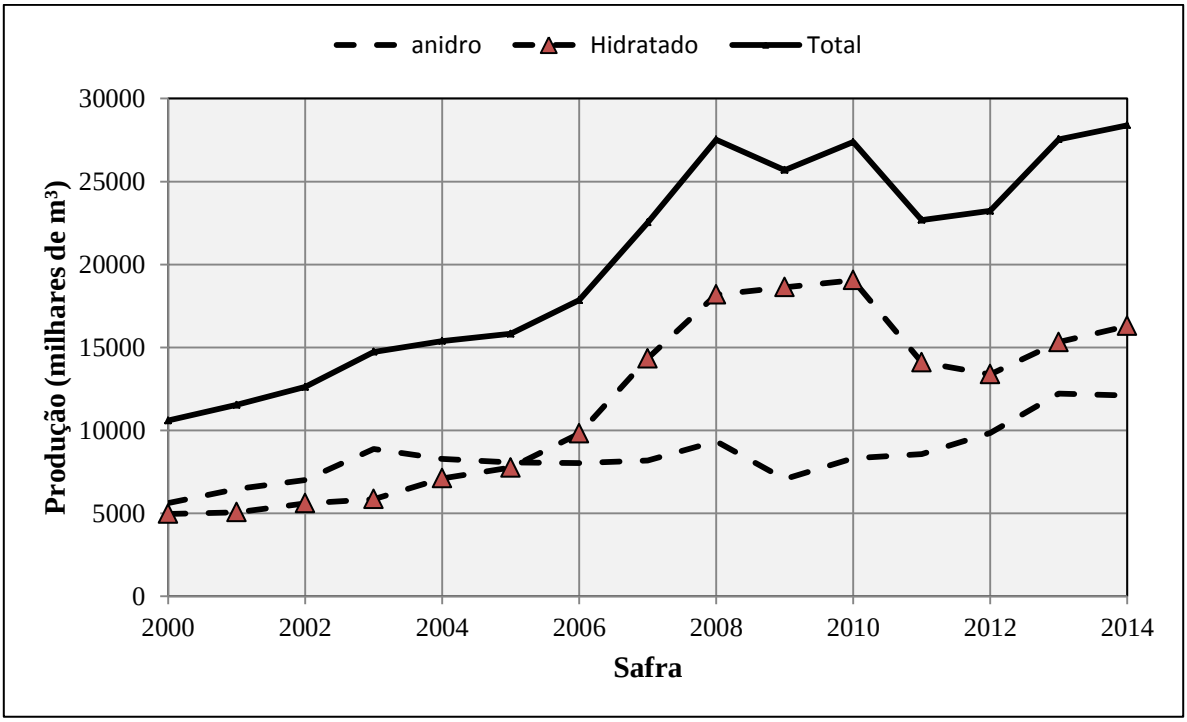

Figura 1: Produção de etanol no Brasil

Fonte: UNICA (2016b)

No Brasil, a rota utilizada para produção de etanol é a fermentação de produtos contendo glicose e frutose, extraídas da cana de açúcar. O produto fermentado é posteriormente destilado e retificado para produzir etanol hidratado e adicionalmente desidratado, no caso de etanol anidro. Obtêm-se comercialmente, o álcool etílico hidratado carburante contendo em torno de 7 % de água, para utilização direta nos motores do ciclo Otto em substituição à gasolina, e o álcool etílico anidro com teor máximo de água de 0,7 %, utilizado atualmente na proporção de 27 % com a gasolina (SOUZA, 2010).

A intensa procura por biocombustíveis cuja matéria prima não implique em competição pelo uso da terra com a produção de alimentos, tem motivado as pesquisas e desenvolvimento direcionados aos materiais lignocelulósicos, abundantes na natureza e que contém elevados teores de polissacarídeos na forma de celulose (40 a 60% da biomassa seca) e hemi-celulose (20 a 40%) e também a lignina (10 a 15%), resíduo do processo que é aproveitado para produção de energia. Estes polissacarídeos podem ser hidrolisados e transformados em açúcares simples, que por fermentação produzem o bioetanol. Estas novas tecnologias são denominadas de segunda geração. Para a produção de bioetanol, podem ser utilizados o bagaço de cana, a palha de arroz, resíduos florestais, serragem e outros. As

tecnologias de segunda geração podem triplicar a produção de etanol por hectare de cana plantada (PERDICES et al., 2012).

Segundo Perdices et al. (2012), o etanol produzido usando a rota da hidrólise ácida poderia reduzir a emissão de gases do efeito estufa em até 70%. O processo de uma forma geral segue a configuração da figura 2:

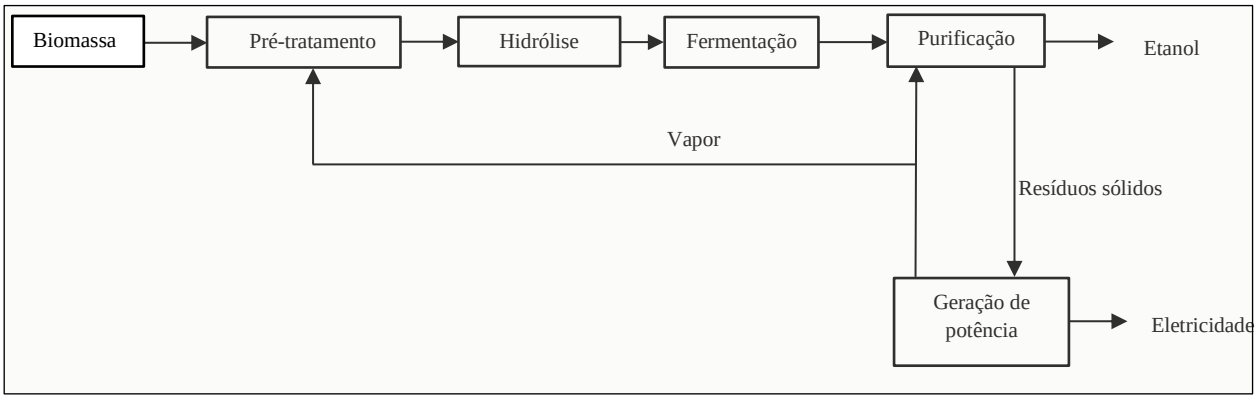

Figura 2: Etanol de 2ª geração

Fonte: Perdices et al. (2012)

Atualmente a tecnologia de segunda geração desenvolvida para produção de etanol no Brasil está sendo reavaliada quanto a etapas específicas do processo, em especial o pré-tratamento, que não atingiu o desempenho esperado.

2.3 A cana de açúcar

A cana de açúcar chegou ao Brasil ainda no início do século XVI e se tornou uma das mais importantes culturas do país. Originada das variedades híbridas do gênero *Sacharum*, tem como característica a adaptação a climas quentes com boa luminosidade e escassez de água, sendo cultivadas em climas tropicais e subtropicais.

O cultivo da cana de açúcar no Brasil cresceu de menos de 100 milhões para mais de 220 milhões de toneladas anuais na primeira década após a criação do PROÁLCOOL em 1975. Após um período de estagnação do setor em função da queda do preço do petróleo, entre 1987 e 1993, o aumento das exportações de açúcar provocou novo crescimento no cultivo de cana, que foi desacelerado entre 1998 e 2001, e retomado principalmente a partir de 2003 com o lançamento do veículo flex no país (NOVACANA, 2013). A figura 3 a seguir, mostra a evolução do setor a partir dos anos 80.

