

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

LORENA MENDES DE SOUZA

**O MERCADO BRASILEIRO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO:
MAPEAMENTO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE
OLEAGINOSAS PARA O PROCESSO HEFA**

Rio de Janeiro

2019

LORENA MENDES DE SOUZA

O MERCADO BRASILEIRO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO:
MAPEAMENTO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS
PARA O PROCESSO HEFA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientadores:

Dr. Donato Alexandre Gomes Aranda
Dr. Pietro Adamo Sampaio Mendes

Rio de Janeiro

2019

M729m Mendes de Souza, Lorena
O mercado brasileiro de bioquerosene de aviação:
mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas
para o processo HEFA / Lorena Mendes de Souza. --
Rio de Janeiro, 2019.
208 f.

Orientador: Donato Alexandre Gomes Aranda.
Coorientador: Pietro Adamo Sampaio Mendes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Processos Químicos e
Bioquímicos, 2019.

1. Bioquerosene. 2. Análise Multicritério. 3.
Incertezas . I. Alexandre Gomes Aranda, Donato,
orient. II. Adamo Sampaio Mendes, Pietro, coorient.
III. Título.

LORENA MENDES DE SOUZA

O MERCADO BRASILEIRO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO:
MAPEAMENTO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS
PARA O PROCESSO HEFA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Aprovado por:

Prof. Dr. Donato Alexandre Gomes Aranda - UFRJ

Orientador

Dr. Pietro Adamo Sampaio Mendes - ANP

Coorientador

Dr. Luciano Basto Oliveira

Membro Externo

Dra. Maria Carolina de Barros Grassi

Membro Externo

Prof. Dr. Luiz Antônio D'Ávila

Membro Interno

Dr. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar

Membro Interno

Dr. João Monnerat Araujo Ribeiro de Almeida

Membro Interno

*À minha mãe Nillma
Ao meu pai Adalberto,
Aos meus irmãos Diego, Thiago e Loyane,
Às minhas sobrinhas Yasmin e Olívia,
Ao meu esposo Heitor*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, autor da minha fé, por me dar força e garra para superar todas as dificuldades enfrentadas ao longo deste trabalho, bem como por estar à frente, conduzindo com amor e cuidado meus projetos profissionais e de vida;

Agradeço ao meu pai Adalberto, à minha mãe Nilma e aos meus irmãos Thiago, Diego e Loyane pelo apoio, credibilidade, amor, dedicação e pelos ensinamentos valiosos;

Ao meu esposo Heitor pela compreensão, companheirismo, confiança e principalmente pelo carinho e paciência;

Ao meus orientadores e amigos, Donato Aranda e Pietro Mendes, pelo aceite na orientação deste trabalho, pela confiança em mim depositada, pela amizade e ensinamentos. Agradeço-os por me acompanhar, motivar e orientar, sempre com sugestões valiosas;

À Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, por me proporcionar crescimento profissional imensurável;

Aos membros da minha banca de exame de qualificação e defesa ao doutorado, pelas contribuições ao trabalho;

À Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, por me proporcionar crescimento profissional contínuo como servidora e especialista em regulação, além da confiança depositada, corroborada na minha liberação para cursar as disciplinas deste doutorado;

Aos amigos da ANP, em especial aos colegas do Rio de Janeiro, da Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produtos - SBQ e aos colegas de Brasília, do Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas da ANP – CPT, pela parceria, amizade e companheirismo;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram ou torceram pela concretização deste projeto, meu muito obrigada!

*“Adquire sabedoria, adquiere inteligência, e não te esqueças nem te apartes das palavras da
minha boca.” Provérbios 4:51:5*

RESUMO

Souza, Lorena Mendes. **O mercado brasileiro de bioquerosene de aviação: mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA**. Rio de Janeiro, 2019. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019, 208 p.

Este trabalho analisa o atual cenário do mercado brasileiro de bioquerosene de aviação e estabelece *ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA em cada uma das regiões brasileiras à partir de múltiplos critérios. O trabalho busca apoiar a cadeia produtiva, as instituições de pesquisa e os agentes governamentais a melhor se organizarem para priorização de ações estratégicas, como pesquisas, investimento em P&D e incentivos para as oleaginosas regionais mais promissoras, contribuindo ainda para mitigação de um dos maiores gargalos da cadeia: a disponibilidade de matéria-prima de baixo custo e alto potencial produtivo. As oleaginosas e os critérios considerados foram determinados a partir de revisão bibliográfica, sendo empregadas duas ferramentas multicritérios na avaliação, AHP e TOPSIS. A análise foi realizada em primeiro momento sem considerar o parâmetro “emissões de GEE”, uma vez que não foram encontrados trabalhos amplamente disponíveis na literatura considerando Análise de Ciclo de Vida (ACV) para HEFA produzido a partir de todas as oleaginosas avaliadas. Contudo, considerando a importância deste parâmetro na avaliação, em um segundo momento, a análise multicritério foi aplicada às oleaginosas cujos dados de ACV para produção de bioquerosene HEFA estão disponíveis. A partir da análise geral, os seguintes *rankings* foram estabelecidos nas regiões: Norte – 1º soja, 2º palma, 3º macaúba e 4º babaçu; Nordeste – 1º soja, 2º pinhão-manso, 3º palma, 4º algodão, 5º macaúba, 6º babaçu e 7º mamona; Sul – 1º soja, 2º girassol, 3º colza e 4º algodão; Sudeste – 1º soja, 2º pinhão-manso, 3º macaúba, 4º algodão, 5º girassol, 6º mamona e 7º amendoim; Centro-Oeste – 1º soja, 2º pinhão-manso, 3º palma, 4º algodão, 5º girassol, 6º macaúba e 7º mamona. A soja, que ficou em primeiro lugar em todas as regiões, já é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil, não sendo estratégico a dependência de uma única fonte para produção dos dois biocombustíveis. Assim, o estímulo às pesquisas voltadas para o alcance do domínio tecnológico de novas oleaginosas locais é fundamental para aumentar a escala de produção, reduzir os custos do óleo e tornar a produção mais competitiva e sustentável. Destaca-se, por fim, que todas as oleaginosas se mostraram eficientes na redução das emissões de GEE. Contudo, é importante assegurar que a produção dessas culturas não provoquem mudanças negativas no uso da terra. Para tanto, importantes medidas devem ser adotadas, como: investimento em P&D para aumento da produtividade e rendimento agrícola; melhoria do gerenciamento agrícola; promoção do uso de terras marginais; elaboração do zoneamento agroecológico; aumento do monitoramento e controle do uso do solo; além do fortalecimento das leis e das políticas para proteção ambiental. Todas estas medidas poderão servir como mecanismos de garantia do alto potencial do bioquerosene HEFA na redução das emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Bioquerosene, HEFA, oleaginosas, Análise Multicritério, AHP, TOPSIS.

ABSTRACT

Souza, Lorena Mendes. **The Brazilian biojet market: multicriteria mapping for oilseed selection for the HEFA process**. Rio de Janeiro, 2019. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019, 208 p.

This work analyzes the current scenario of the Brazilian biojet market and establishes a ranking of the potential oleaginous for HEFA biojet production in each of the Brazilian regions, based on multiple criteria. The work seeks to support the productive chain, research institutions and government agents to better organize to prioritize strategic actions, such as research, R&D investment, and incentives for the most promising regional oilseeds, also contributing to the mitigation of one of the major bottlenecks of the production chain: the availability of low-cost raw material and high productive potential. The oilseeds and the criteria considered were determined from a bibliographical review, using two multi-criteria tools in the evaluation, AHP and TOPSIS. The analysis was performed first without considering the parameter "GHG emissions", since no studies were widely available in the literature considering Life Cycle Analysis (LCA) for HEFA biokerosene produced from all the oilseeds target in the present study. However, considering the importance of this parameter in the evaluation, in a second step, the multicriteria analysis was applied to the oleaginous ones whose LCA data for the production of HEFA biokerosene are available in the literature. From the general analysis, the following rankings were established in the regions: North - 1st soybean, 2nd palm, 3rd macauba and 4th babassu; Northeast - 1st soybean, 2nd jatropha, 3rd palm, 4th cotton, 5th macauba, 6^o babassu and 7th castor bean; South - 1st soybean, 2nd sunflower, 3rd rape and 4th cotton; Southeast - 1st soybean, 2nd jatropha, 3rd macauba, 4th cotton, 5th sunflower, 6th castor bean and 7th peanut; West Central - 1st soybean, 2nd jatropha, 3rd palm, 4th cotton, 5th sunflower, 6th macauba and 7th castor bean. Soybeans, which ranked first in all regions, are already the main raw material for biodiesel production in Brazil, not being a strategic dependence on a single source for the production of both biofuels, in addition to food use. Thus, stimulating research aimed at reaching the technological domain of new local oleaginous plants is essential to increase the scale of production, reduce oil costs and make HEFA production more competitive and sustainable. Finally, it should be noted that all oilseeds have proved to be efficient in reducing GHG emissions. However, it is important to ensure that the production of these crops does not lead to negative changes in land use. Therefore, important measures must be adopted, such as: investment in R&D to increase productivity and agricultural income; improvement of agricultural management; promotion of the use of marginal lands; elaboration of agroecological zoning; increased monitoring and control of land use; and also strengthening laws and policies for environmental protection. All these measures could serve as mechanisms to guarantee the high potential of the HEFA in reducing greenhouse gas emissions.

Keywords: Biokerosene, HEFA, oilseeds; Multicriteria Analysis, AHP, TOPSIS.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRABA	Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP) - Método de Análise Hierárquica</i>
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AMD	Análise Multicritério de Decisão
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATJ-SPK	<i>Alcohol to Jet SPK</i>
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIOQAV	Bioquerosene de Aviação
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CO ₂	Dióxido de carbono
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
COP-21	21ª Conferência das Partes
CORSIA	<i>Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation</i>
CPT	Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas da ANP
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FT	<i>Fischer-Tropsch</i>
FT-SPK/A	<i>Fischer Tropsch com aromáticos</i>
GBEP	<i>Global Bioenergy Partnership</i>
GEE	Gases Causadores do Efeito Estufa
REET	<i>Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation</i>
HDCJ	<i>Hydroprocessed Depolymerized Cellulosic Jet</i>
HDO-SK	<i>Hydro-Deoxygenated Synthesized Kerosene</i>
HEFA	<i>Hydroprocessed Esters and Fatty Acids</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
IC	Índice de Consistência
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério das Minas e Energia
MUT	Mudança no uso da Terra

MCDA	<i>Multiple-Criteria Decision Analysis</i>
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NIS	Solução Ideal Negativa
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PBB	Plataforma Brasileira de Bioquerosene
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Solução Ideal Positiva
PL	Projeto de Lei
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PPCD	Plano de Prevenção e Controle dos Desmatamentos
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations</i>
QAV-1	Querosene de Aviação
QAV B-X	Querosene de Aviação B-X
RED	<i>Renewable Energy Directive</i>
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
RPK	<i>Revenue Passenger Kilometers</i>
RSB	<i>Roundtable on Sustainable Biomaterials</i>
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
SIP	<i>Renewable Synthesized Iso-Paraffinic</i>
TCOS	<i>Technological, Commercial, Organizational and Social Uncertainties</i>
TFA	<i>Technology Futures Analysis</i>
TODIM	Tomada de Decisão Interativa e Multicritério
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
ZAE	Zoneamento Agroecológico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Série histórica de consumo de QAV-1 no Brasil – voos domésticos e internacionais	20
Figura 2	Série histórica de emissões de CO ₂ na aviação brasileira – voos domésticos e internacionais.	21
Figura 3	Produção, consumo e exportações de oleaginosas no Brasil	24
Figura 4	Importações de querosene de aviação pelo Brasil de 2004 a 2016	24
Figura 5	Estruturação hierárquica para aplicação do método AHP	63
Figura 6	Matriz de decisão TOPSIS	66
Figura 7	Procedimentos metodológicos	86
Figura 8	Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Norte do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA	87
Figura 9	Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Nordeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA	87
Figura 10	Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Sul do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA	88
Figura 11	Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Sudeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA	88
Figura 12	Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Centro-Oeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA	89
Figura 13	Peso estabelecido aos critérios a partir da aplicação do método multicritério AHP	91
Figura 14	Peso estabelecido aos 17 subcritérios a partir da aplicação do método multicritério AHP	92
Figura 15	Peso estabelecido aos 18 subcritérios a partir da aplicação do método multicritério AHP	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais atos regulatórios relacionados ao mercado brasileiro de bioquerosene de aviação	36
Tabela 2	Ações brasileiras para promoção do mercado de bioquerosene	44
Tabela 3	Principais incertezas do mercado brasileiro de bioquerosene	45
Tabela 4	Índice Randômico (IR) de Saaty (1980)	65
Tabela 5	Critérios avaliados no estudo	69
Tabela 6	Subcritérios avaliados no estudo	70
Tabela 7	Definição dos subcritérios a serem avaliados no estudo e suas respectivas soluções ideais	73
Tabela 8	Matérias-primas consideradas para a produção de bioquerosene de aviação no Brasil	77
Tabela 9	Matérias-primas escolhidas para serem comparadas no estudo	78
Tabela 10	Matérias-primas regionalizadas	84
Tabela 11	Peso dos critérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas	89
Tabela 12	Peso dos subcritérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas	90
Tabela 13	Parâmetros para determinação do custo do óleo de macaúba	94
Tabela 14	Tecido da oleaginosa considerado para determinação do teor de óleo	99
Tabela 15	Parâmetros para determinação do teor de óleo da macaúba	99
Tabela 16	Parâmetros para determinação da acidez do óleo de macaúba	101
Tabela 17	Parâmetros para determinação da umidade do óleo de macaúba	102
Tabela 18	Parâmetros para determinação do teor de ácidos graxos do óleo de macaúba	103
Tabela 19	Parâmetros para determinação do teor de ácidos graxos no óleo de palma	103
Tabela 20	Matriz de desempenho das oleaginosas na região Norte	104
Tabela 21	Matriz de desempenho das oleaginosas na região Nordeste	105
Tabela 22	Matriz de desempenho das oleaginosas na região Sul	107
Tabela 23	Matriz de desempenho das oleaginosas na região Sudeste	107
Tabela 24	Matriz de desempenho das oleaginosas na região Centro-Oeste	109
Tabela 25	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Norte do Brasil	111
Tabela 26	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Nordeste do Brasil	111
Tabela 27	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sul do Brasil	112
Tabela 28	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sudeste do Brasil	112
Tabela 29	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Centro-Oeste do Brasil	112
Tabela 30	Matérias-primas regionalizadas para análise multicritério considerando emissões de GEE com base em ACV	122
Tabela 31	Emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de soja	126
Tabela 32	Emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV do	127

	bioquerosene HEFA produzido a partir de pinhão-manso	
Tabela 33	Emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de colza	127
Tabela 34	Emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de palma	128
Tabela 35	Emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de girassol	128
Tabela 36	Desempenho das oleaginosas em relação às emissões de GEE (gCO ₂ e/MJ) com base em ACV	128
Tabela 37	Peso dos subcritérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas (considerando subcritério emissões de GEE)	129
Tabela 38	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Norte do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”)	131
Tabela 39	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Nordeste do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”)	131
Tabela 40	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sul do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”)	131
Tabela 41	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sudeste do Brasil	131
Tabela 42	Ranking das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Centro-Oeste do Brasil	132
Tabela 43	Variação do Coeficiente de Similaridade a partir da consideração do subcritério SC-18	133

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Contextualização.....	19
1.2. Problema	22
1.3. Objetivos	25
1.4. Justificativa	25
1.4.1. Justificativa para a escolha do processo HEFA.....	26
1.5. Estruturação dos capítulos	27
2. O MERCADO BRASILEIRO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO.....	29
2.1. Introdução	29
2.2. Avaliação teórica: a análise TCOS	30
2.3. Procedimentos metodológicos	33
2.3.1. Revisão de atos regulatórios.....	33
2.3.2. Revisão da literatura.....	34
2.3.3. Análise TCOS	35
2.4. Resultados e Discussão	35
2.4.1. Regulamentação brasileira do bioquerosene de aviação	36
2.4.2. Ações brasileiras para promoção da produção e uso do bioquerosene	39
2.4.2.1. Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA).....	39
2.4.2.2. Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB)	40
2.4.2.3. Plataforma Mineira, Pernambucana e Gaúcha de Bioquerosene.....	41
2.4.2.4. Programa Nacional de Produção e Uso do Bioquerosene (PL 506/2013).....	41
2.4.2.5. Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio (Lei nº 13.576, de 2017)	42
2.4.2.6. Resumo das ações brasileiras para promoção mercado de bioquerosene.....	43
2.4.3. Incertezas e recomendações: o mercado brasileiro de bioquerosene	44
2.4.3.1. Incertezas tecnológicas	46
2.4.3.2. Incertezas comerciais.....	48
2.4.3.3. Incertezas organizacionais	50
2.4.3.4. Incertezas sociais	52
2.4.3.5. Resumo das principais incertezas e comparação com outros estudos	53
2.5. Considerações finais e implicações práticas	54
2.6. Conclusão.....	56
3. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA O PROCESSO HEFA	58