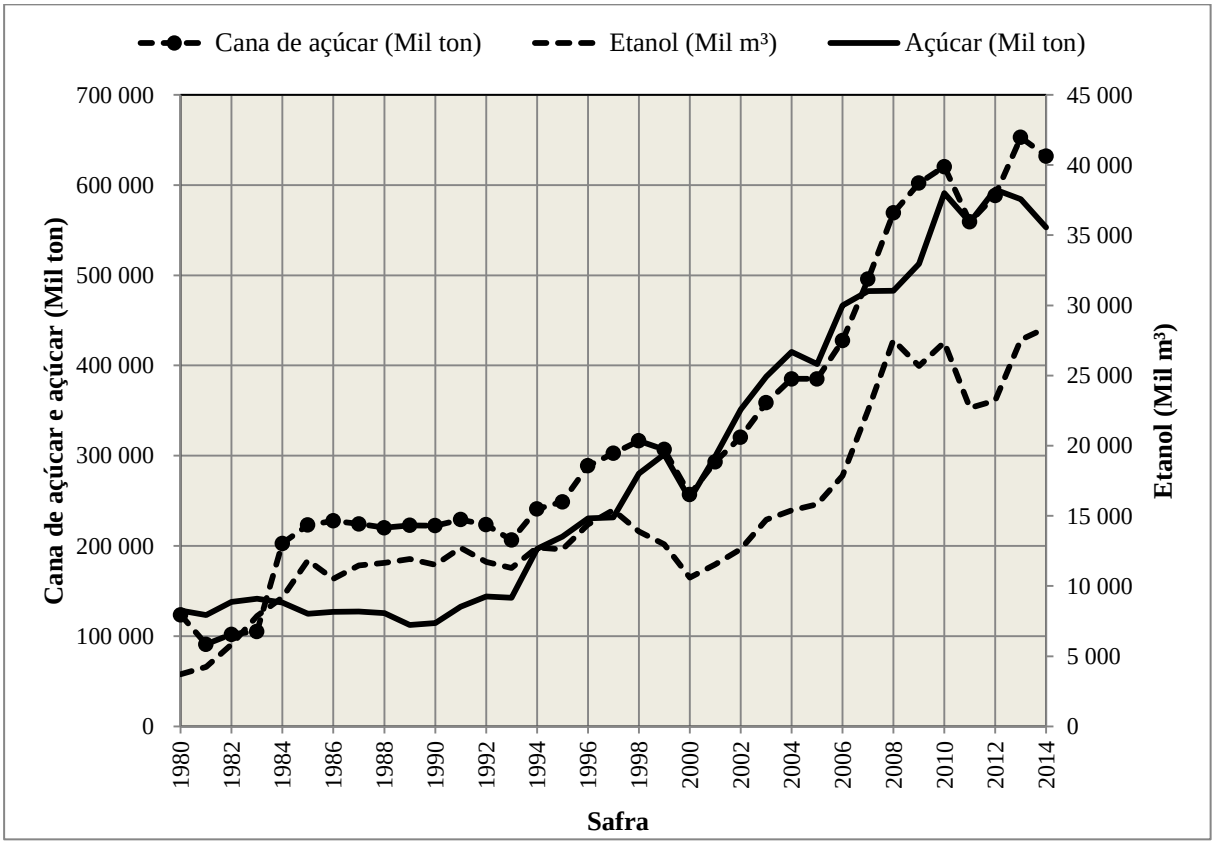

Figura 3: Evolução do setor sucroalcooleiro no Brasil

Fonte: UNICA (2016b)

2.3.1 A cadeia produtiva da cana de açúcar

Apesar da base atual do setor se sustentar na oferta de etanol, açúcar e energia elétrica, novos produtos têm surgido com as inovações, desde a produção de plásticos até produtos conhecidos como de segunda e terceira geração tecnológicas. As tecnologias de segunda geração processam os açúcares concentrados na celulose e os de terceira geração têm como objetivo a transformação de carboidratos em hidrocarbonetos verdes. A figura 4 mostra a estrutura simplificada das tecnologias já consolidadas e em desenvolvimento

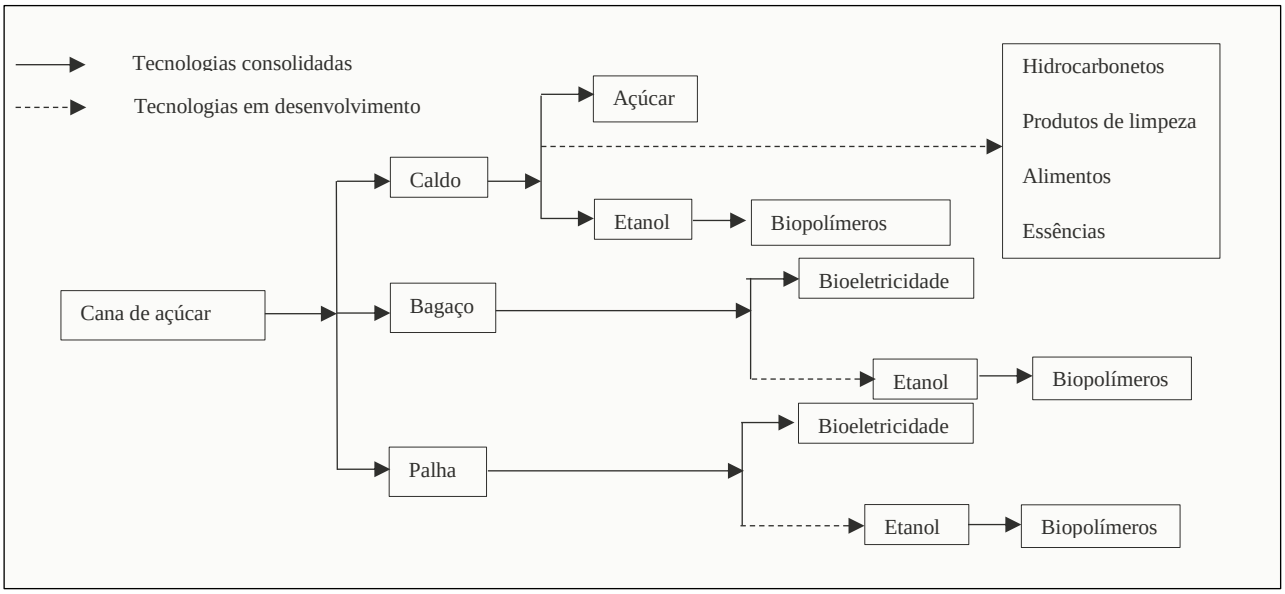

Figura 4: Principais produtos derivados da cana de açúcar

Fonte: adaptado de Jank (2012)

2.3.2 Fase agrícola da cultura de cana de açúcar

O plantio é a etapa que compreende uma série de operações com o objetivo de preparar adequadamente o solo envolvendo a aração, a gradagem e outras atividades para movimentação do solo (PATERNIANI, 2001).

Souza (2010) afirma que a colheita está sofrendo uma mudança radical, por força da legislação federal e estadual que proíbe a queima da cana e está em implantação, seguindo cronogramas prévios estabelecidos nas diversas regiões do país. O sistema tradicional tem sido de colheita manual da cana inteira com queima prévia do canavial, e o novo sistema é o de colheita mecanizada de cana picada sem queima do canavial.

A evolução no transporte de cana tem ocorrido basicamente com o objetivo de redução de custos e para adaptação às mudanças no sistema de colheita. Devido ao caráter perecível da cana após ser cortada, o seu transporte para a unidade industrial deve ser realizado em até 48 horas. Marques (2009) ressalta que além da perda de qualidade, os custos do transporte elevados justificam todo cuidado com esta operação. Portanto o planejamento logístico e o raio médio do transporte por impactarem de maneira tão decisiva nos custos, pode reduzir a viabilidade do processo.

2.4 A técnica de rotação de culturas soja e cana de açúcar

A produção da cana de açúcar tem sido praticada sem grandes variações por muitos séculos, mesmo nos centros desenvolvidos. No entanto, outros processos, já considerados bem sucedidos, como o cultivo mínimo e o plantio direto, substituem com vantagens o sistema convencional cujo tráfego de colheitadeiras e de veículos de transporte compactam o solo. No sistema de cultivo mínimo, o preparo do solo é concentrado na linha de plantio. Comparado ao sistema convencional, o cultivo mínimo reduz a erosão, o uso de máquinas e implementos e diminui o consumo de combustíveis (NOVACANA, 2013).

Paterniani (2001) cita que no plantio direto não ocorre movimentação do solo, como aração e gradagem, sendo o semeamento feito direto no solo. Algumas vantagens do plantio direto são:

- Evita a erosão e compactação do solo;
- Melhora o aproveitamento de água e aumenta sua disponibilidade.
- Aumenta o teor de matéria orgânica do solo;
- Reduz a toxicidade de alguns metais pesados do solo;
- Reduz os custos de produção.

Basicamente, o plantio direto é um sistema onde a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo após a colheita. Uma das exigências fundamentais para consolidar o sistema de cultivo mínimo é a prática da rotação de culturas (ANDRÉ, 2009).

O ciclo de cultivo da cana pode ser de 18 meses, onde após a última colheita, a área fica em repouso por diversos meses ou pode receber uma cultura de rotação com o objetivo de fixar nitrogênio no solo. O outro sistema de plantio é o de 12 meses (apenas 20% desta opção é utilizada), colhida anualmente, mas apresentando produtividade mais baixa (NOVACANA, 2013).

Segundo Lopes (2012), no sistema de dezoito meses, a cana é plantada entre janeiro e março, período considerado ideal devido às condições adequadas de umidade e temperatura, possibilitando uma brotação rápida. Após o primeiro corte, a cana passa a ter um ciclo de doze meses e é denominada de cana-soca.

Santos (2010) afirma que as usinas renovam em torno de 20% do canavial por ano e a cada cinco anos pode-se fazer uma rotação com a soja e o amendoim. A reforma do canavial é um processo necessário de descanso do solo, devido à exaustão de nutrientes após anos de

ininterruptos cortes, que acabam resultando na queda de produtividade ao longo das safras (PEREIRA et al., 2015).

De acordo com Pereira et al. (2015), esta renovação pode ser realizada de várias formas, podendo ser feita de imediato com novo plantio da cana de açúcar, com a adoção do sistema de pousio ou com a implantação da rotação de cultura. A escolha é dependente do retorno financeiro e da melhoria físico química do solo.

A rotação de culturas é a alternância de diferentes culturas realizadas regularmente em uma mesma área, efetuada segundo planejamento que leve em consideração fatores como a cultura predominante na região onde será realizada a rotação, além de variáveis ambientais como temperatura, nível de precipitação e outras que servirão como base para decidir a cultura adequada para integrar o sistema de rotação (SANTOS e REIS, 2001).

De acordo com CONAB (2015), a reforma do canavial reduz anualmente cerca de 20% da área total destinada ao plantio da cana de açúcar representando na safra 2014, nove milhões de hectares. Uma grande proporção desta área permanece em pousio nos períodos (primavera e verão) onde o solo se encontra mais suscetível à degradação.

A rotação de culturas preenche a lacuna deste período improdutivo economicamente para o produtor, representando ainda oportunidade para geração de mão de obra e do ponto de vista ambiental, proteger o solo de inúmeros eventos climáticos desfavoráveis. Além disso, a prática deve ser viável economicamente, de fácil administração, e resultar em benefícios à cultura principal. Estudos já realizados comprovaram aumento de produtividade para a cana de açúcar constante até o terceiro corte e que as alternativas para a rotação mais promissoras são o girassol, a soja e o amendoim (SALOMÉ et al., 2007).

Como aspecto negativo, a rotação é uma atividade que demanda fatores de natureza tanto técnica quanto operacional e financeira por envolver o planejamento da lavoura no que se refere a variedades, área de colheita e do volume de cana necessário para atendimento da área industrial (BORBA e BAZZO, 2009; apud PEREIRA et al., 2015)

A soja, além de representar uma oportunidade de maximizar a ocupação da terra, permite o controle de ervas daninhas e realiza a fixação biológica de nitrogênio no solo, reduzindo o custo da produção da cana de açúcar. A viabilização do uso da soja em sistema de rotação com a cana de açúcar requer um bom desempenho do cultivar da soja, com boa adaptação às condições de solo e clima que implique em boa produtividade e ciclo que não provoque interferência com o plantio da cana de açúcar (PEREIRA et al., 2015).

Pereira et al. (2015) descrevem o estudo de caso em três usinas de distintas regiões do Estado de São Paulo, grandes produtoras de cana de açúcar, e discute as motivações que

levam produtores a realizarem ou não a rotação. A usina localizada em Piracicaba, sem tradição no cultivo de soja, realiza a rotação em 20% da área total com amendoim e cobertura verde, adotando a terceirização. A adoção do amendoim tem apresentado vantagens econômicas com a receita obtida e a economia com o custeio de preparo do solo e também a consequente conservação do solo. A segunda empresa, sediada em Ribeirão Preto, tradicional produtora de soja, realiza a rotação com soja em 10% da área total, de forma própria. A opção pela soja deve-se fundamentalmente à tradição regional e ao grande conhecimento da cultura. Os resultados com a soja têm sido um aumento de 10% na produtividade nos primeiros dois anos e a reforma só é realizada desde que não atrapalhe a cultura de cana.

2.5 As exigências climáticas da soja

A água corresponde a aproximadamente 90% do peso da planta, sendo de grande importância principalmente nas fases de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos. A necessidade total de água para obtenção do máximo rendimento, variável entre 450 a 800 mm/ciclo, depende das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Durante o desenvolvimento da cultura a necessidade de água aumenta até atingir o máximo na fase de floração/enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), para em seguida decrescer (EMBRAPA SOJA, 2001).

A soja se adapta bem a temperaturas do ar entre 20ºC e 30ºC, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30ºC. A temperatura do solo adequada para semeadura varia entre 20ºC a 30ºC, sendo 25ºC a temperatura ideal. A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende das exigências hídricas, térmicas e do fotoperíodo. Cada cultivar tem um valor crítico de sensibilidade ao fotoperíodo, que uma vez ultrapassado provoca o atraso do florescimento da cultura (EMBRAPA SOJA, 2011).

2.6 O biodiesel e as matérias primas utilizadas em sua produção

Os aspectos ambientais e econômicos relacionados com o uso maciço e indiscriminado dos combustíveis fósseis e suas consequências já de bastante visibilidade tem motivado a implantação de programas de substituição dos combustíveis tradicionais por fontes alternativas (RAMOS et al., 2011).

Na área de transportes a meta é substituir 10% dos combustíveis líquidos de origem fóssil como a gasolina e o óleo diesel, por biocombustíveis que assumem desta forma, uma grande importância ambiental devido à mitigação do efeito estufa e a redução da emissão de outros poluentes (ANGARITA et al., 2012).

O biodiesel é produzido a partir de recursos renováveis, usando como matérias primas, os óleos vegetais e a gordura animal. Dependendo da aplicação e da legislação vigente em cada país, pode ser utilizado puro e em diversas proporções com o diesel mineral (motores do ciclo Diesel), eliminando a necessidade de alterações nos motores existentes (ANGARITA et al., 2012).

Segundo Moura (2010), óleos vegetais e gordura animal são misturas de ésteres de ácidos graxos e glicerina, denominados de triacilgliceróis ou triglicerídeos. Nos óleos predominam os ácidos graxos insaturados e nas gorduras, os ácidos graxos saturados. Apresentam inúmeros contaminantes como ácidos graxos livres, fosfatídeos, carotenoides, tocoferóis, terpenos, água e outras impurezas que podem totalizar quantidades acima de 5%.

Os óleos vegetais ou gorduras foram exaustivamente experimentados como combustíveis ao longo do século XX, mas devido a algumas propriedades físico-químicas indesejadas (baixo número de cetano, elevada viscosidade e baixa volatilidade) e a formação excessiva de depósitos durante a combustão, esta opção foi abandonada (RAMOS et al.,2003).

De acordo com Suarez e Meneghetti (2007), uma das transformações químicas de óleos e gorduras em substâncias que possam efetivamente ser utilizadas como combustíveis com propriedades similares ao diesel fóssil é o craqueamento térmico ou a pirólise de óleos, que implica na conversão de um composto orgânico em outro utilizando elevadas temperaturas em baixas concentrações de oxigênio na presença ou não de catalisadores.

Outra rota possível é a reação de transesterificação, figura 5, onde os triglicerídeos reagem com álcoois na presença de um catalisador alcalino, originando ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerina como coproduto (10% do peso de biodiesel obtido) (SUAREZ e MENEGHETTI, 2007).

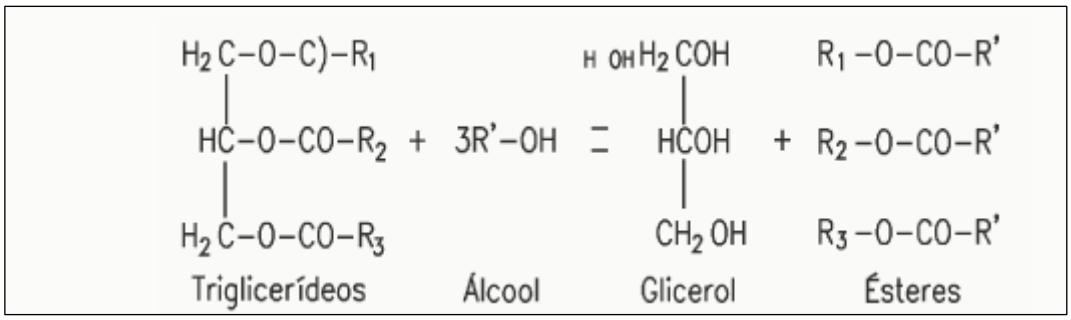

Figura 5: Representação da reação de transesterificação

Fonte: Nascimento et al. (2011)

Segundo Angarita et al. (2012), o processo de produção de biodiesel adotado em todo o mundo é a transesterificação com metanol usando catálise alcalina, considerado mais simples e econômico. Mesmo com a reconhecida viabilidade do etanol como reagente efetivo do processo de transesterificação, especialmente no Brasil, devido a sua grande disponibilidade e a seu caráter renovável e ambientalmente adequado, o metanol continua dominante. O metanol é produzido através da rota petroquímica e o seu uso reduz o caráter renovável do biodiesel e, além disso, é importado e altamente tóxico (SUAREZ, 2008).