3.1. Introdução	58
3.2. Avaliação teórica: a tomada de decisão e a análise multicritério	59
3.3. Procedimentos metodológicos	62
3.3.1. Escolha do método multicritério para aplicação de pesos aos critérios e subcritérios: método AHP	62
3.3.1.1. Detalhamento do método AHP	62
3.3.2. Escolha do método multicritério para estabelecer <i>ranking</i> das oleaginosas: método TOPSIS.....	65
3.3.2.1. Detalhamento do método TOPSIS	66
3.3.3. Escolha dos critérios e subcritérios avaliados	68
3.3.4. Escolha das oleaginosas a serem avaliadas	76
3.3.4.1 Soja (<i>Glycine max L.</i>)	79
3.3.4.2. Palma (<i>Elaeis Guineensis</i>).....	79
3.3.4.3. Colza (<i>Brassica napus L. var oleífera</i>).....	80
3.3.4.4. Girassol (<i>Helianthus annuus L.</i>).....	80
3.3.4.5. Pinhão-Manso (<i>Jatropha curcas L.</i>).....	81
3.3.4.6. Amendoim (<i>Arachis hypogaea L.</i>)	81
3.3.4.7. Macaúba (<i>Acrocomia aculeata.</i>)	82
3.3.4.8. Babaçu (<i>Attalea ssp.</i>).....	82
3.3.4.9. Mamona (<i>Ricinus communis L.</i>).....	83
3.3.4.10. Algodão (<i>Gossypium sp.</i>)	83
3.3.5. Regionalização das oleaginosas a serem avaliadas	84
3.4. Esquematização do procedimento metodológico	85
3.5. Resultados	89
3.5.1. Aplicação do método AHP.....	89
3.5.2. Aplicação do método TOPSIS	92
3.5.2.1. Considerações para construção da matriz de desempenho das oleaginosas	93
3.5.2.2. Desempenho e <i>Ranking</i> das oleaginosas nas cinco regiões do Brasil	104
3.6. Discussão	112
3.7. Conclusão.....	115
4. A PEGADA DE CARBONO NA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO	117
4.1. Introdução	117
4.1.1. A análise de ciclo de vida (ACV).....	117
4.1.1.1. Alocação dos coprodutos.....	118
4.1.1.2. Mudança do uso da terra (MUT)	119

4.2. Procedimentos Metodológicos.....	121
4.2.1. Metodologia de revisão de trabalhos relacionados à ACV do bioquerosene HEFA e definição das oleaginosas avaliadas neste capítulo	121
4.2.2. A análise multicritério considerando a redução de GEE a partir de ACV.....	122
4.3. Resultados.....	123
4.3.1 Análise dos estudos de ACV para produção de bioquerosene HEFA produzidos a partir das oleaginosas alvo desta Tese de Doutorado.....	123
4.3.2. Construção da matriz de desempenho das oleaginosas em relação ao subcritério ambiental “emissões de GEE”.....	128
4.3.3. Aplicação do método AHP.....	129
4.3.4. Aplicação do método TOPSIS	130
4.3.4.1. Desempenho e <i>Ranking</i> das oleaginosas nas cinco regiões do Brasil	130
4.4. Discussão	132
4.5. Conclusão.....	136
5. CONCLUSÕES GERAIS, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES.....	137
5.1. Conclusões Gerais.....	137
5.2. Limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros	139
REFERÊNCIAS	141
ANEXO I – Questionário do método AHP	171
ANEXO II – Adendo ao formulário AHP	178
ANEXO III - Aplicação do método AHP.....	180
ANEXO IV - Aplicação do método TOPSIS no Capítulo 3	186
ANEXO V - Aplicação do método TOPSIS no Capítulo 4.....	197
ANEXO VI – Artigo referente ao capítulo 2 desta Tese de Doutorado, intitulado “ <i>Assessing the current scenario of the Brazilian biojet Market</i> ”, publicado na revista <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	207

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Os altos níveis de emissões de gases de efeito estufa tem provocado o aumento da temperatura global, secas mais prolongadas e inundações em diversas regiões do globo (RESNIK, 2016). Essas mudanças climáticas revelam a importância do debate acerca do uso de energias mais limpas (DE OLIVEIRA ADAMI; BACCHI, 2016) e da necessidade da tomada de ações para o alcance de um modelo energético de baixo carbono (RODRIGUES *et al.*, 2016). Nesse sentido, o uso de combustíveis renováveis oriundos de biomassa vem sendo empregados pela capacidade de retenção de dióxido de carbono através da fotossíntese realizada pelo vegetal (BIANCO, 2015).

A transição dos combustíveis fósseis para fontes renováveis de energia poderá trazer mudanças positivas também do ponto de vista econômico e social (RODRIGUES *et al.*, 2016; NOH *et al.*, 2016). Com o alcance de 36% de energias renováveis na matriz energética global até 2030, o que equivale a dobrar a participação de renováveis em relação aos níveis de 2010, o Produto Interno Bruto (PIB) mundial seria elevado em cerca de US\$ 1,3 trilhão, representando um aumento de 1,1% (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016). Este aumento criaria ainda 24 milhões de novos postos de trabalho e salvaria 4 milhões de vidas por ano (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016).

Na aviação essa transição também é necessária (MAWHOOD *et al.*, 2016). O transporte aéreo é responsável por 2% das emissões anuais de carbono provocadas pelo homem (INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2017) e esta parcela tende a aumentar com o progressivo aumento do setor. O RPK mundial (passageiros por quilômetros transportados) aumentou cerca de 61% em 10 anos (2007 a 2017), sendo o aumento de 8,1% apenas de 2016 para 2017 (INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2018a, 2018b). Este crescimento provoca aumento no consumo de querosene de aviação fóssil e, conseqüentemente, aumento de emissões de gases de efeito estufa (AGUSDINATA *et al.*, 2012; NEULING; KALTSCHMITT, 2015; VELÁZQUEZ *et al.*, 2015).

Como forma de reduzir a parcela de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na aviação, em 2009, a Organização de Aviação Civil Internacional, a *International Civil Aviation Organization* – ICAO, apoiada pela indústria de aviação, estabeleceu a meta de crescimento neutro de emissões de carbono na aviação a partir de 2020 e redução das emissões líquidas pela metade até 2050, com base em 2005 (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2009). Além disso, a ICAO, com a participação de quase 200 Países, aprovou o Plano de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional, em inglês *the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), que prevê a limitação e a compensação de qualquer aumento anual das

emissões totais de carbono da aviação civil internacional acima dos níveis de 2020. Na fase piloto (2021-2026), os Países poderão aderir voluntariamente. Já na segunda fase (2027-2035), os países deverão aderir de forma obrigatória.

No Brasil, o crescimento do transporte aéreo e o consequente aumento das emissões também gera preocupação. Há um expressivo crescimento no consumo do querosene de aviação fóssil (QAV-1) ao longo dos anos no Brasil. A Figura 1 mostra a evolução do consumo desse combustível no Brasil entre 1990 e 2015 nos voos domésticos e comerciais.

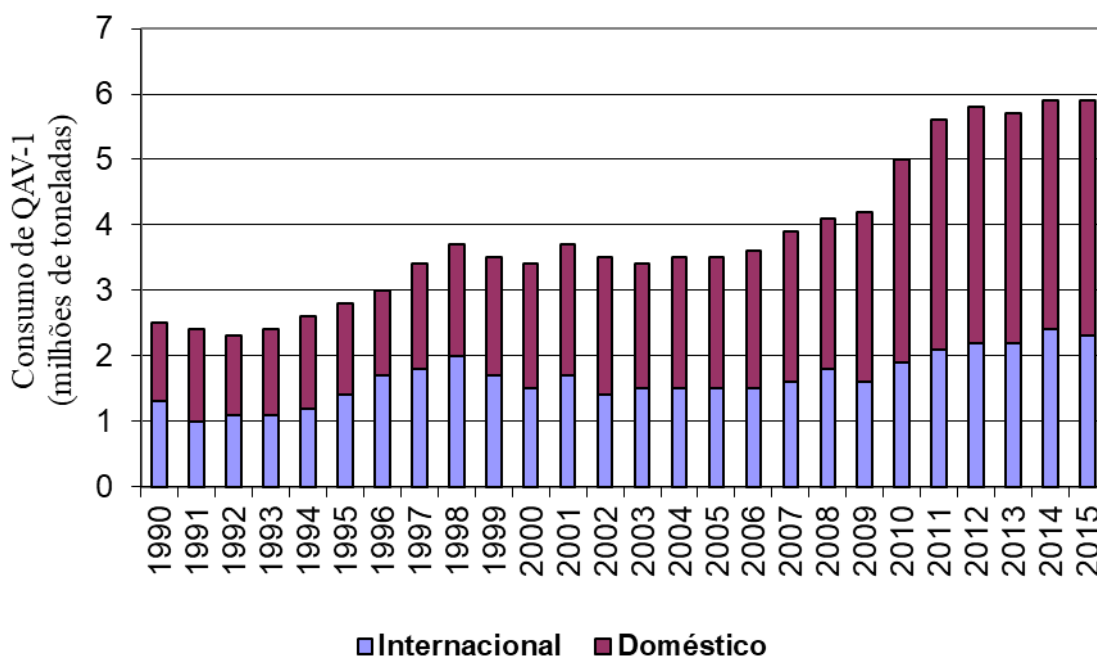


Figura 1 – Série histórica de consumo de QAV-1 no Brasil – voos domésticos e internacionais. **Fonte:** adaptado de ANAC, 2015.

Houve um expressivo crescimento no consumo de QAV-1 no segmento doméstico de 2005 a 2015, na ordem de 78% (Figura 1). No segmento internacional, esse crescimento foi da ordem de 55%. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) prevê que em 2030, o consumo de querosene será da ordem de 5,9 milhões de toneladas em voos domésticos e 2,8 milhões de toneladas em voos internacionais saindo do Brasil. Isso equivale a um aumento de consumo total de QAV-1 (doméstico e internacional) da ordem de 146%, em relação ao ano de 2005. Como resultado desse alto consumo, as emissões de CO₂ também estão aumentando significativamente (Figura. 2).

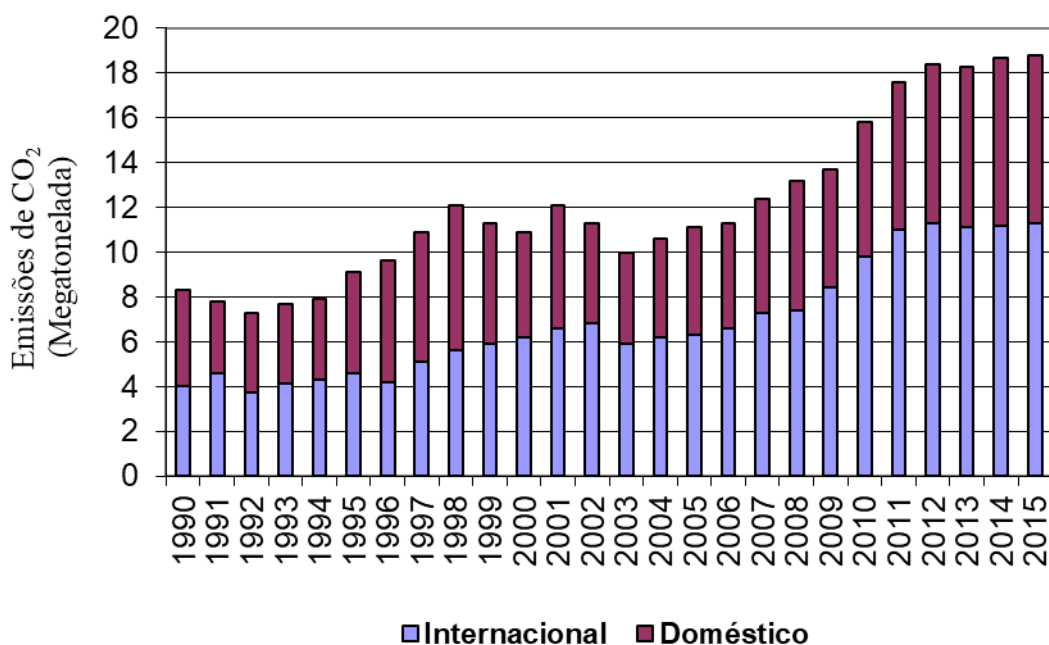


Figura 2 – Série histórica de emissões de CO₂ na aviação brasileira – voos domésticos e internacionais. **Fonte:** adaptado de ANAC, 2015.

A taxa de crescimento anual das emissões de CO₂ entre 1990 e 2015 permaneceu em aproximadamente 3,85% para o segmento doméstico e 3,23% para o segmento internacional. Em 2005, a emissão de dióxido de carbono proveniente do consumo de querosene de aviação no Brasil foi de 11,1 MtCO₂ (Figura 2). A previsão de aumento na emissão deste gás em 2030, em um cenário conservador de crescimento de apenas 3% ao ano, pode chegar a 37,6 MtCO₂, representando um aumento de 109% em relação a 2005.

No Brasil, também pela preocupação com as emissões na aviação, os compromissos nacionais de redução de emissões foram assumidos por meio da Contribuição Definida Nacionalmente (NDC), no âmbito do Acordo de Paris assinado na 21ª Conferência sobre Mudança do Clima (COP 21). O compromisso assumido é de reduzir suas emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030, com base nas emissões de 2005. O compromisso assinado foi reiterado na COP 22, realizada em Marrakesh, no Marrocos, e na COP 23, realizada em Bonn, na Alemanha.

Para honrar os compromissos assumidos, é necessária, sobretudo, uma transição no uso de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis, como os biocombustíveis. O uso de bioquerosene de aviação produzido a partir de matérias-primas renováveis pode contribuir no atingimento dessas metas (CANTARELLA *et al.*, 2015) devido ao seu potencial de redução das emissões de CO₂ em até 80% em todo o seu ciclo de vida (INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2016).

O Brasil já se destaca pelo uso de biocombustíveis em sua matriz energética. De acordo com dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em seu Plano Decenal de Energia, a projeção de participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira mantém-se em torno de 42%, resultado esse muito maior do que a média mundial, de 13%, ou dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), de 9% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014). Contudo, apesar do destaque brasileiro na utilização de biocombustíveis em sua matriz energética, na aviação ainda não há utilização expressiva de fontes energéticas renováveis, carecendo de iniciativas, pesquisas e trabalhos que promovam o uso de biocombustíveis na aviação brasileira.

1.2. Problema

Um dos maiores gargalos do mercado de bioquerosene, que faz com que o uso deste biocombustível ainda seja inexpressivo, está relacionado ao custo e a disponibilidade de matérias-primas com alto potencial produtivo (LÚDEKE-FREUND *et al.*, 2012; CONNELLY *et al.*, 2015, HARI *et al.*, 2015, ANDERSON *et al.*, 2012, NOH *et al.*, 2016, DEANE; PYE, 2018; SMITH *et al.*, 2017, CREMONEZ *et al.*, 2015a, CORTEZ *et al.*, 2015, HILEMAN; STRATTON, 2014, MORAES *et al.*, 2-14). Connelly *et al.* (2015) identificaram as principais ações necessárias para promover o mercado de bioquerosene de aviação no mundo a partir da percepção de diversos atores mundiais envolvidos na temática. Do *ranking* de um total de 37 ações a partir de análise multicritério, a ação “investir em P&D para o alcance de matérias-primas mais produtivas” ficou em primeiro lugar, identificada como a mais importante na atual conjuntura do mercado.

O Brasil tem alto potencial para atacar este problema e se tornar líder na produção e uso de bioquerosene no país, já que possui elevada experiência agrícola na produção de matérias-primas destinadas à produção de energia. Diante do leque de opções de matérias-primas nativas e cultivadas no País, é preciso considerar o aproveitamento de matérias-primas regionais, em sistemas produtivos específicos para cada região do país, já que cada região possui um solo e clima que favorece o cultivo de diferentes oleaginosas. A diversificação da produção em níveis regionais deve ser considerada não somente pelas diferenças climáticas, de mercado, infraestrutura e desenvolvimento regional, mas também pela questão logística. Segundo Laviola e Capdeville (2015), a regionalização da produção de bioquerosene auxilia na logística produtiva.

Além da questão da diversificação, para atacar o gargalo das matérias-primas, é preciso ainda considerar as vantagens e limitações de cada uma, a partir de critérios técnicos eficientes, para julgamento da melhor alternativa para um futuro programa deste biocombustível no Brasil, favorecendo assim o melhor planejamento e gestão de todos atores de interesse da cadeia produtiva de bioquerosene. Uma ferramenta interessante para este julgamento é a Análise Multicritério, que pode ter grande utilidade nos processos decisórios de priorização de uma alternativa em relação a outras (MICHAILOS; PARKER; WEBB,

2016) em situações em que as decisões precisam ser pautadas por critérios técnicos objetivos e transparentes (JANNUZZI *et al.*, 2009).

Para a avaliação e seleção de matérias-primas para produção do bioquerosene é necessário definir primeiramente o processo produtivo (rota de produção), já que diferentes processos se associam à utilização de diferentes matérias-primas. Dentre as rotas disponíveis para produção de bioquerosene, o processo HEFA, que envolve o hidrocessamento de óleos, como os extraídos de vegetais, é considerado o mais vantajoso em termos de complexidade, rendimento, maturidade do mercado e viabilidade econômica (vide item 1.4.1 deste capítulo).

Neste processo, os triglicerídeos, principais constituintes de óleos vegetais e gorduras animais, sofrem hidrogenólise (decomposição por hidrogênio), através de elevada pressão e temperatura, com a presença de catalisador metálico (WANG; TAO, 2016). A hidrogenação é realizada para retirada das insaturações presentes no óleo cru na busca por um combustível final com maior estabilidade. A seguir, os triglicerídeos saturados passam por uma clivagem na presença de propano, hidrogênio e catalisadores para produção de ácidos graxos livres. A etapa seguinte é a descarboxilação e hidrodeoxigenação para retirada dos oxigenados, evitando que o combustível final absorva água e possua baixo poder calorífico (WANG; TAO, 2016). Os ácidos graxos livres, após descarboxilação e hidrodeoxigenação passam então pelo processo de hidroisomerização ou hidrocraqueamento para ajuste da composição desejada da cadeia carbônica, podendo ser formados gases leves, nafta, biocombustíveis de aviação e diesel verde (WANG; TAO, 2016).

No Brasil, a larga extensão territorial, considerável fronteira para expansão agrícola e ótimas condições climáticas, garantem alto potencial para cultivo de várias espécies oleaginosas, ricas em óleos vegetais para produção de bioquerosene por este processo.

A produção de oleaginosas se mantém em níveis crescentes no Brasil. A Figura 3 apresenta a produção, consumo e exportações de oleaginosas no Brasil de 2000 até o presente momento, bem como uma projeção até 2024.