A reação do triglicerídeo com álcool é reversível e para obtenção de alto rendimento do biodiesel, o deslocamento do equilíbrio da reação tem que ser direcionado para a formação do produto. Para isto, utiliza-se álcool em excesso com relação ao valor estequiométrico, independente de ser metanol ou etanol. No caso do metanol, a razão molar é menor por causa de sua maior reatividade (molécula de menor tamanho e de maior polaridade). Outra vantagem do uso do metanol é a facilidade de separação do meio reacional ao final da reação que é muito simples, ao passo que o etanol apresenta a tendência de formar emulsões, devido ao teor de água mais elevado, o que acaba dificultando a separação e aumentando os custos (SUAREZ, 2008).

Angarita et al. (2012) citam que a rota etílica é bem mais complexa, sendo a velocidade da reação mais lenta mesmo com temperatura maior, e resultando em uma mistura reacional contendo uma maior quantidade de produtos provenientes de reações paralelas indesejáveis a serem eliminados e apresentando maior dificuldade para a separação de fases. Resultados comparativos em relação ao uso de insumos em ambos os casos, uso de metanol e etanol, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Insumos para produção de biodiesel pelas rotas metílica e etílica

Material	Unidade	Metanol	Etanol
Biodiesel	kg	1.000	1.000
Óleo neutro a seco	kg	1.000	970
Glicerina	kg	117	116
Etanol hidratado	kg	-	154
Álcool reagente	kg	96,6	295
Metilato de sódio (30%)	kg	20	35
Água de processo	kg	50	50
Energia elétrica	kW	10	21
Vapor	kg	250	450
Água resfriamento	MJ	607	1076
Ar comprimido	Nm^3/h	6,0	8,0

Fonte: Angarita, et al. (2012)

Segundo Suarez e Meneghetti (2007), uma terceira forma para produção de mono ésteres de ácidos graxos é a esterificação, onde um ácido graxo livre reage com um mono álcool em presença de catalisador ácido.

A esterificação tem sido utilizada em combinação com a transesterificação para aproveitamento de matérias primas de baixa qualidade e também de subprodutos de alguns processos (RAMOS et al., 2011).

De acordo com Ramos et al. (2011), na América Latina, o Brasil é o pioneiro na utilização de biocombustíveis, tornando a mistura de etanol a gasolina obrigatória em 1938 e posteriormente em 1993. O Programa Nacional de Produção e Uso do biodiesel (PNPB) foi lançado no Brasil em 2004, e o biodiesel foi introduzido de forma obrigatória na matriz energética brasileira em 2005, com a mistura de 2% ao diesel convencional. Em 2014, foram autorizados dois aumentos na proporção utilizada atingindo o valor atual de 7%. A evolução deste percentual de mistura com o diesel tem apresentado o perfil de crescimento mostrado na figura 6.

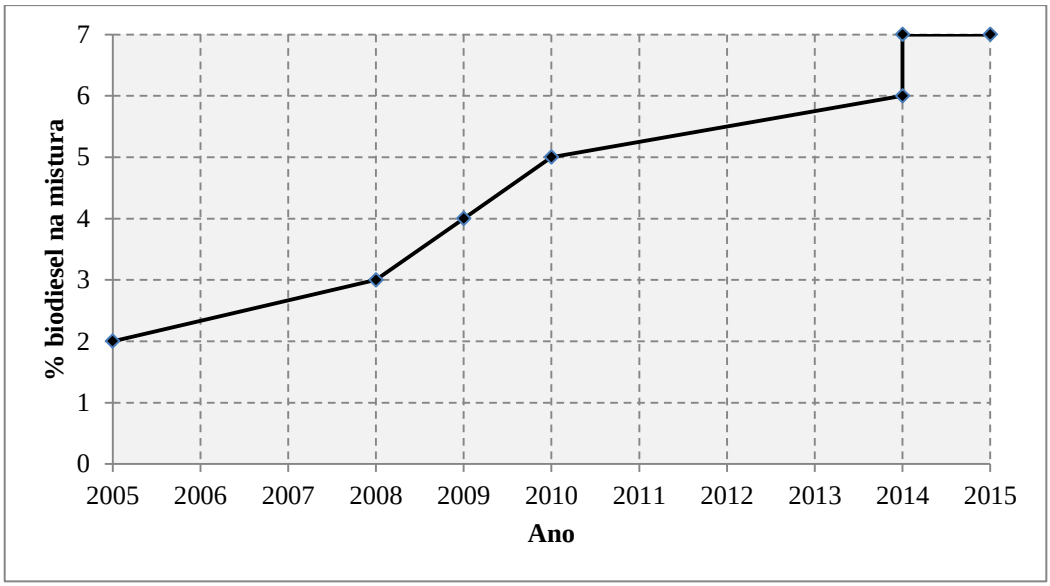

Figura 6: Crescimento do teor de biodiesel no Brasil.

Fonte: ANP (2016a)

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal, porém uma série de fatores restringe esta escolha, que torna a decisão uma questão regionalizada. Algumas das restrições que influenciam a escolha da matéria prima são: econômica; tecnológica; pouca disponibilidade e/ou baixa produtividade local da cultura; existência de propriedades indesejadas da matéria prima, o atendimento às especificações do produto final; e também a baixa qualificação da mão de obra (RAMOS et al. 2011).

Os métodos tradicionais para obtenção de óleo a partir dos grãos são: o mecânico através da prensagem ou da extrusão, e o baseado na distribuição ou solubilidade do óleo em um solvente orgânico, sendo neste caso utilizado, o n-hexano. Quase a totalidade das unidades processadoras de óleo do Brasil, se baseia na extração usando o n-hexano.

No Brasil, alguns fatores favoreceram a adoção ampla da soja como principal matéria prima utilizada para a produção de biodiesel, especialmente a experiência já existente no seu cultivo e as condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da cultura. O perfil nacional de matérias primas da tabela 2 mostra o sebo bovino como a segunda opção de matéria prima mais utilizada no país, sendo o Sudeste, que segundo o boletim produziu 48% de biodiesel a partir do sebo, a região que o usa de forma mais ampla (ANP, 2016b).

Tabela 2: Distribuição regional de matérias primas na produção de biodiesel

Matéria-Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	65,09%	58,71%	85,60%	41,94%	74,12%
Gordura Bovina		27,40%	9,45%	48,03%	20,70%
Óleo de Algodão		6,99%	1,53%		
Outros Materiais Graxos	34,89%		1,71%	2,00%	2,50%
Óleo de Fritura usado	0,03%	0,12%	0,07%	5,84%	0,12%
Gordura de Porco					2,56%
Gordura de Frango					
Óleo de Palma / Dendê		6,78%	1,64%	2,19%	

Fonte: ANP (2016b)

3 MATERIAL E MÉTODOS

Como parte essencial do procedimento metodológico foram realizadas visitas técnicas a unidades produtoras de biodiesel, visando o conhecimento das práticas industriais que são adotadas no controle de qualificação da matéria prima e no processamento tanto da produção do óleo de soja como da própria produção do biodiesel.

Apresenta e discute a viabilidade de utilização da soja na reforma de canaviais na região usando como subsídio o zoneamento de áreas de reforma de cana para produção de biocombustíveis na região Centro-Sul.

Avalia de forma qualitativa, a viabilidade de unidades produtoras de bioetanol na região NF atuarem como um polo produtor de biocombustíveis baseado na necessidade de preencher as lacunas deixadas pela queda na produção de cana de açúcar local.

Portanto, os aspectos regionais utilizados como referenciais para a proposta de integração da produção de bioetanol e biodiesel são:

- A região tem tradição e uma experiência consolidada na produção de bioetanol usando a cana de açúcar como matéria prima. O bioetanol é um potencial reagente do processo de transesterificação, reação usada para a produção do biodiesel;
- Historicamente, as produtividades agrícolas regionais no cultivo da cana de açúcar são muito baixas. A rotação de culturas, p. ex. cana com soja, no

período de reforma dos canaviais permite ganhos de produtividade da cultura principal (cana de açúcar) e com a produção simultânea de outra cultura, agrega renda a atividade;

- Considerando a quantidade de cana de açúcar que seria capaz de suprir as necessidades de capacidade plena das unidades de açúcar e etanol atualmente em operação na região – usando as áreas agricultáveis disponíveis e ainda não sistematizadas com outras atividades – realizar a avaliação do potencial de produção do biodiesel de soja a ser obtido com o processo de rotação com a cana;
- Avaliar o aproveitamento do etanol produzido pelas usinas como reagente na produção de biodiesel. As usinas de etanol também usam utilidades industriais comuns (água, vapor de água, energia elétrica, ar comprimido, etc) a maioria de outros processos produtivos.

3.1 O setor sucroalcooleiro na região Norte Fluminense

A região Norte Fluminense é formada por nove municípios (Campos dos Goytacazes, São João da Barra, Macaé, São Fidélis, Conceição de Macabu, Quissamã, Cardoso Moreira, Carapebus e São Francisco de Itabapoana), sendo a cidade de Campos dos Goytacazes, o município de maior população e no auge da atividade sucroalcooleira, o principal centro produtor regional. A tabela 3 apresenta o perfil da quantidade e produção das usinas na região a partir de 1965. Vale destacar que em 1973, houve uma produção recorde de açúcar de 12 milhões de sacos de açúcar, enquanto o recorde de moagem ocorreu em 1988 com o esmagamento de 8 milhões e 900 mil toneladas (CASTRO, 2011).

Tabela 3: Usinas e Destilarias da região Norte Fluminense

	Safra									
	1965	**1970**	**1975**	**1980**	**1985**	**1990**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**
Usinas	28	26	18	17	16	15	9	7	2	2
Destilaria	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1
Moagem (mil ton)	5.304	5.398	5.384	6.604	8.508	4.592	3.935	4.822	2.026	1.066
Açúcar (mil scs)	9.569	9.749	10.813	8.665	8.675	5.619	6.153	5.753	2.365	0
Álcool (m^3)	53.213	44.421	55.162	129.842	280.637	100.189	99.155	138.662	49.274	58.657

Fonte: CASTRO (2011); CONAB (2016).

Após a grande crise que atingiu o setor sucroalcooleiro e as reestruturações realizadas na região, existem atualmente três unidades industriais em operação:

- Usina Sapucaia – após cinco anos fora de operação retomou suas atividades em 2015, viabilizada pela transferência do material e dos funcionários da Usina São José da Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro (COAGRO), devido à dificuldade de sua expansão pela proximidade com a área urbana. A usina tem capacidade atual instalada produzir 500 m^3/dia de etanol e para esmagar dois milhões de toneladas de cana por safra.
- Cia Açucareira Paraiso – Possui capacidade para processar 250 toneladas de cana por hora. Considerando um tempo útil de safra de 85% durante 180 dias, resulta em uma potencialidade para moer novecentos mil toneladas anuais. Capacidade atual para produção de etanol hidratado de 180 m^3/dia.
- Destilaria Canabrava – É uma usina autônoma que teve sua safra teste em 2010. É dedicada à produção de etanol hidratado (500 m^3/dia) e geração de energia elétrica, negociada com o Sistema Integrado Nacional, com capacidade fiscalizada de 44.000 kW como produtora independente de energia (ANEEL, 2016). Sua capacidade de moagem horária é 300 toneladas de cana o que permite em uma safra com duração convencional de seis meses e um aproveitamento de tempo de 85%, um processamento de 1,1 milhões de toneladas de cana.

3.2 Visitas técnicas a empresas ligadas à área de biodiesel

Para conhecimento e melhor avaliação dos problemas ligados à cadeia produtiva do biodiesel foram realizadas visitas técnicas a duas empresas produtoras localizadas no interior de São Paulo.

- Em uma das empresas, a escolha se deu em função da mesma possuir um sistema de esmagamento e de beneficiamento do óleo de soja, o que pode mostrar aspectos interessantes na questão da escolha entre utilizar o óleo de soja direto como matéria prima ou esmagar a soja e fazer o tratamento do óleo para seu uso na reação de produção do biodiesel. A região também é tradicional produtora de soja em rotação com a cana de açúcar.
- A segunda empresa visitada usina entrou em operação no final de 2009 com aproximadamente 25 milhões de litros de capacidade instalada, valor mantido atualmente. A usina dispõe de uma unidade de bidestilação de glicerina, o que melhora as características deste coproduto do processo.

3.3 O zoneamento agrícola da cana de açúcar e da soja

Silva et al. (2012), mostraram a partir de Unidades de Observação (UO) em áreas de reforma em usinas de Goiás e Mato Grosso do Sul que a prática de rotação cana/soja é viável tecnicamente quando a reforma ocorre em áreas de baixo risco climático para soja, tendo sido gerado um mapeamento destas áreas apresentado na figura 7. A região Norte Fluminense está destacada e ampliada ao lado da figura principal para permitir uma melhor observação.

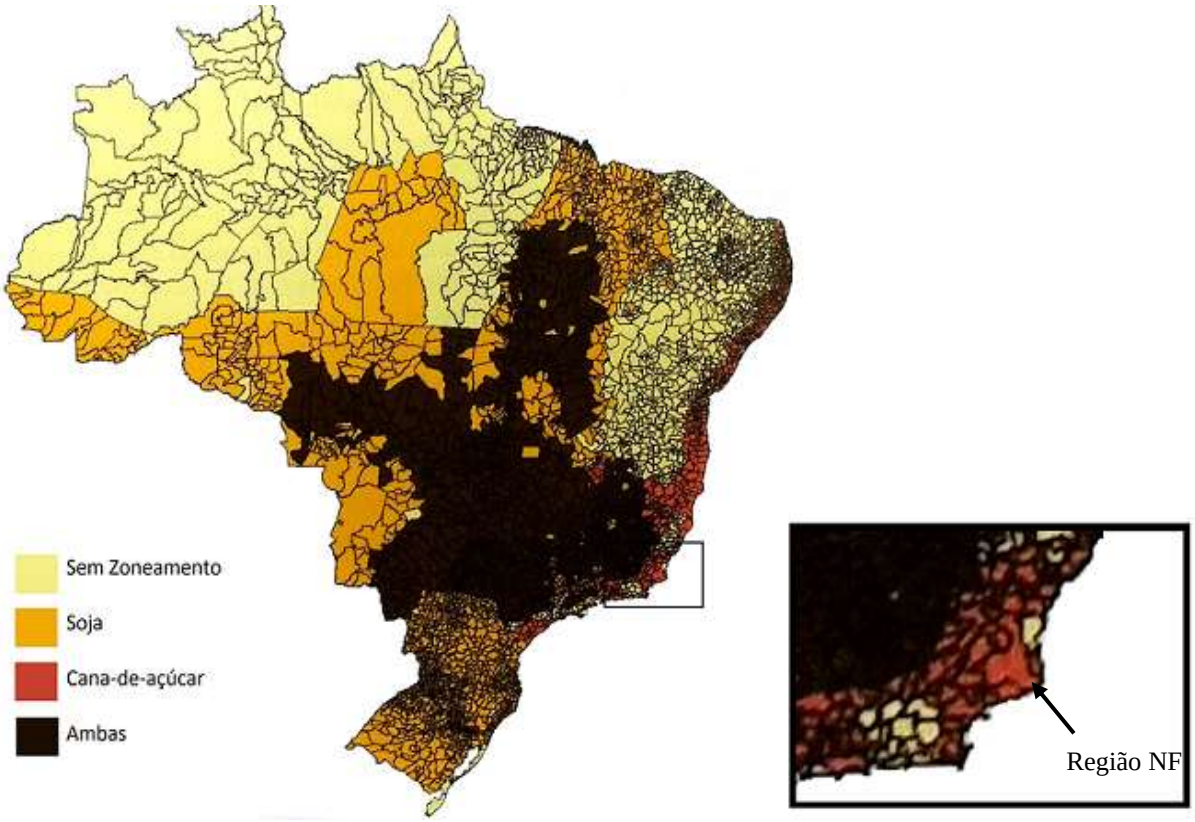

Figura 7: Zoneamento das áreas adequadas para plantar soja/cana em rotação

Fonte: Silva et al. (2012)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desenvolvimento das visitas técnicas

Uma das empresas visitadas, apesar de estar preparada tecnicamente para produzir biodiesel, por questões mercadológicas, tem direcionado suas atividades industriais para a purificação de matérias primas como óleo de fritura e sebo proveniente de diversas cidades.

Esta empresa trabalha sempre com uma mistura inicial de óleo e sebo determinada pela disponibilidade de cada matéria prima e pelos resultados analíticos de ambos os materiais realizados quando são recebidos na fábrica. O óleo resultante da mistura após a purificação, estando estritamente dentro das especificações, é comercializado como matéria prima de qualidade para a produção de biodiesel. O fluxograma da figura 8 mostra a complexidade do processo envolvido na purificação do óleo de fritura e de sua mistura com o sebo.