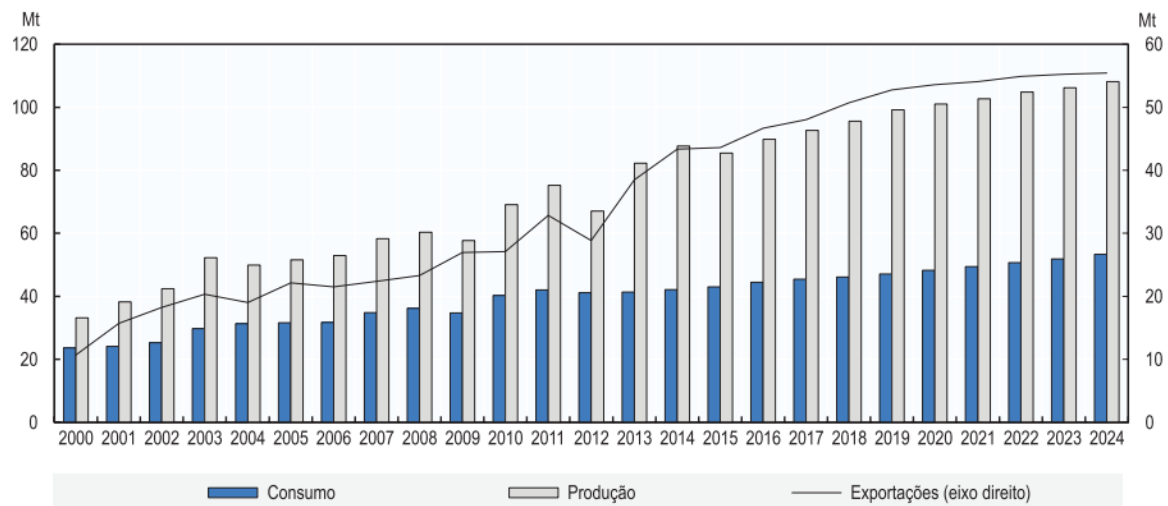


Figura 3 – Produção, consumo e exportações de oleaginosas no Brasil. **Fonte:** ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2015.

Observa-se que o consumo de oleaginosas no Brasil é bem inferior a produção, fazendo com que grande parte dessas culturas vegetais sejam exportadas. Ademais, a projeção de crescimento para produção dessas culturas até 2024 é ainda superior à projeção de consumo, o que justifica o uso dessas oleaginosas para fins energéticos. A Figura 3 ainda evidencia que o Brasil está exportando oleaginosas que poderiam ser utilizadas como matéria-prima para produção do bioquerosene de aviação HEFA. Por outro lado, o Brasil está importando querosene de aviação (Figura 4).

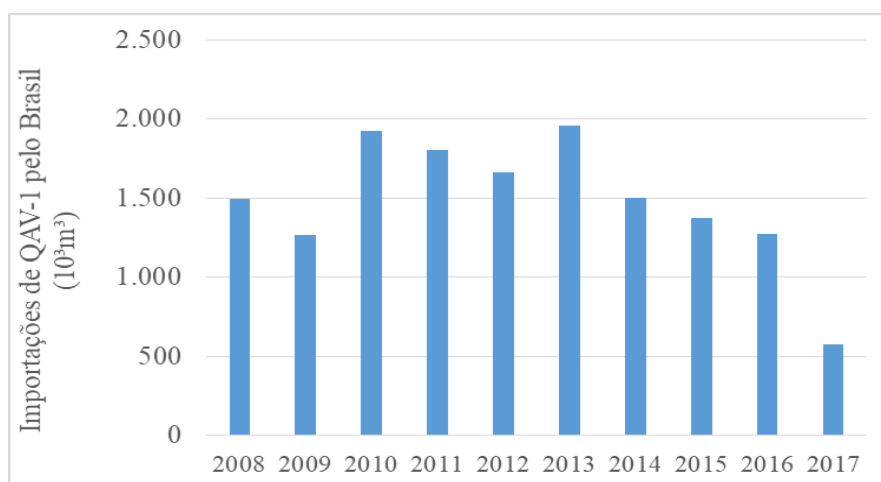


Figura 4 – Importações de querosene de aviação pelo Brasil de 2004 a 2016. **Fonte:** Adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2017.

Ainda que as importações de QAV-1 estejam diminuindo nos últimos anos (Figura 4), ainda temos volumes consideráveis sendo importados pelo Brasil. A produção do bioquerosene de aviação no Brasil a partir do aproveitamento de oleaginosas locais, por sua vez, também poderá contribuir de forma direta para a redução da importação brasileira de querosene de aviação fóssil.

1.3. Objetivos

Diante do exposto, o trabalho apresentado nesta Tese de Doutorado tem, como principal objetivo, estabelecer um *ranking* das oleaginosas potenciais para um programa de produção de bioquerosene de aviação a partir do processo HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) nas diferentes regiões do Brasil.

Para atender o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos serão atendidos: 1. apresentar a atual conjuntura da indústria brasileira de bioquerosene de aviação, incluindo as principais incertezas e recomendações para desenvolvimento do setor; 2. selecionar os critérios-chaves para a escolha de oleaginosas para produção de bioquerosene HEFA; e 3. estruturar a matriz de desempenho, de cada oleaginosa, em relação a todos os critérios selecionados.

1.4. Justificativa

Este trabalho se justifica pela necessidade de atacar o maior gargalo deste mercado, que está relacionado ao custo e a disponibilidade de matérias-primas com alto potencial produtivo.

De forma a enfrentar o gargalo relacionado à matéria-prima para produção de bioquerosene, diversos estudos já foram realizados no mundo. Mupondwa *et al.* (2016) e Wang (2016) avaliaram a viabilidade técnico-econômica para a produção de bioquerosene de óleo de camelina e pinhão-manso, respectivamente. Marrs *et al.* (2016) avaliaram a viabilidade econômica da biomassa florestal para produção de bioquerosene. Ganguly *et al.* (2018) e Lokesh *et al.* (2015) avaliaram, respectivamente, a viabilidade ambiental do uso de biomassa lenhosa e de sementes oleaginosas para bioquerosene a partir da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Michailos (2018) avaliou sob a ótica econômica e ambiental a produção de bioquerosene a partir da cana-de-açúcar. Elmoraghy e Farag (2012), Zhang *et al.* (2015) e Wang *et al.* (2011) discutiram, respectivamente, os aspectos técnicos para a produção de bioquerosene a partir de microalgas, biomassa lignocelulósica e óleo de soja.

Embora vários estudos busquem mitigar o gargalo relacionado às matérias-primas, não há estudos comparando matérias-primas para a produção de bioquerosene a partir de múltiplos aspectos, isto é, a partir da avaliação multicritério, evidenciando o aspecto de ineditismo e originalidade desta Tese de Doutorado. Estudos desta natureza já foram

realizados para a produção de biodiesel em todo o mundo (ZIOLKOWSKA, 2013; KHANG *et al.*, 2016; BLACKSHAW *et al.*, 2011; AHMAD *et al.*, 2015; NWOKOAGBARA *et al.*, 2015; XUE *et al.*, 2013) e para a produção de bioenergia na África (KIBAZOHI; SANGWAN, 2011).

Ademais, o trabalho se justifica pela considerável relevância do tema, já que o estudo proposto faz parte do rol de iniciativas que visam posicionar o Brasil como verdadeiro protagonista mundial no desenvolvimento e no uso de bioquerosene na aviação, contribuindo para o desenvolvimento social, econômico e ambiental, a partir da geração de emprego e renda, desenvolvimento da indústria nacional, além da redução da importação de querosene fóssil e alcance das metas de redução de gases de efeito estufa. Ademais, os resultados obtidos poderão apoiar a cadeia produtiva, as instituições de pesquisa e os agentes governamentais a melhor se organizarem para priorização de ações estratégicas, como pesquisas, investimento em P&D e incentivos para matérias-primas, a partir da identificação das oleaginosas regionais mais promissoras para a produção de bioquerosene de aviação produzido a partir do processo HEFA.

1.4.1. Justificativa para a escolha do processo HEFA

Em todo o globo existem três processos bem definidos para produção de bioquerosene de aviação: a rota termoquímica, química e bioquímica. No Brasil, há cinco tipos de bioquerosene aprovados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), produzidos a partir dessas rotas, conforme será melhor detalhado no item 2.4.1 do capítulo 2).

Dos cinco tipos de bioquerosenes aprovados, no Brasil, apenas o bioquerosene de aviação de iso-parafinas sintetizadas (SIP) é produzido, ainda em escala de demonstração, pela empresa Amyris do Brasil em Brotas, no estado de São Paulo, subsidiária da *Amyris Biotechnologies*, com sede na Califórnia. A matéria-prima utilizada no processo é a cana-de-açúcar (AMYRIS, 2016). Apesar de existir no Brasil uma planta de demonstração do bioquerosene SIP (rota bioquímica), este não é o mais vantajoso em termos de complexidade do processo, rendimentos, maturidade do mercado e viabilidade econômica.

Neuling e Kaltschmitt (2015) avaliaram a complexidade dos processos envolvidos na produção de bioquerosene de aviação e concluíram que o HEFA é o processo menos complexo dentre todos os disponíveis. Isso se deve ao fato de que este processo é a única via de conversão que faz uso do resultado da biossíntese realizada pela natureza durante o crescimento da planta. Isto é, o óleo biossintetizado é transformado em combustível através do hidroprocessamento. Os outros processos começam geralmente com a destruição da molécula orgânica, que em seguida precisa ser re-sintetizada. Neuling e Kaltschmitt (2015) afirmam ainda que o processo HEFA é, dentre os outros processos, àquele capaz de produzir maiores quantidades de bioquerosene por matéria-prima utilizada, isto é, àquele que alcança

os melhores rendimentos, contribuindo também para torná-lo mais maduro no mercado global.

De Jong *et al.* (2015) avaliaram a viabilidade econômica a curto prazo das rotas de produção do bioquerosene de aviação e concluíram que o processo HEFA é a melhor opção a curto prazo devido ao fato de a tecnologia já estar bem desenvolvida em escala comercial e apresentar menores custos. Neuling e Kaltschmitt (2015) avaliaram a viabilidade econômica dos processos e concluíram que incentivos governamentais são necessários em todos os processos, contudo a maior probabilidade de Valor Presente Líquido (VPL) positivo é alcançada na produção de bioquerosene pelo processo HEFA. Produzir um bioquerosene com maior viabilidade econômica é fundamental para a indústria de aviação, já que a demanda pelo serviço aéreo é muito sensível ao custo da tarifa aérea, que por sua vez, é extremamente sensível ao custo do combustível de aviação (RODRIGUES, 2007). Souza *et al.* (2013) avaliaram a elasticidade custo-demanda na aviação comercial brasileira e identificaram que uma variação de 1% no preço das tarifas aéreas pode provocar uma redução de 5,17% na quantidade de passagens demandadas, representando uma possível tendência de aumento no consumo de serviços substitutos.

Vonortas e Papayannakos (2014) indicam que de todos os processamentos citados, aquele mais amplamente estudado e utilizado pelos centros de pesquisas, universidades e empresas no mundo é o hidrocessamento catalítico, base do processo HEFA. Isso se explica pelo fato dele poder ser usado na infraestrutura já existente nas refinarias sem a necessidade de novos investimentos.

Ressalta-se que mesmo não sendo produzido bioquerosene de aviação pelo processo HEFA no Brasil, esta rota possui grande potencial para o alcance de produção comercial, uma vez que tal processo já está consolidado no país. Tal processo é semelhante àquele já praticado no hidrotreamento de diesel nas refinarias de petróleo: o processo de HDT (*Hydrotreating* ou Hidrotreamento), que consiste numa reação catalítica entre o hidrogênio, produzido nas refinarias nas unidades de reforma à vapor, e frações de diesel geradas nas colunas de destilação sob temperaturas e pressões adequadas (ARANDA, 2006). Estas frações de diesel contêm em sua estrutura teores excessivos de enxofre, nitrogênio, oxigênio e aromáticos, que são removidos no processo de hidrotreamento (ARANDA, 2006). O processo HDS (*Hydrodesulfurization*) é caracterizado pela remoção de enxofre destas frações, HDN (*Hydrodenitrogenation*) para remoção de nitrogênio, HDA (*Hydrodearomatization*) para remoção de aromáticos e HDO (*Hydrodeoxygenation*) para remoção de oxigênio.

Assim, o processo HEFA é a melhor rota para produção de bioquerosene de aviação no Brasil tendo em vista as vantagens em relação aos outros processos, a *expertise* brasileira em hidrotreamento e o grande potencial para produção de oleaginosas no país.

1.5. Estruturação dos capítulos

A fim de atingir os objetivos estabelecidos, este estudo encontra-se organizado em 5 capítulos.

O capítulo 1, “**Introdução**”, discute, no item contextualização, o estado da arte do tema. Em seguida, são apresentados os gargalos relacionados às matérias-primas para produção de bioquerosene, bem como os objetivos e a justificativa para o trabalho.

O capítulo 2, “**O mercado brasileiro de bioquerosene de aviação**”, apresenta, de forma detalhada, o cenário atual deste mercado no Brasil, sendo apresentadas e discutidas: a regulação atual do bioquerosene de aviação no Brasil; as ações em desenvolvimento, promovidas pelas partes interessadas e pelo governo, para alavancar a produção e uso do bioquerosene; e ainda as incertezas tecnológicas, comerciais, organizacionais e sociais deste mercado. Por fim, são propostas recomendações práticas para contribuir com o setor e mitigar as incertezas identificadas.

O capítulo 3, “**Análise multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA**”, traz conceitos importantes a respeito da tomada de decisão e apresenta as principais técnicas multicritérios existentes, sendo justificada a escolha dos métodos para a avaliação proposta. Em seguida, são apresentadas as oleaginosas a serem comparadas, bem como os critérios e subcritérios de avaliação e julgamento. Por fim, após construção das matrizes de desempenho das oleaginosas em relação aos múltiplos critérios, são apresentados e discutidos os *rankings* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA em cada uma das regiões do Brasil.

O capítulo 4, “**A pegada de carbono na avaliação multicritério**”, traz conceitos importantes a respeito das emissões de GEE sob a ótica da Análise de Ciclo de Vida (ACV). Além disso, o capítulo revisa os trabalhos publicados referente à ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir das oleaginosas alvo desta Tese de Doutorado e ranqueia as oleaginosas, cujos dados de ACV para produção de bioquerosene HEFA estão amplamente disponíveis na literatura, com base nas mesmas ferramentas multicritérios utilizadas no capítulo anterior. Deste modo, o subcritério “emissões de GEE com base em ACV” e mais os subcritérios avaliados no capítulo 3, são considerados na avaliação.

O capítulo 5, “**Conclusões**”, apresenta as principais conclusões do estudo, limitações e recomendações para futuros trabalhos.

Finalmente, são apresentados os anexos, que complementam esta Tese de Doutorado e as referências bibliográficas consultadas em todos os capítulos.

2. O MERCADO BRASILEIRO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO¹

2.1. Introdução

As energias renováveis são consideradas, por vezes, não competitivas em relação à fóssil (LINS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2017). No entanto, a competitividade não deve ser observada apenas do ponto de vista econômico, mas também do social e ambiental (LINS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2017), já que a inserção de novos biocombustíveis na matriz energética, como o bioquerosene, pode trazer inúmeros benefícios para o Brasil. Dentre eles destaca-se a redução de emissões de GEE, a geração de emprego e renda, a redução de disparidades regionais e o estímulo à pesquisa e à inovação. Além disso, este novo mercado pode trazer oportunidades para a diversificação da matriz energética, para a redução da dependência do combustível de aviação fóssil, e também para o desenvolvimento da indústria nacional. No entanto, existem importantes desafios a serem sanados a fim de que seja alcançada uma base sólida para o mercado de bioquerosene no país.

As dificuldades enfrentadas não são exclusivas do Brasil, o que pode ser evidenciado pelos estudos conduzidos em diferentes regiões do mundo, relacionados ao tema. Connelly *et al.* (2015) identificaram os principais desafios a serem enfrentados pela indústria de bioquerosene, a partir da análise multicritério. Moraes *et al.* (2014) apontaram os principais desafios para a produção sustentável de bioquerosene a partir de açúcar, amido, óleo, lignocelulose e resíduos, a partir da realização de workshops com as partes interessadas. Hari *et al.* (2015) avaliaram as principais rotas, oportunidades e desafios deste mercado com base em revisão da literatura. Gegg *et al.* (2014) estudaram as principais restrições da indústria global de bioquerosene a partir de entrevistas com especialistas europeus e norte-americanos. Smith *et al.* (2017) avaliaram as principais barreiras para a difusão destes biocombustíveis no Noroeste do Pacífico dos EUA, a partir da entrevista com o mercado. Kamali *et al.* (2018) avaliaram os desafios sociais e de governança da cadeia de suprimento do bioquerosene, a partir de revisão de literatura e entrevista com especialistas. No contexto brasileiro, Cortez *et al.* (2015) identificaram as principais barreiras técnico-econômicas e de sustentabilidade do mercado brasileiro de bioquerosene, a partir da realização de workshops com as partes interessadas.

Para enfrentar os desafios, que serão detalhados neste capítulo, e orientar estrategicamente os estudos e investimentos no setor, é necessário identificar as principais incertezas enfrentadas pelo Brasil, identificar o atual cenário regulatório deste mercado e ainda as ações que estão sendo tomadas para mitigação das incertezas.

Identificar o panorama regulatório ajuda a entender como os formuladores de políticas públicas e as partes interessadas estão trabalhando no sentido de mitigar os desafios. Além disso, permite sugerir melhorias na regulação atual, de forma a contribuir com o setor. A

¹ O presente capítulo desta Tese de Doutorado foi publicado como artigo intitulado “Assessing the current scenario of the Brazilian biojet Market” na revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (ANEXO VI).

identificação das ações em andamento permite conhecer, com base no que já está sendo realizado, o quão o Brasil está próximo ou distante de resolver as principais barreiras enfrentadas na produção e uso do bioquerosene.