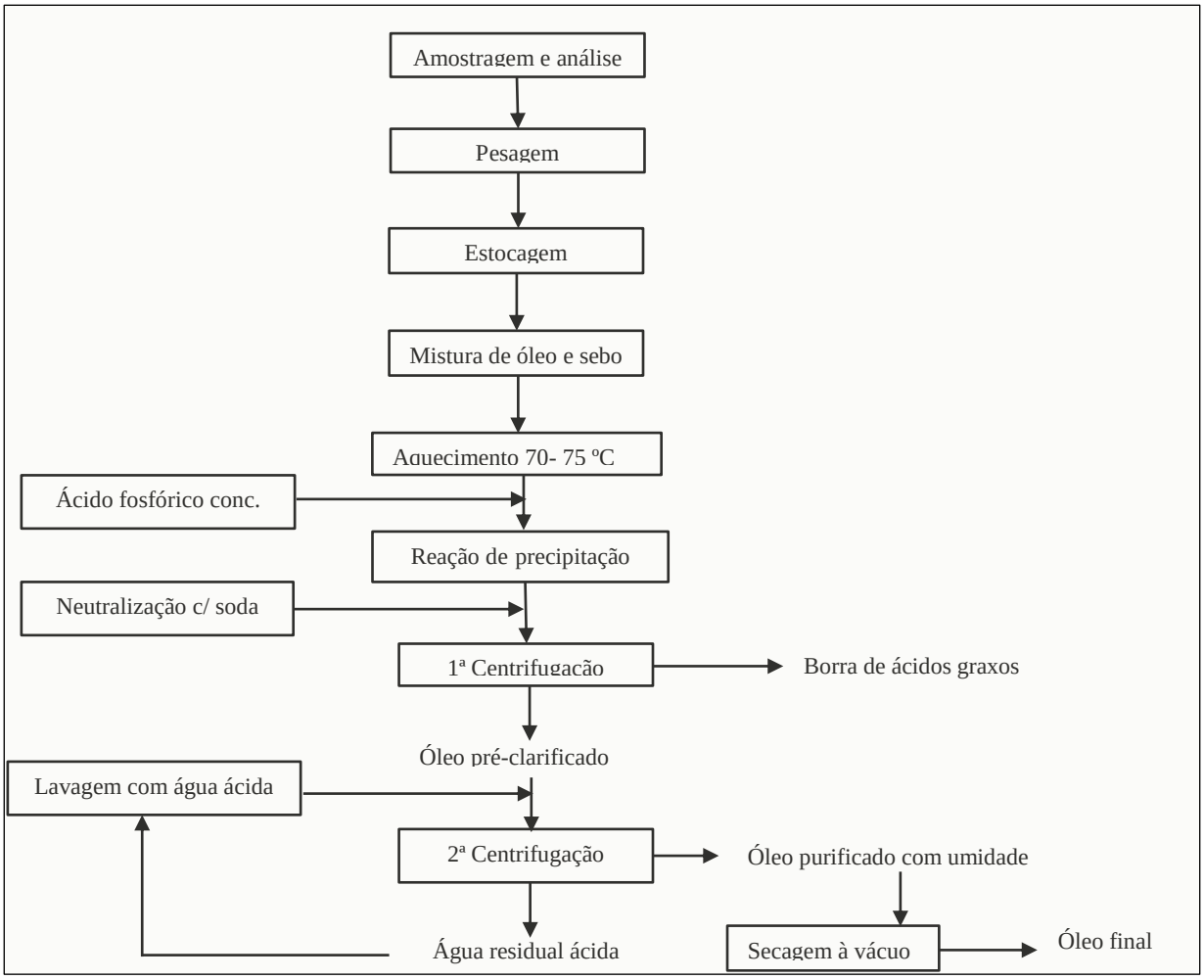

Figura 8: Fluxograma do processo purificação do óleo de fritura

Na segunda empresa, a gama de produtos derivados da soja e possível de ser produzida é muito ampla: óleo refinado, gordura vegetal, farelo, biodiesel, tocoferol, sementes, farinha e proteína de soja.

A soja recebida sofre uma classificação inicial dos grãos com o objetivo de identificar impurezas indesejáveis que acompanham os carregamentos como vagem, talos, grãos avariados, terra e outras substâncias que não a soja. A amostragem da soja é realizada antes da pesagem, sendo os fatores de qualidade avaliados, comparados com os padrões e quando fora da especificação é imposto um deságio ao produtor. As consequências dos desvios de qualidade da matéria prima no processamento da soja são resumidas no quadro 1:

Fatores de qualidade para recepção da soja	Consequências
Umidade	Redução do rendimento em óleo.
Grãos quebrados	Aumento de acidez, gomas não hidratáveis e produtos de oxidação.
Impurezas ou materiais estranhos	Aumento de clorofila e produtos de oxidação.
Grãos avariados (mofados e queimados)	Idem ao fator “grãos quebrados”.
Grãos esverdeados	Aumento no teor de clorofila e ferro.

Quadro 1: Consequências dos fatores de qualidade fora dos padrões

Na sequência é realizada uma limpeza prévia dos grãos, que são em seguida enviados para o processo de secagem para redução de sua umidade. Quando são direcionados para o silo de armazenamento, a soja pode apresentar um teor de umidade de até 16%. As condições adequadas de armazenamento da soja são complexas, exigindo manutenção rigorosa da temperatura através de inúmeros sensores e transmissores que enviam o sinal para supervisórios acionando automaticamente ventiladores que são dedicados a áreas específicas.

A fase denominada como preparação da soja consiste em uma série de operações, abaixo discriminados:

- Quebra/descascamento/separação.
- Pré-cozimento do material contido no interior da casca (endosperma, germe e farelo).
- Laminação – nesta etapa a polpa é prensada com o objetivo de aumentar a superfície de contato para maximizar a extração de óleo.

Após a laminação do material, é realizada a extração do óleo. Existem dois métodos clássicos de extração: Por pressão mecânica (prensa hidráulica) ou utilizando um solvente orgânico que solubiliza as substâncias a serem recuperadas. Apesar da extração por prensas hidráulicas apresentarem custos operacionais menores, este processo gera perdas de óleo na torta residual acima de 10% do óleo total que entra, sendo viáveis apenas em instalações de pequeno porte.

Na extração por solvente, o material (óleo) a ser recuperado escoa em contracorrente com o extrator (solvente), resultando no final da operação em uma fração contendo o solvente original e o óleo (denominada de micela). A outra fração, o resíduo, arrasta uma pequena porcentagem de solvente que posteriormente é removida por métodos como a secagem.

No caso da polpa de soja, a extração do óleo de soja é feita usando n-hexano como solvente. O hexano é separado do óleo por destilação, estocado e reutilizado no processo. O óleo de soja bruto obtido após destilação é então enviado a etapa de degomagem, para

eliminação das impurezas como os fosfolipídeos ou fosfatídeos que interferem na qualidade e estabilidade do produto. A degomagem hidrata os fosfatídeos hidratáveis tornando-os insolúveis em materiais graxos, facilitando sua separação.

A degomagem convencional é realizada na temperatura de 70 ºC, seguido da adição de ácido fosfórico e solução de soda cáustica, finalizando com a separação em centrífuga onde se obtêm o óleo degomado, enviado ao setor de produção de biodiesel, e uma fração rica em ácidos graxos que pode ser destinada a produção de lecitina.

4.2 A realidade atual da cana de açúcar cultivada na região e o potencial de maximização

A evolução da área colhida, produtividade média (t/ha) e produção de cana (t) no Rio de Janeiro entre 1990 e a safra de 2004, é apresentada na tabela 4. Os valores de produtividade reportados, que abrangem 15 safras, resultam como média o valor de 44,5 t/ha.

Tabela 4: Histórico de área colhida e produção de cana no Norte Fluminense.

Safra	Área Colhida (ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)
1990/1991	102.365	4.593.931	44.88
1992/1993	113.392	5.106.622	45.04
1994/1995	114.936	5.479.990	47.68
1996/1997	127.457	5.375.578	42.18
1998/1999	120.863	5.123.730	42.39
2000/2001	105.201	3.934.982	37.40
2002/2003	100.200	4.092.683	40.85
2004/2005	100.200	5.478.440	54.68

Fonte: (VEIGA, VIEIRA e MORGADO, 2006).

A realidade atual da cultura da cana de açúcar na região Norte Fluminense a partir de 2010 pode ser resumida na figura 9, que retrata a situação caótica da atividade açucareira regional.