Assim, este capítulo tem por objetivo: 1. apresentar a regulação atual do bioquerosene de aviação no Brasil, 2. identificar as ações em desenvolvimento para promoção do mercado brasileiro de bioquerosene de aviação, e 3. apresentar e discutir as incertezas tecnológicas, comerciais, organizacionais e sociais deste mercado, com base na análise TCOS (HALL; BACHOR; MATOS, 2014; HALL; MARTIN, 2005; HALL; MATOS; SILVESTRE, 2011), uma ferramenta baseada em Análise de Tecnologia Futura (TFA), como será apresentado na avaliação teórica (item 2.2 deste capítulo). Uma vez que o emergente mercado de bioquerosene se enquadra na definição de inovação (SILVESTRE, 2015), a avaliação TCOS foi utilizada neste capítulo como uma diretriz para avaliação das incertezas enfrentadas.

“Inovação: introdução de um novo bem, um novo método de produção, uma nova forma de organização, a abertura de um novo mercado e a utilização de uma nova fonte de abastecimento de matérias-primas ou de produtos semiacabados” (SILVESTRE, 2015).

A avaliação proposta neste capítulo complementa o estudo de Cortez *et al.* (2015), que avaliaram as principais barreiras técnico-econômicas e de sustentabilidade do mercado brasileiro de bioquerosene, mas não discutiram as principais iniciativas em andamento para incentivar a produção e o uso deste biocombustível no Brasil. Além disso, os autores não apresentaram o atual cenário regulatório brasileiro e os aspectos organizacionais da tecnologia de produção de bioquerosene, que envolve a garantia da proteção intelectual.

Portanto, a avaliação desses importantes aspectos no presente capítulo permitirá uma melhor compreensão do atual mercado brasileiro de bioquerosene, sendo possível propor recomendações estratégicas para que a aviação mais sustentável decole no país. Além disso, a avaliação proposta permitirá o compartilhamento da experiência brasileira com outros países, ajudando-os a estabelecer uma base sólida para uma nova indústria de biocombustíveis.

2.2. Avaliação teórica: a análise TCOS

O mercado está cada vez mais competitivo e globalizado, exigindo qualidade e eficiência de produtos, serviços e processos (SHARIF, 2012). Como resultado deste mercado competitivo, a inovação tecnológica tornou-se parâmetro central para o desenvolvimento econômico e para as políticas de governo (SHARIF, 2012), que precisam ser baseadas em inovação aplicável, viável e ainda bem aceita pelo mercado e pela sociedade (GORT; KLEPPER, 1982; WU; WEE; LEE, 2016). Nesse sentido, a Análise de Tecnologia Futura (TFA) compreende um conjunto de ferramentas metodológicas que buscam analisar a inovação e seu impacto futuro sob diferentes perspectivas (HAEGEMAN *et al.*, 2013). Portanto, essas metodologias podem ser utilizadas para avaliar as incertezas envolvidas na inovação, apoiando a tomada de decisões estratégicas (VECCHIATO, 2012).

Os métodos da TFA agrupam-se em nove famílias (CIARLI; COAD; RAFOLS, 2016; FIRAT; WOON; MADNICK, 2008; PHILLIPS, HEIDRICK; POTTER, 2007):

- 1) Métodos de Criatividade – interligam a inovação à criatividade (SCAPOLO; PORTER, 2008). Assim, os métodos dessa família pressupõem que novos produtos precisam ser perspicazes para se tornarem competitivos no mercado cada vez mais exigente. Principais métodos: *Brainstorming*, *Workshops* criativos, análise de ficção científica e teoria da resolução inventiva de problemas.
- 2) Métodos de Opinião de Especialistas – baseiam-se na experiência dos profissionais em relação a um determinado tema (KRUEGER *et al.*, 2012). A partir dessas ferramentas, é possível explorar os futuros mais interessantes e os principais impedimentos para alcançá-los com base na experiência (PHILLIPS, HEIDRICK; POTTER, 2007). Principais métodos: Delphi (pesquisa interativa), grupos focais (painéis e *workshops*), entrevistas e técnicas participativas
- 3) Análise de Tendências – baseiam-se na hipótese de que os padrões do passado se mantêm no futuro, fazendo uso de técnicas para extrapolar as séries temporais (SCAPOLO; PORTER, 2008). A partir da análise de tendências é possível descartar cenários inconsistentes com base em avaliação de tendência lógica (CIARLI; COAD; RAFOLS; 2016). Principais métodos: ciclo prolongado, análise de precursores, extrapolação de tendências (montagem e projeção de curva de crescimento) e análise de tendência de impacto.
- 4) Métodos de Monitoramento e Inteligência – baseiam-se na aquisição de informações referentes às escolhas de cada indivíduo (CIARLI; COAD; RAFOLS, 2016). Ou seja, são ferramentas de aquisição de dados que se correlacionam com os métodos prospectivos (CIARLI; COAD; RAFOLS, 2016) buscando avaliar e interpretar uma compilação de informações, como pesquisas científicas e patentes. A partir dessa avaliação, os métodos de monitoramento e inteligência podem ser associados ao *benchmarking* para propor mudanças nos planos futuros (PHILLIPS, HEIDRICK; POTTER, 2007). Principais métodos: bibliometria e monitoramento.
- 5) Métodos estatísticos – baseiam-se na identificação e medição do efeito de uma ou mais variáveis independentes no comportamento futuro de uma variável dependente (CIARLI; COAD; RAFOLS, 2016). Principais métodos: análise de correlação e análise de risco.
- 6) Cenários – Estes métodos são amplamente utilizados em abordagens contemporâneas para auxiliar a avaliação de incertezas envolvidas em ambientes de negócios (SCAPOLO; PORTER, 2008). A partir dos cenários é possível avaliar as tendências dominantes e as possibilidades de eventos

disruptivos no ambiente em que estão localizadas as organizações. Principais métodos: relaxamento de anomalia de campo e simulação de cenários.

- 7) Modelagem e Simulação – baseiam-se na compreensão dos fenômenos a partir da criação de um meio artificial que tenta imitar um ambiente real (SCAPOLO; PORTER, 2008). A modelagem e a simulação permitem prever mudanças tecnológicas e econômicas, auxiliando na avaliação de sistemas e permitindo a proposição de soluções e procedimentos (PHILLIPS, HEIDRICK; POTTER, 2007). Principais métodos: análise de impacto cruzado, modelagem por difusão e simulação de sistemas.
- 8) Métodos Descritivos e Matrizes – Esta família de métodos faz uso da experiência de especialistas, de séries de dados, da compreensão de modelagem e de tecnologias de informação para melhorar a compreensão do futuro (SCAPOLO; PORTER, 2008). Principais métodos: análise morfológica, análise organizacional e avaliação de impacto social.
- 9) Métodos de Avaliação e Decisão – baseiam-se na redução das incertezas do processo e no auxílio à tomada de decisão estratégica (CIARLI; COAD; RAFOLS, 2016). Principais métodos: método de análise hierárquica (AHP), análise de custo-benefício e análise de requisitos.

Para melhorar a composição de diferentes perspectivas, auxiliando a previsão futura (SCAPOLO; PORTER, 2008), é interessante a combinação entre os métodos supracitados. Phillips, Heidrick e Potter (2007) afirmam que as melhores respostas da TFA provêm de uma agregação de métodos. Nesse sentido, a análise TCOS (HALL; BACHOR; MATOS, 2014; HALL; MARTIN, 2005; HALL *et al.*, 2011) mescla características da “Análise de Tendências”, “Métodos de Monitoramento e Inteligência”, “Cenários” e ainda “Métodos de Avaliação e Decisão”, permitindo a avaliação das incertezas envolvidas em uma inovação. A partir desta ferramenta é possível ainda propor recomendações estratégicas para o mercado e formuladores de políticas públicas, a fim de garantir o sucesso futuro da inovação.

A análise TCOS funciona como um guia para avaliação das incertezas da inovação, consistindo basicamente em responder as questões propostas por Hall e Martin (2005):

- 1) Incertezas tecnológicas - Há viabilidade tecnológica? A tecnologia envolvida na inovação alcança resultados comparáveis às tecnologias existentes?
- 2) Incertezas comerciais - Há viabilidade comercial? O novo produto possui um preço competitivo quando comparado ao seu substituto?
- 3) Incertezas Organizacionais - Há mecanismo de proteção da tecnologia envolvida nesta inovação?
- 4) Incertezas sociais - Há legitimidade sócio-política? Como a sociedade é afetada por essa inovação?

Este debate é fundamental para avaliar as barreiras que devem ser superadas para garantir o sucesso de uma inovação (HALL; BACHOR; MATOS, 2014; HALL; MARTIN, 2005; HALL; MATOS; SILVESTRE, 2011). O processo de superação dessas incertezas é chamado de legitimação, possuindo as dimensões cognitiva e sócio-política (HALL; BACHOR; MATOS, 2014; SILVESTRE, 2015; ALDRICH; FIOL, 1994). A legitimidade cognitiva é desenvolvida através do conhecimento técnico e da análise do mercado (ALDRICH; FIOL, 1994), cobrindo três tipos de incertezas: tecnológica, comercial e organizacional (HALL; BACHOR; MATOS, 2014). A legitimidade sócio-política, por outro lado, é desenvolvida pela compreensão do valor que a sociedade coloca em uma invenção, abrangendo a incerteza social (HALL; BACHOR; MATOS, 2014). Para Hall, Bachor e Matos (2014), uma inovação tem legitimidade quando há coexistência de legitimidade cognitiva e sócio-política, assumindo que a viabilidade tecnológica, por si só, não é garantia para o sucesso de uma invenção. Uma nova invenção deve ser estratégica para garantir lucros e garantir a legitimidade sócio-política.

A partir da análise TCOS, Silvestre (2015) avaliou como o Brasil conseguiu tornar-se líder no mercado de petróleo, sem negligenciar preocupações ambientais. Melander e Tell (2014) avaliaram as incertezas envolvidas no desenvolvimento de uma unidade de armazenamento de energia. Hall, Matos e Silvestre (2011) avaliaram como as incertezas na agricultura brasileira moldaram a cadeia de biocombustíveis no país. Hall, Matos e Martin (2014) discutiram os desafios enfrentados pela Base da Pirâmide (BOP), grupos socioeconômicos empobrecidos de regiões subdesenvolvidas com baixa participação econômica.

2.3. Procedimentos metodológicos

A avaliação do cenário atual do mercado de bioquerosene, tratada neste capítulo, foi baseada em três etapas: 1. revisão de atos regulatórios, 2. revisão bibliográfica e 3. Análise TCOS.

A revisão dos atos regulatórios foi aplicada para apresentar a atual regulação brasileira do bioquerosene de aviação. A revisão de literatura foi aplicada para identificar as ações criadas pelos atores da cadeia e pelo governo brasileiro a fim de promover o mercado brasileiro de bioquerosene de aviação. Ademais, a revisão da literatura também foi utilizada para identificar as incertezas envolvidas neste mercado emergente. Finalmente, a análise TCOS foi aplicada para orientar a discussão a respeito das principais incertezas identificadas.

2.3.1. Revisão de atos regulatórios

Nesta etapa, uma revisão da regulamentação brasileira referente ao mercado de bioquerosene foi realizada. A busca foi realizada pelo sistema eletrônico de legislação disponível no site da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E

BIOCOMBUSTÍVEIS, 2014). O sistema eletrônico disponibiliza todos os atos que regulam as atividades da indústria brasileira de petróleo, gás natural e biocombustível, incluindo o bioquerosene. A coleção fornece todos os regulamentos elaborados pela ANP desde 1998, organizados em resoluções, instruções normativas, autorizações e despachos. Além disso, reúne atos normativos de diversos ministérios e órgãos federais cujas atividades estão diretamente relacionadas à indústria de petróleo, gás natural e biocombustíveis.

Na busca, palavras-chave no idioma português foram utilizadas por se tratar de um sistema regulatório brasileiro. A busca foi realizada por meio das palavras-chave: “bioquerosene” e “querosene de aviação alternativo” e o processo de revisão consistiu na identificação dos atos normativos contendo definições e regras importantes em relação à produção, consumo, distribuição e qualidade do bioquerosene.

2.3.2. Revisão da literatura

As ações em desenvolvimento no Brasil foram identificadas a partir da busca de estudos publicados em periódicos revisados por pares nos últimos quinze anos (de janeiro de 2003 a janeiro de 2018) e no site da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2018), que fornece uma ferramenta para selecionar, por país, as principais iniciativas para a promoção do bioquerosene de aviação. Além disso, os atos regulatórios que visam diretamente o incentivo à produção e uso de bioquerosene, identificados no item anterior, também foram considerados. A busca por estudos científicos foi realizada pela ferramenta fornecida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2018), que considera, entre outras, as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Para tornar a revisão mais eficiente, foi considerada uma pesquisa avançada usando as conjunções “AND” e “OR”. O termo “*biojet*”, comumente traduzido para bioquerosene, não é um termo consensual na literatura. Diferentes estudos utilizaram vários termos, como “*biokerosene*”, “*renewable aviation fuel*”, “*alternative aviation fuel*” e outros. Além disso, os termos “*initiative*” e “*action*” podem ser usados para descrever ações estruturadas por atores da cadeia e governo a fim de desenvolver o mercado de bioquerosene. Desta forma, as seguintes palavras-chave foram consideradas: (*biojet* OR “*aviation biofuel*” OR “*renewable jet fuel*” OR “*aviation renewable fuel*” OR “*renewable aviation fuel*” OR *biokerosene* OR “*alternative aviation fuel*”) AND *brazil** AND (*initiative** OR *action**). O asterisco (*) foi usado em “*brazil*”, “*initiative*”, e “*action*” porque permite a busca por todas as variações do termo. Assim, os termos “*brazil*”, “*brazilian*” e “*brazilians*” foram considerados. O mesmo raciocínio se aplica a “*initiative*” e “*action*”. A partir da busca, 4 estudos científicos citaram ações consolidadas por atores da cadeia ou governo para promover o mercado de bioquerosene.

As incertezas envolvidas neste mercado foram identificadas com base na pesquisa de estudos publicados em periódicos revisados por pares nos últimos quinze anos (janeiro de 2003 a janeiro de 2018), também a partir do portal CAPES. As seguintes palavras-chaves

foram consideradas: (*biojet* OR “*aviation biofuel*” OR “*renewable jet fuel*” OR “*aviation renewable fuel*” OR “*renewable aviation fuel*” OR *biokerosene* OR “*alternative aviation fuel*”) AND (*brazil**) AND (*challenges* OR *barrier* OR *uncertain**). A partir da busca, 93 artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares foram encontrados. Dos 93 estudos, 21 foram selecionados por apresentarem pelo menos uma barreira enfrentada pelo mercado brasileiro de bioquerosene. Estudos que apresentaram barreiras internacionais ou termos apresentados referentes à incerteza em um contexto diferente do mercado de bioquerosene não foram selecionados. As incertezas identificadas foram alocadas em 4 grupos de incertezas: tecnológica, comercial, organizacional e social, de acordo com a análise TCOS.

Para a análise das incertezas organizacionais, foi realizado um levantamento de patentes depositadas no Brasil e no mundo nos últimos quinze anos (de janeiro de 2003 a janeiro de 2018). No Brasil, as patentes depositadas foram coletadas no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) (INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL, 2018), com 6 patentes encontradas. A pesquisa de patentes internacionais foi conduzida pela base da USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) dos Estados Unidos (*UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE*, 2018) com 137 patentes encontradas. As seguintes palavras-chaves foram utilizadas: *biojet* OR “*aviation biofuel*” OR “*renewable jet fuel*” OR “*aviation renewable fuel*” OR “*renewable aviation fuel*” OR *biokerosene* OR “*alternative aviation fuel*” OR “*alternative jet fuel*” OR “*alternative kerosene*”).

2.3.3. Análise TCOS

A avaliação sobre as principais incertezas do mercado brasileiro de bioquerosene foi realizada usando a análise TCOS (HALL; BACHOR; MATOS, 2014; HALL; MARTIN, 2005; HALL *et al.*, 2011), já que o bioquerosene é considerado uma inovação pela definição de Silvestre (2015). Assim, a análise consistiu basicamente em responder as questões propostas por Hall e Martin (2005), citadas no item 2.2 deste capítulo.

2.4. Resultados e Discussão

A regulação do bioquerosene será apresentada no item 2.4.1 deste capítulo. Os resultados referentes as ações em desenvolvimento para promover o mercado brasileiro de bioquerosene serão apresentados no item 2.4.2. Por fim, as principais incertezas identificadas na revisão da literatura serão apresentadas e discutidas a partir da análise TCOS no item 2.4.3. No mesmo item, serão propostas recomendações para remediar as incertezas identificadas.

2.4.1. Regulamentação brasileira do bioquerosene de aviação

Os principais atos regulatórios relacionados ao mercado de bioquerosene no país, identificados no sistema de legislação da ANP, são apresentados na Tabela 1. A maioria dos regulamentos é da própria ANP, já que ela é a agência responsável por regulamentar e supervisionar as atividades econômicas relacionadas à produção, importação, exportação, transferência, transporte, armazenamento, comercialização, distribuição e qualidade de combustíveis, incluindo o bioquerosene (BRASIL, 1997). Tal atribuição está prevista na Lei nº 9.478, de 1997 (BRASIL, 1997).

Tabela 1 – Principais atos regulatórios relacionados ao mercado brasileiro de bioquerosene de aviação.