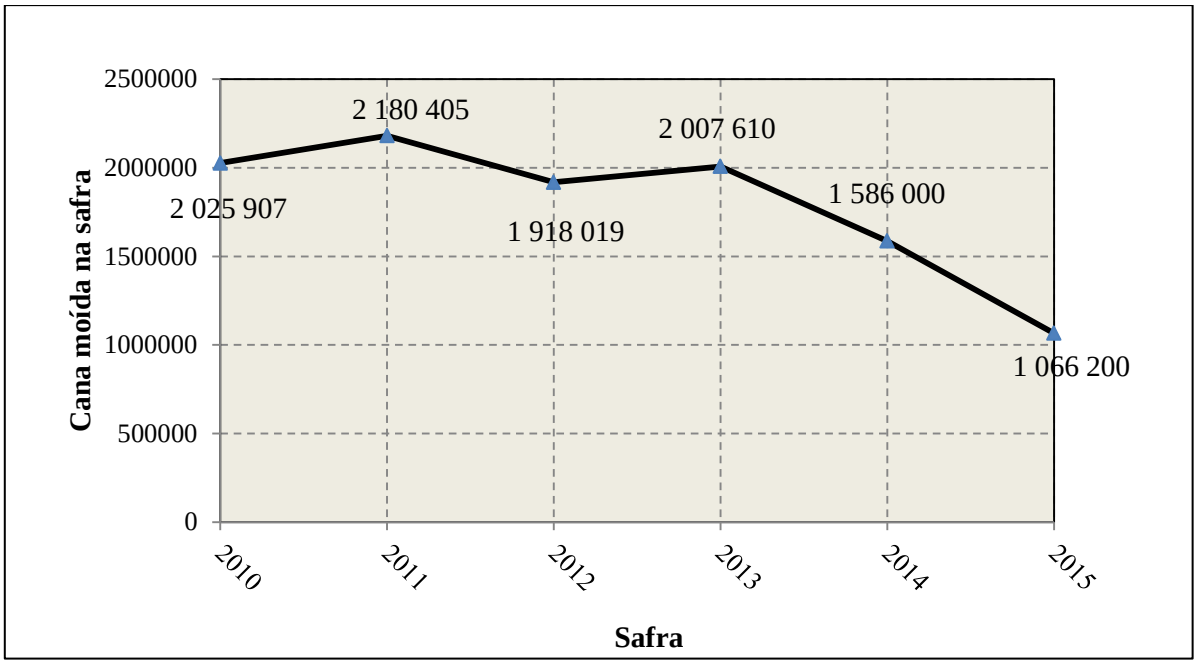

Figura 9: Cana colhida na região Norte Fluminense a partir de 2010

Fonte: CONAB (2016)

A safra de 2016 ainda não encerrada, não sugere melhora significativa em relação ao cenário verificado em 2015, com uma estimativa de 1,2 milhões de toneladas de cana a ser processada. O último valor de produtividade da região NF, referente à safra de 2015, foi de 31,07 t/ha com uma redução de 35,4% em relação à safra de 2014, em uma área colhida de 33.400 ha (CONAB, 2016).

A prolongada estiagem no Brasil e as recorrentes na região NF, que não conta com uma estrutura de irrigação que possa compensar qualquer déficit hídrico especialmente no nível do atual vivenciado, pode ser o grande responsável pala queda tão brutal na produtividade da cultura. Uma série recente de precipitação na cidade de Campos dos Goytacazes entre os anos de 2007 e 2015 está organizada na tabela 5.

Tabela 5: Precipitação mensal (mm) em Campos dos Goytacazes

ANO	ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO MENSAL 2007 A 2016												
	JAN	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**TOTAL**
2016	153.6	38.6	12.6	27.4	12.4	44.6	12.4	27.2	24.2	52.8			405.8
2015	0	11	111	26.6	64.8	57.8	4.4	29.4	103.4	43.6	174	99.6	725.6
2014	10	7.8	68.8	110.2	4.4	35.2	147.4	21.2	12	15.2	90.6	35.6	558.4
2013	193.9	9.4	299.7	57.8	34	12	53.6	82.6	50.2	30.2	194	274.4	1291.8
2012	176.6	19.4	83.3	50	179.3	59.7	3.9	64.4	23	8.8	162.8	38	869.2
2011	96.4	40.6	184.4	29.6	20.4	16.3	5.8	20.6	14.8	95.6	102.8	114.3	741.6
2010	0	55.7	113.5	97	34.6	24.6	54	7.6	12.4	95.2	137.8	123.6	756
2009	141.2	55	128.6	127.6	21.2	53.2	22.4	21.2	37.6	246.7	32	140.4	1027.1
2008	241.4	146.5	66.7	245.2	6.2	34.7	13.2	6.6	56.8	74.2	427.7	316.6	1635.8
2007	388	13.9	45.2	97.4	121.8	13	9.4	5.8	14.5	218.7	191.4	115.6	1234.7
Média	**138,6**	**39,9**	**122,4**	**93,5**	**54,1**	**34,1**	**34,9**	**28,8**	**36,1**	**92,0**	**168,1**	**139,8**	**982,2**
Desvio padrão	**129,4**	**44,3**	**78,3**	**62,3**	**59,3**	**19,1**	**46,6**	**26,9**	**30,4**	**86,1**	**110,9**	**96,0**	**345,7**
CV (%)	**93,4**	**111,1**	**63,9**	**72,0**	**109,7**	**56,1**	**133,6**	**93,6**	**84,3**	**93,6**	**66,0**	**68,7**	**35,2**

Fonte: UFRRJ (2016)

Os dados mostram que o regime de precipitação regional, no período, resultou no valor médio de 982 mm anuais, com 60% da chuva concentrada entre novembro e março. No entanto, a variabilidade mesmo dentro do período citado, alcança valores acima de 100%, o que evidencia um regime incerto, pouco previsível e que não assegura o atendimento das necessidades regulares de culturas exigentes em relação à quantidade de água, nos períodos críticos do seu ciclo.

A normalização do regime de precipitação da região irá implicar não apenas no retorno dos padrões regionais de produtividade para a cultura da cana de açúcar, mas também no possível aumento da área ocupada pela cultura, já que os produtores que estão fora do mercado canavieiro poderiam se sentir motivados a tentar novamente sobreviver da atividade, até por falta de opções tradicionalmente de sucesso na região.

A avaliação do histórico do setor canavieiro na região mostra que em média, os valores de cana moída nas décadas de 1980 e 1990 se situaram em torno de seis milhões de toneladas, correspondente a uma área plantada de 135.000 ha, para a produtividade de 44,5 t/ha.

Os valores de capacidade instalada de processamento das três usinas/destilaria instaladas na região somam quatro milhões de toneladas anuais, requerendo uma área de 90.000 ha para a produtividade determinada. Considerando a área de 20% necessária para a reforma sistemática dos canaviais, este valor alcança 18.000 ha.

4.3 O potencial de produção de biodiesel com base no uso da soja cultivada em rotação com a cana de açúcar

Um estudo realizado por PESAGRO Rio (2007) sobre a viabilidade do uso de oleaginosas na região do Norte Fluminense em área de reforma de canaviais sem irrigação reportou valor de produtividade média para a soja de 2.000 kg/ha contendo 19% de óleo. Para 18.000ha de área destinada à renovação com o uso da soja em rotação e com um rendimento de 342 kg de biodiesel/ha/ano, o potencial para produção de biodiesel alcança 6.156 t/ano, valor correspondente a uma fábrica de pequeno porte com um potencial de receita anual da ordem de 12 milhões de reais.

A avaliação através do zoneamento de áreas para a prática de rotação soja/cana, na região Norte Fluminense não foi considerada adequada. No entanto, levando em consideração a aptidão apenas para a expansão do plantio da cana de açúcar para atendimento do plano de crescimento da produção de biocombustíveis, a região recebeu sinal verde, sendo a baixa produtividade regional considerada como um problema de falta de investimento e má gestão (SILVA et al., 2012).

4.4 A utilização do etanol como reagente para produção de biodiesel

Mesmo com a viabilidade técnica comprovada, o uso do etanol na reação de transesterificação ainda tem pouca chance de ser uma alternativa para as grandes indústrias de biodiesel. Diversos depoimentos de membros das equipes técnicas das empresas visitadas demonstraram quase uma aversão à ideia de migrar para o uso do etanol. A opinião generalizada é que do ponto de vista operacional, não é compensador, por causa das dificuldades inerentes ao uso do etanol em várias fases do processamento.

Suarez (2008) argumenta que é muito mais fácil produzir biodiesel que atenda as especificações de qualidade oficial a partir do metanol, e que as condições de igualdade técnica para operar com o etanol representam aumento de custos. Esse aumento de eficiência com o etanol só é possível com uma redução drástica no seu custo.

5. CONCLUSÕES

Ficaram evidenciadas através das visitas técnicas algumas particularidades limitantes com relação ao processamento da soja, mesmo para um dos produtos relativamente mais simples dentro de sua cadeia produtiva, o biodiesel.

- A produção de óleo degomado ou neutro com rendimento e qualidade capaz de produzir biodiesel com especificação adequada dentro dos limites impostos pela rígida legislação da ANP é tarefa que exige mão de obra bastante especializada, já no patamar superior da curva de aprendizado.
- Existe uma flutuação no valor de venda do biodiesel que obriga as indústrias que adquirem o óleo no mercado para processar, a manter estoques de produção já realizada em função da pequena margem de lucro em um determinado leilão. Este volume de material estocado pode implicar na paralização da atividade no intervalo entre leilões. Neste caso, as grandes empresas que produzem e processam a soja, tem a alternativa de regular ou mesmo zerar sua produção de biodiesel, desviando sua linha de produção para os outros produtos da cadeia, sendo esta opção uma grande vantagem competitiva.

O etanol como reagente para a produção de biodiesel pode ser viável em uma unidade integrada, pois a preço de custo, a necessidade de ser utilizado em maior quantidade para alcançar eficiência no processo equivalente ao metanol poderia ser compensada. A opção pelo etanol não parece ser a escolha acertada para o processo quando se avalia apenas a economicidade da produção de biodiesel, e se justificaria apenas quando outras considerações (sociais, econômicas ou ambientais) de maior relevância fossem bastante evidentes e quantificadas.