Atos regulatórios	Descrição	Referência
Lei nº 9.478, de 1997	Prevê a política energética nacional e as atividades relacionadas ao petróleo. Além disso, estabelece o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a ANP	BRASIL, 1997
Resolução ANP nº 17, de 2006	Estabelece as regras para a distribuição de combustíveis para aviação no Brasil	BRASIL, 2006
Resolução ANP nº 37, de 2009	Estabelece a especificação do querosene de aviação fóssil a ser usado puro ou em mistura com querosene de aviação alternativo	BRASIL, 2009
Lei nº 12.490, de 2011	Inclui os biocombustíveis na Lei nº 9.478, de 1997, e dá outras providências em relação à indústria do petróleo.	BRASIL, 2011a
Projeto de Lei nº 506, de 2013	Prevê a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Bioquerosene, que visa incentivar a pesquisa e alcançar a sustentabilidade da aviação brasileira.	BRASIL, 2013
Resolução ANP nº 63, de 2014	Estabelece a especificação dos querosenes de aviação alternativos e suas misturas com o querosene fóssil	BRASIL, 2014
Lei nº 13.576, de 2017	Cria a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) que visa estimular a produção e uso de biocombustíveis no país, com base na sustentabilidade, competitividade e segurança.	BRASIL, 2017

No Brasil, o bioquerosene faz parte de um grupo de combustíveis definido como querosene de aviação alternativo, conforme Resolução ANP nº 63, de 2014 (BRASIL, 2014):

“Querosene de Aviação Alternativo: combustível derivado de fontes alternativas, como biomassa, carvão e gás natural, destinado ao consumo em turbinas de aeronaves, produzido pelos processos que atendam o estabelecido no Regulamento Técnico, parte integrante da Resolução” (BRASIL, 2014).

O querosene de aviação alternativo pode ser derivado de uma ampla variedade de fontes, como carvão, gás, óleo vegetal, gorduras animais, etc. (NEULING; KALTSCHMITT, 2015). No entanto, somente os derivados de biomassa são considerados biocombustíveis de aviação pela Lei nº 12.490, de 2011 (BRASIL, 2011a). Isso porque a sustentabilidade dos combustíveis de aviação está diretamente relacionada à matéria-prima utilizada (LÜDEKE- FREUND *et al.*, 2012; GERMAN *et al.*, 2011), e não necessariamente um querosene de aviação alternativo é mais sustentável do que o combustível de aviação fóssil convencional. Essa consideração, trazida pela regulamentação brasileira, é um passo importante para o reconhecimento de que nem todos os combustíveis alternativos para aviação são biocombustíveis. No entanto, destaca-se que o uso de matérias-primas renováveis não garante que o combustível de aviação produzido seja sustentável, já que o uso de matérias-primas produzidas sem considerar importantes critérios, como os sociais (RAFIAANI *et al.*, 2018; KOIZUMI, 2014), os ambientais (MORAES *et al.*, 2014; CHANG; HWANG; WU, 2017) e os econômicos (JAEGER; EGELKRAUT, 2011; FRITSCH; IRIARTE, 2014) descaracterizam o aspecto sustentável do produto.

No Brasil, para aprovação de um novo querosene de aviação alternativo, é necessário primeiramente de aprovação pela ASTM *International*, que publicou um guia de qualificação e certificação de querosenes de aviação alternativos, de forma a simplificar o processo de aprovação do uso de novos combustíveis de aviação. A norma é a ASTM D4054 (ASTM INTERNATIONAL, 2017).

Em termos de qualidade, qualquer querosene de aviação alternativo, incluindo o bioquerosene, deve cumprir os mesmos padrões de qualidade, segurança e desempenho do querosene de aviação convencional, devendo ter propriedades que o caracterize como “*drop-in*”. Isto é, deve ser completamente intercambiável com o querosene fóssil, de modo que não sejam necessárias adaptações nos motores das aeronaves atuais (CANTARELLA *et al.*, 2015).

Atualmente, cinco querosenes de aviação alternativos são aprovados pela ASTM, e conseqüentemente pelo Brasil (ASTM, 2018; BRASIL, 2014): o querosene parafínico sintetizado por *Fischer-Tropsch* (FT-SPK) e o *Fischer-Tropsch* com aromáticos (FT-SPK/A), o querosene parafínico sintetizado de ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA), além das iso-parafinas sintetizadas (SIP) e o álcool para combustíveis de aviação (ATJ-SPK).

O FT-SPK, FT-SKA, ATJ e HEFA podem ser misturados ao querosene de aviação fóssil até o teor de 50% em volume. Já o SIP pode ser misturado ao querosene de aviação fóssil até o teor de 10%. O FT-SKA e ATJ-SPK foram aprovados no final do ano de 2016 e a ANP está em fase de inclusão destes combustíveis no regulamento brasileiro.

Outros querosenes de aviação alternativos estão sendo avaliados pela ASTM, mas ainda não foram aprovados: *Catalytic hydrothermolysis* (CH), combustível produzido a partir

do hidroprocessamento de óleos vegetais e gorduras animais, sem a adição de combustível convencional na mistura final; *Hydroprocessed Depolymerized Cellulosic Jet* (HDCJ), produzido a partir da pirólise e craqueamento catalítico de matérias-primas lignocelulósicas para serem utilizados na proporção de 30% com o combustível fóssil; e o *Hydro-Deoxygenated Synthesized Kerosene* (HDO-SK), produzido a partir de matéria-prima amilácea, sacarínea ou lignocelulósica através de pirólise seguida de hidrotreatamento para ser utilizado na proporção de até 50% com o querosene fóssil (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2016).

A Resolução ANP nº 63, de 5 dezembro de 2014 (BRASIL, 2014) apresenta a tabela de especificação de cada um dos querosenes de aviação alternativos aprovados. A mistura composta por querosenes de aviação alternativos e querosene de aviação fóssil é definida pela Resolução ANP nº 63, de 5 dezembro de 2014, como:

“Querosene de Aviação B-X: combustível composto de um único tipo de Querosene de Aviação Alternativo, conforme especificação da ANP, misturado ao Querosene de Aviação (QAV-1), no qual X representa a percentagem em volume de Querosene de Aviação Alternativo na mistura, denominado internacionalmente JET B” (BRASIL, 2014, p. 88).

Após a mistura, o Querosene de Aviação B-X também deve atender todos os parâmetros exigidos para o QAV-1, além dos parâmetros complementares: teor de aromáticos, destilação para 10, 50 e 90% de volume recuperado, lubrificidade e viscosidade a -40°C (BRASIL, 2014). Em termos de qualidade no abastecimento, a ANP (BRASIL, 2014) apresenta a sequência de operações para garantia da qualidade e rastreabilidade do QAV B-X:

- 1) O produtor de QAV-1 e o distribuidor de combustíveis de aviação que formularem o QAV B-X devem certificar o produto e indicar no Certificado da Qualidade (documento da qualidade que possui resultado de todos os itens exigidos na especificação do produto) o teor de querosene de aviação alternativo;
- 2) Quando o QAV B-X for formulado pelo produtor de QAV-1, o distribuidor emite o Boletim de Conformidade (documento da qualidade que contém, no mínimo, os resultados dos parâmetros: aspecto, cor, água não dissolvida, massa específica, destilação, goma atual, ponto de fulgor, ponto de congelamento, índice de separação de água e corrosividade ao cobre). Tal documento deve indicar o número do Certificado da Qualidade do QAV B-X;
- 3) O Revendedor de Combustíveis de Aviação, por sua vez, emite o Registro de Análise da Qualidade (documento da qualidade que contém, no mínimo, os resultados dos parâmetros: aspecto, cor, água não dissolvida e massa específica).

- 4) A documentação fiscal referente às operações de comercialização da mistura deve ser acompanhada de cópia do Certificado da Qualidade, Boletim de Conformidade e Registro de Análise da Qualidade, conforme o caso.

Mesmo com todo o controle de rastreabilidade e qualidade definidos pela ANP, após a mistura, não há como verificar a presença do querosene de aviação alternativo na mistura com QAV fóssil, uma vez que os dois combustíveis possuem composição química equivalente, não havendo ainda métodos normatizados para esta diferenciação. Assim, após a mistura, o produto que segue para os aeroportos continua sendo tratado como QAV-1.

No país, somente é permitida a importação de combustíveis puros, não sendo permitida a importação do Querosene de Aviação BX, mistura de QAV-1 com QAV alternativo já formulada (BRASIL, 2014). Dessa forma, para melhor controle de volumes e para fins tributários, a formulação da mistura somente pode ser realizada após a sua internalização, exclusivamente por produtores de QAV-1 ou distribuidores de combustíveis de aviação autorizados pela ANP (BRASIL, 2014).

Por fim, dois atos normativos identificados nos resultados desta revisão (Tabela 1) não foram detalhados neste item: Projeto de Lei nº 506, de 2013 (BRASIL, 2013), e Lei nº 13.576, de 2017 (BRASIL, 2017). Essas regulamentações tratam, em suma, de medidas regulatórias para promover a indústria de bioquerosene no Brasil. Por esta razão, eles serão detalhados no item a seguir.

2.4.2. Ações brasileiras para promoção da produção e uso do bioquerosene

A partir da busca de estudos publicados em periódicos revisados por pares, 4 estudos científicos citaram a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA). Outras ações consolidadas por atores da cadeia ou governo não foram identificadas na busca de estudos científicos. As iniciativas brasileiras citadas pela ICAO foram: Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA) e Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB). Esta última também possui operações regionais: a Plataforma Mineira, Pernambucana e Gaúcha de bioquerosene. Por fim, os seguintes atos normativos apresentados na Tabela 1: Lei nº 13.576, de 2017 (BRASIL, 2017) e Projeto de Lei nº 506, de 2003 (BRASIL, 2003), também foram consideradas neste item por serem regulamentações que buscam incentivar a produção e uso de bioquerosene no Brasil. A seguir, as ações serão detalhadas.

2.4.2.1. Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA)

Em 2010, as companhias aéreas, empresas de pesquisa de biocombustíveis, produtores de biomassa e fabricantes de motores aeronáuticos criaram a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA) (ABRABA, 2011, CORTEZ *et al.*, 2015; CREMONEZ *et al.*, 2015b; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015). O objetivo da aliança é promover a segurança do suprimento e a eventual competitividade do bioquerosene com o

querosene de aviação fóssil. A aliança espera posicionar o Brasil como líder nessa tecnologia, assim como é líder na produção de biocombustíveis terrestres.

A ABRABA tem foco na promoção de iniciativas públicas e privadas que buscam o desenvolvimento, a certificação e a produção comercial de bioquerosene sustentável. O objetivo também é obter biocombustíveis com níveis equivalentes de qualidade, segurança de uso, custo e capacidade de produção adequada, em relação ao combustível de aviação fóssil (ABRABA, 2011).

De acordo com a ABRABA, o envolvimento do Brasil em projetos de desenvolvimento de bioquerosene capacitará agricultores, técnicos e a indústria em geral para criação de uma base tecnológica consistente. A ABRABA cita os benefícios que o estabelecimento de uma política para o futuro da aviação traria para o país (ABRABA, 2011): 1. promover o desenvolvimento tecnológico de universidades, agências reguladoras e organizações privadas, 2. engajar o setor agrícola e instituições de pesquisa na busca por material genético de alta produtividade e cultivos agro energéticos adequados; 3. agregar valor à biomassa produzida no país; 4. avaliar os impactos do uso sustentável de biocombustíveis na aviação; e 5. Garantir segurança e independência energética para a aviação de defesa.

2.4.2.2. Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB)

Em junho de 2012, a União Brasileira do Biodiesel e do Bioquerosene (Ubrario) lançou, no âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, a Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB), que contou com o apoio da Boeing, Petrobras Distribuidora (BR Aviation), AirBP (unidade de distribuição de combustíveis para aviação da BP), BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) e Curcas (empresa especializada no desenvolvimento de projetos de energia renovável). A proposta é a discussão de uma política de incentivo ao uso de bioquerosene de aviação, afirmando a importância socioeconômica e ambiental da inserção dos biocombustíveis não somente no transporte terrestre, mas também no aéreo (UBRABIO, 2012).

A proposta também visa formar uma cadeia integrada de valor “do campo à asa” e preencher todas as lacunas identificadas dentro do setor. A plataforma prevê o uso regional de matérias-primas e busca integrar a agricultura familiar ao agronegócio. Desta forma, a melhor matéria-prima para o bioquerosene será considerada aquela que garantir o maior desenvolvimento regional. Outro ponto importante é o investimento contínuo em pesquisa, desenvolvimento e inovação nos processos produtivos e logística de distribuição de biocombustíveis (UBRABIO, 2012). Com base na biodiversidade brasileira, disponibilidade territorial, clima e trabalho, a Plataforma aborda o uso de várias cadeias de fornecimento de matérias-primas, como cana-de-açúcar, pinhão-manso, camelina, óleo de cozinha usado, macaúba, algas, babaçu, sebo e muitas outras matérias-primas regionais (UBRABIO, 2012).

2.4.2.3. Plataforma Mineira, Pernambucana e Gaúcha de Bioquerosene

Em junho de 2014, o Governo de Minas Gerais lançou a Plataforma Mineira de Bioquerosene, em parceria com instituições de pesquisa, universidades, produtores de matérias-primas sustentáveis, fornecedores de tecnologia, *atores da cadeia* em logística e processos industriais, companhias aéreas, entre outros. A Plataforma Mineira de Bioquerosene está integrada à Plataforma Brasileira de Bioquerosene, cooperando para o objetivo de produzir combustível de baixo carbono e produtos renováveis competitivos em relação aos combustíveis fósseis e reduzir as emissões de GEE provenientes do setor de aviação, ao mesmo tempo em que promove o desenvolvimento regional sustentável (MINAS GERAIS, 2015).

Os principais eixos de atuação da Plataforma Mineira de Bioquerosene são (MINAS, GERAIS): logística, infraestrutura, certificação e P&D com foco em matérias-primas com potencial bioenergético, como a macaúba, amparada pela Lei nº 19.485, de 2011 (MINAS GERAIS, 2015).

Em 2015, foram criadas duas Plataformas no mesmo molde da Plataforma Mineira de Bioquerosene: a Pernambucana e a Gaúcha de Bioquerosene, que buscam o desenvolvimento de pesquisas para viabilização de novas matérias-primas para produção de combustíveis de aviação menos agressivos ao meio ambiente. A plataforma gaúcha tem como base a utilização da soja e do farelo de soja como matérias-primas, já a pernambucana baseia-se na cana-de-açúcar e está incentivando a produção familiar de outras matérias-primas utilizadas no processo de refino do bioquerosene de aviação, como a mamona e a macaúba (FIEP, 2015).

2.4.2.4. Programa Nacional de Produção e Uso do Bioquerosene (PL 506/2013)

Em 2013, o ex-senador Eduardo Braga propôs o Projeto de Lei (PL 506/2013), que cria o Programa Nacional do Bioquerosene, nos moldes já estabelecidos para o biodiesel, para incentivar a pesquisa e a produção de energia à base de biomassas que não concorram com a produção de alimentos, voltados para a sustentabilidade da aviação brasileira (BRASIL, 2013).

Segundo o Projeto de Lei, a pesquisa, o fomento, a produção, a comercialização e o uso energético do bioquerosene devem ser incentivados mediante a ampliação das dotações de recursos da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – Cide; destinação de recursos de agências e bancos de fomento federais para projetos nessa área; e estabelecimento, pelo governo federal, de incentivos fiscais à pesquisa, fomento, produção, comercialização e uso de bioquerosene produzido a partir do emprego de biomassas (BRASIL, 2013).

Para criação do PL, foram considerados os seguintes aspectos: o estabelecimento de uma política clara com vistas ao futuro da sustentabilidade ambiental da aviação brasileira; promoção e desenvolvimento tecnológico com a participação das universidades, agências

reguladoras e empresas privadas; inserção da indústria aeronáutica nacional no mercado de bioquerosene de aviação; e avaliação dos impactos da utilização desses biocombustíveis na aviação (BRASIL, 2013).

Destaca-se que o Projeto de Lei 506/2013 ainda não foi aprovado e encontra-se em tramitação no senado. O Projeto de Lei já foi aprovado pela CMA - Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle e encontra-se, atualmente, na CCJ - Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania.

2.4.2.5. Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio (Lei nº 13.576, de 2017)

Para estimular a produção de biocombustíveis no Brasil, o governo brasileiro criou, em dezembro de 2016, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que visa a expansão de biocombustíveis baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social (BRASIL, 2017). O RenovaBio se propõe a construir diretrizes, ações e medidas para os biocombustíveis, de curto, médio e longo prazo, categorizadas em quatro eixos estratégicos: papel dos biocombustíveis na matriz energética; equilíbrio econômico e financeiro; regras de comercialização; e novos biocombustíveis, como o bioquerosene de aviação (BRASIL, 2017).

O programa do governo culminou com a publicação da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, que estabeleceu o RenovaBio como parte integrante da política energética do país (BRASIL, 2017). Os principais objetivos da política são: a) contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris; b) contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida; c) promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e d) contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.

Como ferramenta para atingir os objetivos propostos, o governo estabelecerá metas nacionais de redução de emissões para a matriz de combustíveis, definidas ao longo de um período de 10 anos. A meta definida pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a priori, é reduzir as emissões de GEE em 10,1% na matriz de combustíveis até 2028 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). A meta nacional, que foi baseada no aumento da produção e consumo de biocombustíveis no Brasil, será dividida em metas individuais anuais para distribuidores de combustível, conforme sua participação no mercado de combustíveis fósseis. Outro instrumento será a certificação da produção de biocombustíveis, atribuindo-se diferentes notas a cada produtor, em quantidade inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido. A nota refletirá a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de quantidade específica de gases de efeito estufa em relação ao seu substituto fóssil (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017). A ligação desses dois instrumentos se dará com a criação do CBIO (Crédito de Descarbonização por

Biocombustíveis), um ativo financeiro que será negociado em bolsa, emitido pelo produtor de biocombustível, a partir da comercialização (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017). Os distribuidores de combustível cumprirão a meta demonstrando a propriedade dos CBios em seu portfólio.

O trabalho que está sendo desenvolvido pelo Brasil no âmbito do RenovaBio, que também ambiciona contribuir com o compromisso brasileiro firmado por meio da NDC, mostra o compromisso brasileiro para redução da larga parcela de contribuição nas emissões de GEE, que resulta da produção e uso de energia no Brasil.

Essa iniciativa, apesar de cobrir todos os biocombustíveis produzidos no país, é uma das ações com maior efeito prático no desenvolvimento do mercado de bioquerosene no país. A partir de 2019, a comercialização de biocombustível que efetivamente reduz a pegada de carbono será incentivada no país, abrindo uma série de oportunidades de investimento para este biocombustível.