A avaliação do potencial para produzir biodiesel na região NF a partir da soja com base na área que as usinas em operação precisariam colher de cana de açúcar para trabalhar com nível de ociosidade zero resultou em 6.100 t biodiesel/ano. Essa escala é de pequeno porte, mas que poderia agregar valor não só proveniente da atividade industrial, como principalmente pelos benefícios que a técnica de rotação de oleaginosas com a cana tem proporcionado em outras regiões e que está sendo fortemente recomendado como medida preventiva contra as possíveis degradações que a expansão do cultivo da cana deve provocar.

A viabilidade de integração da indústria de etanol com a de biodiesel, proposta desse trabalho, é completamente dependente da região ser apta a produzir soja, com boa produtividade e trazendo os benefícios que estão associados à rotação de culturas. Os experimentos regionais da PESAGRO Rio com a soja reportados, apresentaram resultados de produtividade aceitáveis que sugeriam uma avaliação mais aprofundada, com o objetivo de implantação da rotação de culturas na região e consequentemente como objetivo mais amplo, a produção de biodiesel.

O zoneamento realizado pela EMBRAPA em 2012, um mapa que foi elaborado a partir do cruzamento entre as exigências climáticas e de solo da soja e as características particulares de cada região – no caso da região NF, nível de precipitação irregular e com baixa previsibilidade – não contempla o Norte Fluminense para cultivar a soja em rotação. Apesar de não estar baseado em resultados experimentais na região em estudo, este zoneamento macro se constitui em uma poderosa ferramenta de gestão produzida para fornecer orientação e suporte à expansão da agroindústria sucroalcooleira no país. Portanto, isto impõe uma limitação que em princípio, caracteriza como de alto risco a integração na escala pesquisada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, J. A. **Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim. 2009**. 32 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO, Jaboticabal. 2009.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016. **Usinas e centrais geradoras**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/UsinaListaSelecao.asp. Acessado em 06 de agosto de 2016.

ANGARITA, E. E. Y., *et al*. **Biocombustíveis de primeira geração – biodiesel**. In: LORA, E. E. S; VENTURINI, O. J. (Coord.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. V.1. p. 174-309.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO e BIOCOMBUSTÍVEIS (2016a). **Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo**, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf. Acesso em 12 de Setembro de 2016.

_____, (2016b). **Boletim Mensal do Biodiesel**. Disponível em: http://aprobio.com.br/wp-content/uploads/2016/04/Boletim-Mensal-ANP-MAR%C3%87O1.pdf. Acesso em 10 de agosto de 2016.

ATADASHI, I. M.; AROUA, A.; AZIZ, A. A. High quality biodiesel and its diesel engine application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 14. p. 1999 - 2008, 2010.

AZEVEDO, H. J. **Uma análise da cadeia produtiva da cana de açúcar na região Norte Fluminense**. In: PESSANHA, R. M., NETO, R. S. (Org.). **Formação econômica da Região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes, RJ: WTC editora, 2004. p. 117-172.

BRASIL (2014). MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisas Energética (EPE). **Resenha Energética Brasileira** – exercício 2013. Brasília, DF, 2014.

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. **Desenvolvimento rural e sistemas agroalimentares**: os agronegócios no contexto da integração das nações. Porto Alegre: Sober, 2009, p. 1 – 21.

CASTRO, C. A. R, 2011**. Cana, açúcar – cronologia da produção do Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: https://clarc.wordpress.com/2011/10/22/cana-acucar-cronologia-da-producao-do-estado-do-rio-de-janeiro/. Acessado em 06 de agosto de 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf. Acesso em 04 de agosto de 2016.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção de etanol visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. 2008. 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). FEQ, UNICAMP, Campinas. 2008.

DRAPCHO, C. M.; NHUAN, N. P; WALKER, T. H. **Biofuels engineering process technology**. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2001. **Tecnologias de produção de soja** – Região Central do Brasil 2001/2002. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267 p.

_____, 2010. **Tecnologias de produção de soja** – Região Central do Brasil 2011. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 247 p.

JANK, M. S. (2012). **Os desafios do setor sucroenergético e o "movimento + etanol"**. Disponível em: www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=5374661. Acesso em 10 de julho de 2016.

LIMA, E. A. **Avaliação fitotécnica e econômica de cultivares de soja em áreas de reforma de cana-de-açúcar, na região Norte Fluminense.** 2006. 95 p. Tese (Doutorado em Produção vegetal). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. 2006.

LOPES, M. E. 2012. **Qual é a melhor época para o plantio da cana de açúcar**. Disponível em: http://rehagro.com.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=2376. Acessso em 20 de agosto de 2016.

MARQUES, P.V. (Coord.) **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. 194 p.

MOURA, A. G., *et al*. **Biocombustíveis de primeira geração – bioetanol pela rota convencional**. In: LORA, E. E. S; VENTURINI, O. J. (Coord.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. V.1. p. 360-409.

MOURA, B. S., **Transesterificação alcalina de óleos vegetais para produção de biodiesel: Avaliação técnica e econômica**. 2010. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

NASCIMENTO, M. A. R., et al. Utilização do biodiesel de mamona em micro-turbinas a gás-testes de desempenho térmico e emissões. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

NOVACANA, 2013. **Cana-de-Açúcar — Tudo sobre esta versátil planta. Disponível em:** https://www.novacana.com/cana-de-acucar/**.** Acesso em 18 de julho de 2016.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados**, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001.

PERDICES. M. B., et al. **Bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos pela rota da hidrólise**. In: LORA, E. E. S; VENTURINI, O. J. (Coord.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. V.1. p. 536-588.

PEREIRA, C. N., et al. **Aspectos econômicos e Institucionais da rotação da cana de açúcar com espécies vegetais**. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Ed). **Sistema de produção mecanizada da cana de açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília: Ed. EMBRAPA, 2015. V.1. p. 93-112.

PESAGRO-RIO. **Viabilidade técnica do cultivo de oleaginosas no Norte Fluminense** – A experiência da PESAGRO-RIO – 2007. 47 p. Campos dos Goytacazes.

PROCKNOR, C., 2015. **Tendências**. Disponível em: https://www.procknor.com.br/br/artigos/tendencias-4. Acesso em 10 de junho de 2015.

RAMOS, L. P. **Etanólise**. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/ramos.htm. Acesso em 24/05/2015.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento-Edição nº**, v. 31, p. 29, 2003.

_____. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

SALOMÉ, J. R. et al. Viabilidade econômica da rotação de adubos verdes com cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 2, n. 2, 2007.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Ed. Embrapa Trigo. 2001. 212 p.

SANTOS, M. R. dos. **Estudo de viabilidade técnico-econômica da interação cana soja/amendoim**. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Escola de economia de São Paulo – EESP, FGV, São Paulo. 2010.

SILVA, F. C. et al. Zoneamento de áreas de reforma de cana para a produção de biocombustíveis a partir da soja na região Centro – Sul**. Revista ALCOOLbrás**, n. 183, p. 63 – 68. 2012.

SILVA, R. C. R. S.; CARVALHO, A. M. **Formação econômica da Região Norte Fluminense.** In**:** PESSANHA, R. M., NETO, R. S. (Org.). **Economia e desenvolvimento no Norte Fluminense: da cana de açúcar aos royalties do petróleo**. Campos dos Goytacazes, RJ: WTC editora, 2004. p. 27-74.

SOUZA, S. P. **Produção integrada de biocombustíveis: Uma proposta para reduzir o uso de combustível fóssil no ciclo de vida do etanol da cana de açúcar**. 2010. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia, USP, São Carlos. 2010.

SUAREZ, P. A. Z., 2008. **Metanol ou etanol: algumas considerações.** Disponível em: https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08.htm. Acesso em 20 de Abril de 2015.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. Assuntos gerais. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068 – 2017. 2007.

UNICA (2016a) - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR. **Indústria da cana registra saldo positivo na geração de empregos no país**. Disponível em: http://www.unica.com.br/noticia/7657299920336510230/industria-da-cana-registra-saldo-positivo-na-geracao-de-empregos-no-pais/. Acesso em 18 de agosto de 2016.

_____ (2016b) - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR. **Histórico de produção e moagem**. Disponível em: http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4. Acesso em 18 de Agosto de 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO (UFRRJ). **Precipitação pluviométrica.** Disponível em: http://campuscg.ufrrj.br/precipitacao-pluviometrica/. Acesso em 18 out. 2016.

VEIGA, C. F. de M.; RIBEIRO, J. R.; MORGADO, I. F. **Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa**. Rio de Janeiro: FAERJ: SEBRAE/RJ, 2006.