2.4.2.6. Resumo das ações brasileiras para promoção mercado de bioquerosene

As ações avaliadas buscam, em geral, promover o desenvolvimento sustentável do mercado de bioquerosene. A preocupação ambiental está ligada, acima de tudo, ao alcance dos objetivos internacionais estabelecidos, bem como aos objetivos firmados pelo Brasil para reduzir as emissões de GEE. Todas as ações apresentadas possuem valor para o desenvolvimento da indústria aeronáutica.

As iniciativas de atores da cadeia, como ABRABA, PBB e plataformas regionais, são fundamentais para melhorar a interação entre os diferentes elos da cadeia produtiva. Essa interação é benéfica para o desenvolvimento conjunto de novas rotas e novas matérias-primas para a produção de bioquerosene. Além disso, essas iniciativas aumentam a visibilidade do mercado brasileiro de bioquerosene frente a importantes instituições globais, como a ICAO. Da mesma forma, as iniciativas de governo são de suma importância no desenvolvimento deste mercado. Isso porque os resultados das ações governamentais aparecem mais rapidamente, a partir da imposição de regras que estimulam a sustentabilidade do setor. Quando aprovado, o Projeto de Lei nº 506, de 2013 (BRASIL, 2013) produzirá efeitos imediatos sobre a indústria brasileira de bioquerosene, uma vez que proporcionará incentivos financeiros ao mercado. Da mesma forma, a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017 (BRASIL, 2017), que já foi aprovada, mas começará na prática em 2019, produzirá efeitos imediatos a partir do incentivo à comercialização de biocombustíveis que reduzam as emissões de GEE. A Tabela 2 resume as principais ações para promoção do mercado de bioquerosene no Brasil.

Tabela 2 – Ações brasileiras para promoção do mercado de bioquerosene.

Ações	Fundador	Objetivos Gerais
Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA)	Companhias aéreas, empresas de pesquisa, produtores de biomassa e fabricantes aeronáuticos	Promover a segurança do abastecimento e a competitividade do bioquerosene em relação ao querosene de aviação fóssil
Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB)	União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO)	Discutir uma política para incentivo do uso de bioquerosene, mostrando a importância socioeconômica e ambiental da inserção de biocombustível na aviação
Plataformas Regionais de Bioquerosene	Governo de Minas Gerais, Pernambuco e Rio Grande do Sul	Contribuir para a produção de bioquerosene no Brasil com base em logística, infraestrutura, certificação e pesquisa de matérias-primas com alto potencial bioenergético
Projeto de Lei nº 506, de 2013	Governo brasileiro, ex-senador Eduardo Braga	Criar o Programa Nacional do Bioquerosene para incentivar a pesquisa e a produção de energia à base de biomassas que não concorram com a produção de alimentos, voltados para a sustentabilidade da aviação brasileira
RenovaBio	Governo brasileiro	Promover a expansão dos biocombustíveis com foco na previsibilidade e sustentabilidade

2.4.3. Incertezas e recomendações: o mercado brasileiro de bioquerosene

Os resultados da revisão da literatura, onde foram identificadas as incertezas do mercado brasileiro de bioquerosene, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais incertezas do mercado brasileiro de bioquerosene.

Grupo de incertezas	Incertezas	Referência
Tecnológica	Reduzido domínio tecnológico de matérias-primas com alto adensamento energético	KOUSOULIDOU; LONZA, 2016; CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015; CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b; MORAES <i>et al.</i> , 2014; ALVES <i>et al.</i> , 2017; PEREIRA <i>et al.</i> , 2017; CARDOSO <i>et al.</i> , 2017; RANUCCI <i>et al.</i> , 2018; VAN EIJK <i>et al.</i> , 2014; LAVIOLA <i>et al.</i> , 2018
	Reduzida maturidade tecnológica das rotas de refino	KOUSOULIDOU; LONZA, 2016; CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015; CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b; PEREIRA <i>et al.</i> , 2017; RANUCCI <i>et al.</i> , 2018; ARCHER; SZKLO, 2016
	Rendimentos do produto ainda são considerados baixos para produção em larga escala	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; PEREIRA <i>et al.</i> , 2017
	Existem poucos estudos sobre o uso de biomassa de segunda geração em cenários de biorefinaria	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; MORAES <i>et al.</i> , 2014; ALVES <i>et al.</i> , 2017
	Alto custo de matérias-primas, rotas de refino e produto final	CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015; CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b; MORAES <i>et al.</i> , 2014; ALVES <i>et al.</i> , 2017; PEREIRA <i>et al.</i> , 2017; MOREIRA <i>et al.</i> , 2014; EDESEYI <i>et al.</i> , 2015
Comercial	Falta de investimento público-privado	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; PEREIRA <i>et al.</i> , 2017
	Deficiência do marco regulatório que confere previsibilidade comercial ao mercado	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; MOREIRA <i>et al.</i> , 2014
	Falta de destino definido para os coprodutos, que poderiam auxiliar o desempenho financeiro do mercado de bioquerosene	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015, PEREIRA <i>et al.</i> , 2017

	Problemas de infraestrutura	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b; MORAES <i>et al.</i> , 2014
Organizacional	Falta de coordenação efetiva entre as diferentes partes interessadas	TELKAMP, 2012
Social	Falta de consenso no uso de metodologias bem estabelecidas para avaliação de emissões, comprometendo a avaliação do ganho ambiental	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b; MORAES <i>et al.</i> , 2014; PASHAEI <i>et al.</i> , 2018; MOREIRA <i>et al.</i> , 2014; BURRITT; SCHALTEGGER, 2012
	Falta de critérios de sustentabilidade bem definidos para a indústria de bioquerosene	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; MORAES <i>et al.</i> , 2014; PASHAEI <i>et al.</i> , 2018; MOREIRA <i>et al.</i> , 2014
	Riscos de segurança alimentar	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015; MORAES <i>et al.</i> , 2014; PASHAEI <i>et al.</i> , 2018; ALVES <i>et al.</i> , 2017; VAN EIJCK <i>et al.</i> , 2014; EDESEYI <i>et al.</i> , 2015

Em seguida, a discussão sobre as incertezas identificadas será conduzida pela análise TCOS. Ademais, recomendações serão feitas ao longo da discussão.

2.4.3.1. Incertezas tecnológicas

As incertezas tecnológicas estão associadas à superação dos obstáculos científicos e técnicos envolvidos na inovação (HALL; BACHOR; MATOS, 2014).

Embora as misturas especificadas com o bioquerosene sejam compatíveis com o querosene de aviação fóssil, ainda existem muitas incertezas tecnológicas nesse mercado. Os voos testes e comerciais com estes biocombustíveis eliminaram dúvidas quanto à compatibilidade dos produtos, mas ainda há dúvidas relacionadas à imaturidade tecnológica das rotas de produção, caracterizada pela ausência de produção desses biocombustíveis no país. Além disso, existem incertezas relacionadas à escala e ao rendimento das culturas energéticas alternativas e ainda incertezas tecnológicas que podem ser vistas do ponto de vista logístico. A falta de infraestrutura laboratorial necessária para a certificação desses combustíveis compromete a distribuição do produto.

Embora exista uma planta piloto de produção de SIP no Brasil, a certificação é feita no exterior. Assim, é necessário implementar infraestrutura e capacitação técnica necessária para tal certificação em território nacional. A barreira de infraestrutura laboratorial também afeta a estrutura atual dos aeroportos. Como não há no Brasil laboratórios que realizam a certificação

completa dos querosenes de aviação alternativos, como o bioquerosene, os aeroportos precisam fazer uso de sistemas dedicados para este produto. Isso porque, embora o querosene de aviação alternativo seja *drop-in*, a ASTM D7566 (ASTM INTERNATIONAL, 2018) e a Resolução ANP nº 63/2014 (BRASIL, 2014) exigem que a mistura desses combustíveis alternativos com o fóssil seja recertificada após a mistura. Dessa forma, as companhias aéreas optam por manusear e transportar o querosene alternativo em sistemas dedicados para que não tenham que recertificar a mistura conforme exigida pelas normas citadas. A infraestrutura atual nos aeroportos brasileiros não é suficiente para armazenamento, manuseio e transporte de ambos os tipos de combustíveis em sistemas dedicados. Portanto, o uso de querosene de aviação alternativo no Brasil sempre ocorreu em pequenos volumes e em casos específicos, como na copa do mundo.

De todas as rotas convencionais para produção do bioquerosene, apenas o processo HEFA possui, atualmente, alto potencial de produção em grande escala, sendo considerado um mercado maduro no mundo (NEULING; KALTSCHMITT, 2015). Neuling e Kaltschmitt (2015) afirmam que todas as rotas para produção do bioquerosene de aviação são mais complexas que a rota envolvida no processo HEFA.

Assim, fazendo uso da menor complexidade tecnológica envolvida no processo HEFA, sugere-se, em primeiro momento, maior investimento nesta rota, de forma a aproveitar o alto potencial agrícola do país que se estende à produção de oleaginosas. Paralelamente, é necessário o desenvolvimento das outras tecnologias, incluindo àquela que produz o SIP, já em escala de demonstração no Brasil e também a produção de bioquerosene de aviação a partir de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos, como esgoto, resolvendo, por outro lado, problemas cotidianos de disposição de rejeitos (TELKAMP, 2012; CONNELLY *et al.*, 2015).

Vale lembrar que as incertezas relacionadas à escala e ao rendimento das culturas energéticas têm uma abordagem tecnológica e comercial. Tecnológica porque ainda falta domínio técnico para o alcance da ampliação de escala e rendimento de algumas matérias-primas. Comercial porque a escala de produção e o rendimento dessas matérias-primas impactam no custo do bioquerosene. Assim, neste item, apenas os aspectos tecnológicos serão abordados. A abordagem comercial das matérias-primas será discutida no próximo item deste capítulo.

Para reduzir as incertezas tecnológicas relacionadas às matérias-primas, é necessário o melhoramento de novas culturas energéticas, com aumento de escala e rendimento (LAVIOLA; CAPDEVILLE, 2015). No Brasil, há um destaque para produção de soja e cana-de-açúcar para produção de biodiesel e etanol, respectivamente (NASS *et al.*, 2007; STATTMAN *et al.*, 2013). No entanto, é necessário diversificar as matérias-primas para produção de bioquerosene de aviação no Brasil para evitar, inclusive, concorrência com a produção de outros biocombustíveis (LAVIOLA; CAPDEVILLE, 2015). Neste sentido, é importante que o Brasil busque o alcance do domínio tecnológico de culturas com maior adensamento energético (LAVIOLA; CAPDEVILLE, 2015), além de pesquisas para se

alcançar o aumento da escala de produção, no que se refere também ao uso de algas para produção de energia em larga escala (CONNELLY *et al.*, 2015).

Com intuito de reduzir as incertezas citadas, as iniciativas brasileiras foram desenvolvidas no sentido de agregar valor às biomassas produzidas no país, a partir do engajamento do setor agrícola e de instituições de pesquisa (ABRABA, 2011). Busca-se desenvolver material genético de alta produtividade e culturas agroenergéticas adequadas. Além disso, as iniciativas brasileiras, sobretudo no âmbito da Plataforma Mineira de Bioquerosene, estão trabalhando na identificação e avaliação das tecnologias de refino existentes no país, para fomentar a implantação de biorrefinarias piloto (MINAS GERAIS, 2015). Assim, será possível criar condições para parcerias entre empresas mineiras, empresas nacionais e estrangeiras. Em relação à infraestrutura laboratorial, está sendo avaliada a implantação de centros de referência em certificação de bioquerosene no Brasil. Um importante laboratório que está sendo equipado é o Centro de Pesquisa e Análise Tecnológica (CPT) da ANP.

2.4.3.2. Incertezas comerciais

A incerteza comercial está relacionada ao sucesso econômico da inovação no mercado (HALL; BACHOR; MATOS, 2014), isto é, relaciona-se ao custo da inovação.

A maior incerteza comercial deste mercado é o custo do bioquerosene de aviação, que ainda não é competitivo com o querosene fóssil (HALOG; MANIK, 2011; SIMS *et al.*, 2011; DE GORTER; JUST, 2010; DEMIRBAS, 2009; CONNELLY *et al.*, 2015).

O custo final de um combustível de aviação de origem renovável é basicamente influenciado pelo preço da matéria-prima, tecnologia de refino e custos logísticos (CANTARELLA *et al.*, 2015). Dentre estes, o custo da matéria-prima é o principal fator para composição do custo final do produto, podendo representar mais do que 70% do preço final (CANTARELLA *et al.*, 2015). Avaliando o custo do óleo de soja para produção do bioquerosene de aviação, por exemplo, e o custo do petróleo bruto para a produção do querosene de aviação fóssil, entende-se o motivo do preço do bioquerosene de aviação ainda não ser competitivo com o fóssil. O preço médio do óleo de soja no Brasil no último ano² foi de R\$ 2.900,00 por tonelada. Já o preço médio de uma tonelada de petróleo, no mesmo período, seria de R\$ 1.188,00³, isto é aproximadamente 2,4 vezes menor que o custo do óleo

² 27/11/2015 a 27/11/2016. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/historico-cotacao/preco-oleo-de-soja>>. Acesso em 27 nov. 2016

³ O cálculo foi baseado em:

- Custo do petróleo *Brent* em 27 de novembro de 2016 (barril de petróleo a \$47,24). Disponível em <<http://abacusliquid.com/setores-economia/mercado-financeiro/petroleo-hoje/>>. Acesso em: 27 nov. 2016
- Conversão de barril para tonelada baseado na média (Árabe Leve) 33,5 °API (1 barril de petróleo = 0,136 toneladas). Disponível em: <http://www.portalnaval.com.br/media/Tabela/conversao_petroleo_gas_1.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2016
- Cotação do dólar em 27 de novembro de 2016 (1 dólar = 3,42 reais). Disponível em: <<http://www.dolarhoje.com.br/>>. Acesso em: 27 nov. 2016

de soja. Velázquez *et al.* (2015) afirmam que o custo final do bioquerosene de aviação é cerca de 2 a 2,5 vezes maior que o custo do querosene de aviação fóssil.

Para que seja possível reduzir os custos de produção desse biocombustível é fundamental promover o mapeamento de matérias-primas regionais promissoras, investir em aumento de escala de produção dessas matérias-primas (NAIR; HANNA, 2014; GEGG *et al.* 2014; CREMONEZ *et al.*, 2015b; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015; CONNELLY *et al.* 2015), e promover o mapeamento de localização estratégica para implantação de centros de refino, levando em consideração as menores distâncias do fornecedor de matérias-primas e dos grandes consumidores, os aeroportos (LAVIOLA; CAPDEVILLE, 2015).

Além disso, são necessários investimentos em logística para o alcance da competitividade entre os combustíveis de aviação fóssil e renovável. Isso porque o consumo de combustível de aviação é especialmente concentrado no sudeste do país. Por outro lado, há terras agrícolas abundantes e baratas disponíveis no interior do país, longe dos centros de consumo (BOEING, 2013). Para resolver esses problemas logísticos, é necessário desenvolver estudos para o investimento em ferrovias e hidrovias, levando em conta também as melhores matérias-primas para a produção de bioquerosene e a melhor localização para a instalação de centros de refino.

Quanto aos custos envolvidos no refino, reitera-se a sugestão de investimento em primeiro momento no processo HEFA. De Jong *et al.* (2015) avaliaram a viabilidade econômica a curto prazo das rotas de produção do bioquerosene e concluíram que o processo HEFA é a melhor opção a curto prazo devido a tecnologia já estar bem desenvolvida em escala comercial ao redor do mundo e com menores custos.

Ademais, para redução dos custos de produção e sobretudo para conseguir aumentar a competitividade com o produto tradicional, é necessário investimento governamental e também do setor privado (TELLO-GAMARRA *et al.*, 2015; CONNELLY *et al.* 2015; NOH *et al.*, 2016). Para angariar investimentos, o governo brasileiro está trabalhando na regulamentação do Programa Nacional de Produção e Uso do Bioquerosene de Aviação, através do Projeto de Lei 506/2013, no mesmo molde do PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (BRASIL, 2013).

Embora a atual conjuntura mundial seja marcada por preços baixos do barril de petróleo, o que leva a crer que seja inviável produzir combustíveis a partir de matéria-prima renovável, os incentivos, em primeiro momento, poderão garantir a competitividade. Se o Projeto de Lei for aprovado, a viabilidade econômica do bioquerosene de aviação poderá ser alcançada a exemplo do que ocorreu com o mercado de biodiesel no Brasil. A análise do comportamento dos preços do diesel A e do biodiesel indica que, historicamente, o preço do biodiesel se manteve superior ao preço do diesel A desde a criação do Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNPB) em 2004 (DUTRA *et al.*, 2014). Entretanto, ao longo de 2013, ocorreu reversão dessa tendência, inicialmente, com uma convergência dos preços e, posteriormente, o preço do biodiesel passou a ser inferior em relação ao diesel A, conforme apresentado por (DUTRA *et al.*, 2014). Esta comparação mostra que o apoio do governo é

fundamental neste primeiro momento de consolidação da cadeia produtiva, sendo possível o alcance da competitividade futura do bioquerosene de aviação em relação ao querosene fóssil.

Do ponto de vista comercial, o bioquerosene de aviação proporcionará o desenvolvimento da indústria nacional e o aumento da segurança energética brasileira, a partir da redução da dependência dos combustíveis fósseis. Anater *et al.* (2016) afirmam que a ampliação da utilização de energias renováveis em um país faz com que haja um aumento da sua segurança energética proporcionada pela diversidade de fontes em sua matriz.

2.4.3.3. Incertezas organizacionais

A incerteza organizacional envolve a avaliação de propriedade intelectual, isto é, se há meios necessários para que os desenvolvedores do novo processo ou produto se apropriem dos benefícios da inovação (TEECE, 1986). Os mecanismos legais, como as patentes, foram originalmente criados para incentivar a divulgação e o compartilhamento de novos conhecimentos socialmente benéficos em troca de quase-monopólios limitados, permitindo que os inventores recuperassem os investimentos e lucrassem com seus esforços. (REITZIG; PURANAM, 2009; HALL; BACHOR; MATOS, 2014).

No mercado de bioquerosene, as incertezas organizacionais são consideradas reduzidas em virtude de a inovação ser patenteável em qualquer rota tecnológica empregada para produção do bioquerosene de aviação.

Na base de patentes do *The United States Patent and Trademark Office* (USPTO), foram encontradas 158 patentes internacionais referente às invenções relacionadas à produção de bioquerosene de aviação. Essas patentes foram depositadas por grandes empresas químicas como a Solazyme Inc., Neste Oil Oyj; Exxon Mobil Research and Engineering Company, UOP LLC, Gevo Inc, Syntroleum Corporation, BP Corporation North America Inc., entre outras. Dessas patentes, a maioria se refere as três rotas tecnológicas mais utilizadas neste processo: termoquímica, química e bioquímica. Reitera-se que essas três rotas representam os cinco combustíveis de aviação alternativos permitidos pela ANP e ASTM. Das 158 patentes internacionais concedidas, 37 estão relacionadas à reação de Fischer-Tropsch, ou seja, a rota termoquímica, 69 à rota química de hidrotreatamento e 36 à rota bioquímica, que envolve a fermentação.

No Brasil, apenas seis patentes foram depositadas segundo pesquisa na base de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Cinco das patentes foram depositadas por universidades públicas e apenas uma pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). As patentes em questão apresentam o processo de transesterificação de óleos e ácidos graxos, seguido de purificação. Tal rota, a mesma de produção do biodiesel utilizado nos motores diesel, não faz parte do rol de rotas convencionais utilizadas para produção de querosene de aviação alternativo (WARDLE, 2003; LIU; YAN; CHEN, 2013; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015).

O uso de biodiesel como querosene de aviação não é eficiente (WARDLE, 2003; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015). O biodiesel é pobre em propriedades à frio e conteúdo de oxigênio, o que limita sua utilização em aeronaves (LIU; YAN; CHEN, 2013). A biodegradabilidade do biodiesel pode causar o crescimento microbológico durante o armazenamento, afetando a estabilidade química necessária para um combustível de aviação (HEMIGHAUS *et al.*, 2006; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015). O ponto de congelamento do biodiesel é muito alto comparado ao querosene de aviação fóssil, tornando-o inadequado para voos de alta altitude (HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015). A presença de ácidos graxos poli-insaturados e insaturados diminui a estabilidade do biodiesel devido à oxidação dos sítios insaturados (HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015). Ademais, devido à presença de grupos éster, o biodiesel possui certa polaridade, podendo provocar a formação de emulsão e, portanto, dificultando a separação da água (HEMIGHAUS *et al.*, 2006; HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015).

É importante destacar que por mais que ainda não existam patentes depositadas no Brasil a partir de rotas convencionais, existe uma grande janela de oportunidade para este propósito, já que o Brasil possui certa experiência nas três rotas convencionais. O processo de hidrotratamento já é utilizado nas refinarias brasileiras de petróleo para remoção de enxofre, nitrogênio, oxigênio e aromáticos do diesel mineral (ARANDA, 2006). Além disso, em meados de 2006, a Petrobras patenteou uma tecnologia de produção de diesel de fonte renovável (H-Bio), a partir da adição de até 10% de óleo vegetal ao processo de refino do diesel nas unidades de hidrotratamento (ARANDA, 2006). Contudo, o projeto se tornou inviável tendo em vista o maior custo do óleo vegetal frente ao mineral (ARANDA, 2006).

Em relação a rota bioquímica, o Brasil possui experiência gerada pela planta em escala de demonstração da empresa Amyris do Brasil. Em relação à rota termoquímica, por mais que ainda não existam plantas em escala comercial no Brasil, essa tecnologia já vem sendo testada para aplicação em um futuro próximo pela Petrobras em parceria com a britânica CompactGTL (SANTOS, 2013). O projeto conta com duas unidades de gaseificação de biomassa e uma unidade de Fischer-Tropsch em uma planta de demonstração instalada no parque de testes em Aracaju/SE (BAXTER, 2010). O processo, que tem como matéria-prima o bagaço de cana brasileira, visa a produção futura de biocombustíveis de alta pureza, como bioquerosene de aviação, diesel e lubrificantes renováveis (PETROBRAS, 2016).

Cabe ressaltar que as incertezas organizacionais estão reduzindo em virtude dos atores envolvidos no mercado de combustíveis de aviação no Brasil não oferecerem resistência a este novo produto. Pelo contrário, há uma parceria colaborativa entre os agentes da cadeia produtiva, universidades, instituições de pesquisa, companhias aéreas e até mesmo o governo. As parcerias firmadas na Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA), Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB), Plataforma mineira, pernambucana e gaúcha de bioquerosene de aviação mostram que em geral, os atores envolvidos estão trabalhando em conjunto em prol do desenvolvimento do setor.

Para redução das incertezas organizacionais que ainda existem neste mercado é necessária maior consolidação da cadeia de fornecimento, já que não há, por exemplo, uma

coordenação efetiva entre os diferentes elos desta cadeia (TELKAMP, 2012). Telkamp (2012) e Tello-Gamarra *et al.* (2015), indicam que uma coordenação mais eficiente dos elos da cadeia envolve uma logística mais eficiente, além de um encadeamento pactuado entre fornecedores de equipamentos e tecnologia de processamento, produtores de matéria-prima, além dos demandantes do produto final.

2.4.3.4. Incertezas sociais

As incertezas sociais estão associadas à influência da inovação na vida daqueles que não fazem parte diretamente do mercado, como a sociedade (HALL; BACHOR; MATOS, 2014). Isto é, estão ligadas à aceitação social das mudanças trazidas pela inovação, que inclui transformações no meio ambiente. Por essa razão, os desafios ambientais são enquadrados nas incertezas sociais da inovação.

Existem poucas incertezas sociais neste mercado, o que faz com que a legitimidade social seja alta. Em geral, há um forte apelo social pela inserção de combustíveis renováveis na matriz energética nacional, principalmente pela possibilidade de aumentar a geração de emprego, renda e também promover o desenvolvimento regional.

A temática de sustentabilidade do ponto de vista ambiental está se tornando cada vez mais presente não somente no Brasil, mas em todo o mundo (IZATT, 2016). As conferências sobre mudanças climáticas (COPs), realizadas anualmente, já estão em sua 23ª edição e têm estabelecido prazos e metas para a redução de gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos (EL HOUR; AOUANE; CHAOUCH, 2016). A discussão sobre as mudanças climáticas provocadas também pelo uso de combustíveis fósseis, abrange o governo, organizações internacionais, grandes empresas e também está presente nas pesquisas e trabalhos científicos.

No Brasil, a consolidação do biodiesel e etanol na matriz energética do setor de transportes mostra que, embora haja interesses políticos envolvidos, a preocupação ambiental também é importante para migração parcial de um país historicamente vinculado ao setor petrolífero. No entanto, sugere-se que a entrada de qualquer combustível na matriz energética brasileira, incluindo os renováveis, seja precedida de análise do ganho de sustentabilidade envolvido. A implementação de critérios sociais também deve ser levada em conta na avaliação da real sustentabilidade do combustível. No contexto brasileiro de grandes oportunidades para aumentar a produtividade das terras agrícolas existentes, a produção de bioquerosene deve ser acelerada sem comprometer a segurança alimentar, valorizando a força de trabalho do agricultor, e atendendo a diversos critérios sociais, econômicos e ambientais. Assim como uma curva de aprendizado para o custo de produção é importante, o desempenho social e ambiental deve ser melhorado para construir uma indústria de bioquerosene sustentável. Como a aviação é em grande parte um negócio internacional, é importante usar critérios de sustentabilidade internacionalmente aceitos, como o *Roundtable on Sustainable Biofuels* e *Bonsucro* (BOEING, 2013). Para preencher as lacunas sociais e ambientais, as instituições brasileiras precisam aproveitar a oportunidade de produzir insumos energéticos

para promover uma cultura de sustentabilidade na agricultura brasileira como um todo (BOEING, 2013). Para tanto, as iniciativas de pesquisa são fundamentais para melhorar o desempenho dos indicadores de sustentabilidade por meio do desenvolvimento de ferramentas apropriadas.

2.4.3.5. Resumo das principais incertezas e comparação com outros estudos

O mercado brasileiro de bioquerosene ainda enfrenta muitas incertezas tecnológicas e comerciais. Essas dificuldades estão relacionadas principalmente ao domínio tecnológico e aos custos envolvidos na produção de matérias-primas e rotas de refino. As incertezas organizacionais são consideradas reduzidas. Isso ocorre porque os inventores que contribuem para esse mercado podem apropriar-se de suas invenções por meio de patentes. Além disso, as partes interessadas e o governo estão trabalhando para desenvolver o setor, como pode ser visto nas parcerias e ações apresentadas no item 2.4.2 deste capítulo. As incertezas sociais também são reduzidas à medida que a sociedade apoia o uso de biocombustíveis na matriz energética. Além disso, o uso de biocombustível tende a contribuir para a redução das emissões de GEE, beneficiando diretamente a sociedade.

A discussão realizada neste capítulo está de acordo com os principais resultados obtidos por Hari *et al.* (2015), que avaliaram as principais oportunidades e desafios do mercado global de bioquerosene. Os principais desafios globais identificados pelos autores são: 1. alto custo de matérias-primas, rotas e combustível final, 2. baixa disponibilidade de insumos com alto potencial energético que atenda aos critérios de sustentabilidade, 3. impacto ambiental gerado pelo uso de agrotóxicos e fertilizantes que comprometem a qualidade do solo e da água; 4. impacto social, gerado pela possibilidade de escassez de alimentos; e 5. compatibilidade com o combustível convencional. A preocupação com o impacto ambiental citado por Hari *et al.* (2015), correlaciona-se diretamente com a incerteza “falta de critérios de sustentabilidade bem definidos para a indústria de bioquerosene” (identificado na Tabela 3). O desafio de compatibilidade pode ser correlacionado com a incerteza “reduzida maturidade tecnológica das rotas de refino”. Isso porque, apenas algumas rotas são aprovadas pela ASTM para produção de bioquerosene. Outras ainda precisam provar sua compatibilidade com o combustível convencional.

As descobertas do estudo apresentado neste capítulo também estão de acordo com o estudo de Gegg *et al.* (2014), que avaliaram os principais desafios do mercado de bioquerosene sob a perspectiva de atores da cadeia europeus e norte-americanos. Gegg *et al.* (2014) concluíram que os principais desafios enfrentados são: 1. alto custo de produção, 2. falta de investimento, 3. falta de oferta sustentável de matérias-primas, 4. legislação inadequada, 5. controle ambiental restrito para biocombustíveis e 6. falta de cadeia de suprimentos e restrições logísticas. Um dos desafios identificados por Gegg *et al.* (2014) que merece destaque especial na comparação com as descobertas do presente estudo é a questão logística. O Brasil tem dimensões continentais, desafiando a logística de fornecimento de matérias-primas e distribuição de combustíveis. Além disso, apresenta problemas de

infraestrutura nos aeroportos, devido à dificuldade de manuseio do QAV B-X em sistemas dedicados a este produto. Se esse desafio foi apontado por especialistas europeus e norte-americanos, infere-se que o problema da infraestrutura de certificação não é exclusivo dos países em desenvolvimento, como o Brasil. Destaca-se que a questão logística do bioquerosene também foi apontada por Smith *et al.* (2017) como um grande desafio a ser enfrentado no noroeste do Pacífico dos EUA.

O desafio relacionado às matérias-primas, uma das descobertas deste estudo, também está de acordo com os resultados de Connelly *et al.* (2015), que classificaram as ações mais emergentes a serem tomadas pelas partes interessadas e pelo governo. Das 37 ações classificadas, a mais importante foi “investir em pesquisa para alcançar matéria-prima mais produtiva”. Fiorese *et al.* (2013) também concluíram que a P&D é fundamental para o desenvolvimento de matérias-primas para a produção de biocombustíveis avançados.

Em relação ao Brasil, as incertezas identificadas no presente estudo estão de acordo com Cortez *et al.* (2015), o que mostra o alinhamento desta revisão com a percepção dos principais *atores da cadeia* brasileiros. Isso porque a identificação das incertezas do presente estudo foi realizada pela revisão da literatura, já as incertezas identificadas por Cortez *et al.* (2015) foram identificadas com base na opinião dos *atores da cadeia*. Os principais desafios apontados por Cortez *et al.* (2015) foram: 1. informações limitadas sobre espécies com alto potencial para bioenergia, 2. altos custos, 3. falta de informações sobre a viabilidade do processo, 4. problemas de infraestrutura e 5. problemas de sustentabilidade. Ainda em relação ao Brasil, Moraes *et al.* (2014) afirmaram que o maior desafio da produção sustentável de bioquerosene é atender aos critérios de sustentabilidade. A afirmação baseou-se na avaliação da produção sustentável de bioquerosene a partir de açúcar, amido, óleo, lignocelulose e resíduos. Moraes *et al.* (2014) concluíram que existem vários requisitos de sustentabilidade. No entanto, ainda falta, em muitos casos, o conhecimento necessário para aplicação dos requisitos.

2.5. Considerações finais e implicações práticas

As baixas incertezas sociais indicam que esse emergente mercado brasileiro possui legitimidade sócio-política. Entretanto, ainda não possui a legitimidade cognitiva, que envolve incertezas tecnológicas, comerciais e organizacionais. A conquista da legitimidade do mercado brasileiro de bioquerosene depende de ações conjuntas das partes interessadas e do governo. O governo brasileiro está comprometido com a questão, conforme indicado pelas principais ações regulatórias do mercado de bioquerosene (Tabela 1). As especificações do bioquerosene, além do combustível fóssil e de suas misturas estão em linha com as especificações internacionais, o que demonstra o compromisso do Brasil com a qualidade internacional deste produto. Além disso, a criação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que entrará em vigor em 2019, mostra os primeiros passos efetivos no sentido de promover os biocombustíveis no país que efetivamente reduzam as emissões de GEE. Espera-se que a implementação dessa política gere efeitos imediatos no incentivo à

comercialização de bioquerosene em substituição ao combustível fóssil. Outro importante ato regulatório para este mercado é o Projeto de Lei nº 506, de 2013 (BRASIL, 2013), que ainda não foi aprovado pelo Congresso Nacional. A aprovação deste regulamento criará uma base legal de incentivos financeiros para a pesquisa, produção e uso do bioquerosene no país. As iniciativas formadas pelos *atores da cadeia* também estão contribuindo para a promoção do mercado brasileiro de bioquerosene a partir do desenvolvimento conjunto de novas rotas e insumos para a produção regional de bioquerosene. Assim, os atos regulatórios (apresentados no item 2.4.1 deste capítulo) e as iniciativas (apresentadas no item 2.4.2 deste capítulo) contribuem para mitigar as incertezas do mercado brasileiro de bioquerosene (apresentado no item 2.4.3 deste capítulo).

Por fim, as descobertas desta avaliação permitiram a proposição das seguintes recomendações gerais a serem aplicadas pelos formuladores de políticas, governo brasileiro e também a serem estudadas em trabalhos científicos futuros:

- 1) Para que as iniciativas brasileiras apresentem melhores resultados, sugere-se a elaboração de planejamento estratégico operacional a ser desenvolvido com a participação conjunta de atores da cadeia e governo. Sugere-se ainda apresentar o planejamento à ICAO e discuti-lo com organizações internacionais.
- 2) Sugere-se que além da descarbonização, os critérios sociais (ex. segurança alimentar, geração de renda, condições de trabalho, etc.) e econômicos (ex. produtividade, balanço energético, aumento do PIB, etc.) sejam incluídos no *RenovaBio*, implementado pela Lei nº 13.576, de 2017 (BRASIL, 2017), já que a sustentabilidade envolve os pilares social, econômico e ambiental e a política atual leva em consideração, a princípio, apenas os critérios ambientais relacionados à redução de emissões de GEE.
- 3) Sugere-se que investimentos imediatos sejam feitos em instalações de armazenamento e mistura, e também em laboratórios que já possuem alguma estrutura para certificação de combustíveis de aviação, como o LEC (Laboratório de Combustíveis da Universidade Federal de Minas Gerais) e o CPT (Laboratório de pesquisa da ANP). O Brasil deve ter capacidade técnica para realizar todos os ensaios da especificação do bioquerosene, a fim de otimizar a cadeia de distribuição do produto.
- 4) Sugere-se a adequação das linhas de crédito e financiamento existentes às particularidades dessa nova indústria, incluindo o custo futuro do carbono na amortização das taxas. Sugere-se também a adoção de tributação diferenciada sobre a cadeia produtiva do bioquerosene, aumentando a competitividade do bioquerosene em relação ao combustível fóssil.
- 5) Para aplicar os recursos financeiros de forma mais eficiente, sugere-se que o investimento na agricultura seja baseado em avaliação técnica. Uma avaliação eficiente é a identificação da matéria-prima mais promissora em cada região do país a partir de ferramentas de análise multicritério, objetivo central desta tese.

Sugere-se também que seja realizada uma avaliação multicritério para selecionar o local mais estratégico para a produção das matérias-primas promissoras.

- 6) Também para aplicar os recursos financeiros de forma mais eficiente, sugere-se que o investimento nas rotas de processamento seja baseado em avaliação técnica. A análise multicritério também pode ser utilizada para definir as melhores rotas produtivas e os melhores locais para a implantação de unidades produtivas. Destaca-se que os critérios técnico-econômicos devem ser levados em consideração.
- 7) Como o HEFA é a melhor opção a curto prazo para a produção de bioquerosene (NEULING; KALTSCMITT, 2015; DE JONG *et al.*, 2015), sugere-se que seja realizada avaliação da viabilidade técnico-econômica do HEFA no Brasil. Assim, o Brasil poderá se beneficiar do seu alto potencial de produção de oleaginosas e ainda se beneficiar da experiência no hidrotreatamento em refinarias de petróleo.

2.6. Conclusão

O Brasil é capaz de se tornar líder na produção e uso de bioquerosene, tendo em vista sua grande experiência com biocombustíveis, bem como seu alto potencial agrícola para a produção de matérias-primas renováveis. Para este novo mercado vir a ser um exemplo de economia ambiental, é essencial superar as principais incertezas tecnológicas, comerciais, organizacionais e sociais envolvidas neste mercado.

As principais incertezas tecnológicas relacionam-se à escala e ao rendimento das culturas energéticas. Embora o Brasil já tenha algum contato com as principais rotas de produção de bioquerosene, ainda há imaturidade tecnológica para a produção em larga escala. Além disso, falta infraestrutura laboratorial necessária para a certificação desses combustíveis. A principal incerteza comercial nesse novo mercado é o custo do bioquerosene de aviação, que ainda não é competitivo com o fóssil, com destaque para o custo da matéria-prima renovável, que ainda é muito maior que o custo do óleo para a produção do combustível fóssil.

Do ponto de vista organizacional, existem poucas incertezas, considerando que os desenvolvedores de tecnologia para produção de bioquerosene podem tirar proveito dos benefícios da inovação por meio de patentes. Todas as tecnologias envolvidas na produção de bioquerosene são patenteáveis. Além disso, os atores envolvidos no mercado não oferecem resistência a este novo produto. Pelo contrário, os agentes da cadeia produtiva, universidades, instituições de pesquisa, companhias aéreas e governo estão trabalhando em prol do mesmo objetivo: promover o mercado de bioquerosene no Brasil. No entanto, apesar das instituições estarem trabalhando para esse objetivo, não há coordenação efetiva entre esses importantes atores. A ação conjunta dos diferentes atores torna o desenvolvimento desse mercado mais estratégico, alcançando melhores resultados em um curto período de tempo. Do ponto de vista

social, também existem pequenas incertezas, pois há grande apoio social para a produção e uso de biocombustíveis. A sociedade apoia o uso de biocombustíveis na matriz energética do país na busca pela redução da pegada de carbono, desenvolvimento da indústria nacional, além do aumento de empregos e renda.

Diferentes atos regulatórios e iniciativas criadas pelos atores da cadeia e formuladores de políticas públicas estão alinhados à mitigação dessas incertezas. Neste sentido, o comprometimento com os desafios do mercado brasileiro de bioquerosene criará o cenário favorável para fortalecer os investimentos, além de aumentar a oferta de insumos potenciais e expandir a capacidade industrial de produção de bioquerosene no país.

3. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA O PROCESSO HEFA

3.1. Introdução

Um dos grandes desafios do mercado de bioquerosene de aviação, conforme já apresentado, está relacionado à matéria-prima. Para atacar este desafio, diversos estudos já foram realizados, conforme apontado na justificativa deste trabalho (capítulo 1.1.1). No entanto, nenhum deles compararam diferentes matérias-primas para a produção de bioquerosene a partir de múltiplos aspectos, isto é, a partir da avaliação multicritério, o que justifica o estudo que está consolidado neste capítulo.

No caso do processo HEFA, objeto desta Tese de Doutorado, é importante que seja considerado o uso de culturas regionais em sistemas de produção específicos, uma vez que cada região do Brasil possui condições específicas para o cultivo de diferentes matérias-primas (BERGMANN *et al.*, 2013). Considerando que há diversas oleaginosas que podem ser utilizadas para a produção de bioquerosene de aviação nas cinco regiões do País, é necessário considerar as vantagens e limitações de cada uma, com base em critérios técnicos eficientes. Uma ferramenta interessante para este julgamento é a Análise de Decisão Multicritério, em inglês, *Multiple-Criteria Decision Analysis* (MCDA), muito útil nos processos decisórios de priorização de uma alternativa em relação a outras (MICHAÏLOS; PARKER; WEBB, 2016).

Várias ferramentas MCDA estão disponíveis, sendo quase impossível definir qual é a melhor (MAJUMDAR *et al.*, 2005). Løken (2007) afirma que a ferramenta ideal é aquela que seja fácil de usar e fácil de entender. Duas importantes ferramentas multicritério de fácil uso e compreensão são: Processo de Análise Hierárquica, em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a Análise de Preferência por Semelhança com a Solução Ideal, em inglês, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (SINDHU *et al.*, 2017; KARAHALIOS, 2017). A AHP, uma das mais recentes e mais utilizadas, pode lidar eficientemente com os critérios tangíveis e intangíveis (MAJUMDAR *et al.*, 2005), já o TOPSIS é mais eficiente no manuseio dos atributos tangíveis (MAJUMDAR *et al.*, 2005). Outros autores (SINDHU *et al.*, 2017; KARAHALIOS, 2017; CHOUDHARY; SHANKAR, 2012; KUMAR; SINGAL, 2015; BALIN, BARACLI, 2015; RESTREPO-GARCÉS *et al.*, 2017; BALAFOUTIS *et al.*, 2014) já usaram a combinação dessas ferramentas em decisões envolvendo energia renovável.

Diante do exposto, e como forma de contribuir para o direcionamento estratégico de políticas públicas, investimentos e pesquisas naquelas oleaginosas consideradas de maior potencial regional para produção de bioquerosene de aviação HEFA, este capítulo tem como objetivo ranquear as diferentes oleaginosas para este fim nas cinco regiões brasileiras: Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, contribuindo ainda para orientação de futuros estudos de análise multicritério para seleção de oleaginosas em outras regiões do mundo.

3.2. Avaliação teórica: a tomada de decisão e a análise multicritério

Em qualquer instituição, pública ou privada, a todo o momento uma decisão precisa ser tomada, e para tanto, são necessárias mais informações para tomá-la de forma estratégica. Todo este processo de escolher o caminho mais adequado, também é conhecido como processo de tomada de decisão (FERREIRA, 2010).

Clemen (2001 apud ROLDAN; MIYAKE, 2004), indica que toda tomada de decisão possui quatro pontos gerais de dificuldade: a complexidade, a incerteza inerente à decisão, os objetivos múltiplos que se inter-relacionam e a possibilidade de diferentes perspectivas levando a diferentes conclusões de análise. Assim, na busca por melhores resultados, frente a estes fatores de dificuldade, os autores definem que é essencial diferenciar uma boa decisão de uma decisão de sorte. A primeira é embasada em um bom processo, que frente a todas as variáveis e influências envolvidas, busca equilíbrio em todos os fatores e provê o resultado mais racional, frente aos objetivos estabelecidos. Contudo, a segunda não necessariamente foi tomada com base em um processo racional e seguro, mas, sim, foi simplesmente uma decisão que, por sorte, trouxe um bom resultado. Segundo os autores, do ponto de vista normativo, a primeira difere da segunda por ser fruto de um processo elaborado de forma racional, que pode ser repetido e trará os mesmos resultados de análise. Assim, é preciso que se crie uma estrutura de análise, que proverá direção aos tomadores de decisão de qual o melhor caminho a seguir, com base em todas as influências e variáveis envolvidas.

March (1994), afirma que a tomada de decisão é uma atividade que interpreta uma ação como uma escolha racional. Nesse caso, o termo racional é interpretado como "inteligente" ou "bem-sucedido". Ele define ainda a racionalidade como um particular e muito familiar conjunto de procedimentos para fazer escolhas.

Chiavenato (2004), afirma que o processo decisório é complexo e depende das características pessoais do tomador de decisão, da situação em que está envolvido e da maneira como percebe a situação, exigindo as seguintes etapas: percepção da situação que envolve algum problema; análise e definição do problema; definição dos objetivos; procura de alternativas de solução ou de cursos de ação; escolha (seleção) da alternativa mais adequada ao alcance dos objetivos; avaliação e comparação das alternativas; e implementação da alternativa escolhida.

É fato que o ato de decidir é bastante comum a todas as pessoas, já que diariamente tomamos dezenas de decisões, contudo, às vezes não nos damos conta de quão complexo é o mecanismo envolvido nessas ações. Apesar de decidir ser uma ação comum, nos últimos anos vem crescendo as publicações com o interesse na adoção de metodologias formais de apoio à decisão, com o intuito de permitir que uma decisão importante esteja amparada por análises consistentes e racionais. Coitinho (2007) define as técnicas de apoio à decisão como sendo um conjunto de procedimentos ou métodos de análise que visam assegurar a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões tomadas em função das informações disponíveis, antevendo os possíveis cenários.

O objetivo básico dos métodos é proporcionar a utilização de ferramentas de auxílio à tomada de decisão, de forma com que se evite as diversas distorções e desvios que os tomadores de decisões costumam apresentar diante de problemas decisórios. Oliveira (2003, p. 10) apresenta alguns destes desvios e distorções:

“Disponibilidade – Utilizar apenas as informações disponíveis, ignorando aquelas que não são fáceis de se obter, embora sejam significativas.

Conservadorismo – Tendência de não rever estimativas e procedimentos com a frequência necessária.

Hábito – A familiaridade ou experiência com certas regras ou metodologias, utilizadas em situações semelhantes, não considerando devidamente as características de cada caso.

Confiança exagerada – Ter muita confiança quando dispõem da abundância de informações e dedicar pouca atenção à qualidade e à consistência destes dados.

Ilusão de correlação – Admite-se erradamente que dois eventos são correlacionados quando, na verdade, a correlação é espúria ou pouco significativa” (OLIVEIRA, 2003, p. 10).

Para evitar estas distorções, a análise multicritério consiste em um conjunto de técnicas de auxílio ao agente decisor, na incumbência de tomar decisões acerca de um problema complexo, avaliando e escolhendo alternativas para solucioná-lo segundo diferentes critérios e pontos de vista, auxiliando, portanto, pessoas e organizações em situações nas quais é necessário identificar prioridades, considerando, ao mesmo tempo, diversos aspectos (JANNUZZI *et al.*, 2009).

Atualmente a literatura oferece diversas metodologias multicritério, com origem em duas principais correntes distintas que desencadearam diferentes métodos. Uma corrente provém da Escola Americana e a outra da Escola Europeia, basicamente desenvolvida pela Escola Francesa (BAPTISTA, 2000). O principal aspecto que diferencia as duas vertentes principais da análise multicritério se baseia no fato de que a Escola Americana enfatiza a tomada de decisão, buscando uma solução ótima, enquanto a Escola Europeia enfatiza o aspecto da ajuda, buscando a compreensão e o aprendizado do problema (BAPTISTA, 2000). A abordagem da Escola Europeia pressupõe, ao contrário da abordagem Americana, limites para a objetividade, ou seja, para o entendimento e resolução dos problemas do mundo real devem ser levados em consideração os critérios objetivos e também os critérios de natureza subjetiva, que normalmente existem de maneira dispersa e difusa dentro do contexto decisório, porém fazem parte deste contexto e são relevantes para o julgamento das ações (BAPTISTA, 2000).

Os principais métodos da Escola Europeia são: ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) e MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*). Por sua vez, os principais métodos multicritério da Escola Americana são

determinados de MAUT (Teoria de Utilidade Multiatributo): AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) e TODIM (Tomada de Decisão Interativa e Multicritério).

- 1) ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) – Baseia-se nos conceitos de concordância, discordância e valores limites, utilizando uma métrica de relações de troca (swing weights) para a comparação par-a-par das alternativas, em cada um dos critérios (MUSSOI, 2013). A partir da ferramenta, índices de concordância e de discordância são produzidos para determinar relações de dominância entre as alternativas e categorizá-las (FULOP, 2005).
- 2) PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations*) - Considera critérios a serem maximizados ou minimizados de forma não compensatória, isto é, baixos valores em determinados critérios não são compensados por altos valores em outros critérios como ocorre, por exemplo, em médias aritméticas ou ponderadas. Neste método são utilizados índices de preferência para determinar a intensidade global de preferência entre as alternativas, com o objetivo de se obter uma categorização parcial ou completa (FULOP, 2005).
- 3) TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) - Consiste na ordenação de preferência por similaridade, baseado no princípio de que a melhor alternativa é aquela em que está mais próxima de uma solução ideal e mais distante de uma solução não desejada, segundo um coeficiente de similaridade, que mede a semelhança entre as alternativas (BRITES, 2008).
- 4) MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) - Baseia-se na ponderação dos critérios e na avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade. De duas opções, julga-se a diferença de atratividade entre elas em muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema (BANA; COSTA, 2013).
- 5) AHP (*Analytic Hierarchy Process*) – Baseia-se em matemática e psicologia, fornecendo um procedimento compreensivo e racional para estruturar o problema e relacioná-lo à meta global. O AHP é baseado na decomposição do problema de decisão em uma estrutura hierárquica com múltiplos níveis de critérios e alternativas (MUSSOI, 2013).
- 6) SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) – Baseia-se em julgamentos simplificados para elicitación das preferências dos decisores, a partir da quantificação do valor global das alternativas de forma sistemática, usando uma função de valor aditiva ponderada (MUSSOI, 2013).

3.3. Procedimentos metodológicos

3.3.1. Escolha do método multicritério para aplicação de pesos aos critérios e subcritérios: método AHP

O método multicritério AHP foi escolhido para dar pesos aos critérios e subcritérios definidos na avaliação. O método foi escolhido por ser baseado em matemática e psicologia (MUSSOI, 2013), a qual permite a comparação de critérios qualitativos, considerando também os aspectos subjetivos na tomada de decisão. Esse é um dos princípios do método: não dispensar as premissas subjetivas do problema a ser analisado.

É possível avaliar quantitativamente qual matéria-prima é mais interessante em relação ao “teor de óleo”, por exemplo. Basta comparar o teor de óleo médio de cada oleaginosa e determinar o *ranking* das matérias-primas a partir da oleaginosa com maior teor de óleo para a que possui menor teor. Contudo, não há como avaliar de forma puramente quantitativa, por exemplo, se o custo da matéria-prima para produção do bioquerosene de uma oleaginosa é mais importante que seu teor de óleo. Por isso, a priorização dos critérios e subcritérios do problema em questão é de natureza qualitativa, e a priorização das alternativas (matérias-primas) é de natureza quantitativa.

Assim, como um critério/subcritério não possui necessariamente a mesma importância que o outro, faz-se necessária a participação de especialistas envolvidos no mercado de biocombustíveis de aviação para que, a partir de suas experiências, seja possível determinar a importância relativa de cada critério/subcritério. Para aplicação do método AHP, especialistas em bioquerosene de aviação foram convidados a responder o questionário multicritério AHP (ANEXO I). 18 especialistas responderam ao questionário, sendo 6 ligados ao setor empresarial, 6 às instituições governamentais, 3 às instituições de pesquisa e 3 às instituições sem fins lucrativos.

3.3.1.1. Detalhamento do método AHP

O método AHP fundamenta-se na priorização de alternativas para determinado problema levando também em consideração o aspecto subjetivo dos decisores. Neste item, o método de priorização das alternativas proposta por Saaty (1980) será detalhado para melhor entendimento deste trabalho.

O problema na análise AHP é dividido em fatores, que podem ser decompostos em novos fatores até um nível mais baixo, organizando uma hierarquia de níveis descendentes (CASTRO, 2013). O primeiro nível, no topo da hierarquia, compreende o objetivo final, isto é, o problema para qual se espera a melhor alternativa. O nível seguinte é preenchido pelos critérios a serem avaliados. Em seguida podem estar presentes subcritérios e, por fim, as alternativas à resolução do problema, que estão atreladas aos critérios/subcritérios e são comparadas de forma paritária.

Coitinho (2007 apud MENDES, 2012) apresentam algumas definições para melhor compreensão da análise hierárquica AHP: decisores - indivíduos que fazem escolhas; modelo - conjunto de regras e operações matemáticas para transformar as escolhas em um resultado quantitativo; critérios - ferramentas para auxiliar a comparação das ações em relação aos pontos de vistas particulares; alternativas - ações globais que podem ser avaliadas isoladamente; elementos de decisão - critérios, alternativas e subcritérios de uma estrutura hierárquica.

Castro (2013) sumariza as etapas do processo em quatro etapas básicas: (1) estruturação hierárquica; (2) aplicação da comparação paritária dos elementos em cada nível do sistema (critérios, subcritérios e alternativas); (3) princípio de priorização e; (4) sintetização de prioridades.

Segundo o autor, a etapa de estruturação hierárquica constitui-se da formulação do problema, ou seja, a definição do objetivo global e decomposição do sistema em vários níveis de hierarquia, dependendo da complexidade do problema tratado.

A Figura 5 mostra a estruturação hierárquica montada para resolução de problemas AHP.

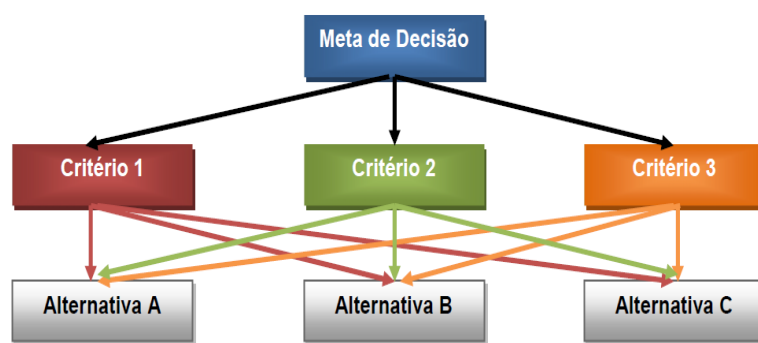


Figura 5 – Estruturação hierárquica para aplicação do método AHP. **Fonte:** VILAS BOAS, 2005 apud CASTRO, 2013.

Silva (2007) apresenta a escala recomendada por Saaty (1991), que contém uma escala numérica variando de 1 a 9, sendo o significado do valor 1 a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e o valor 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro. Os números 2, 4, 6, 8, por sua vez, representam os estágios intermediários de importância entre os níveis. Na análise pareada dos critérios, apenas metade das comparações precisa realmente ser realizada, isto porque a comparação entre os próprios critérios será sempre igual a 1, afinal um critério não tem importância maior ou menor quando comparado a ele próprio. Além disso, metade das comparações é de valores recíprocos já comparados.

O julgamento paritário indica o quão um critério é mais importante que o outro, ou a nível de alternativas, o julgamento será em relação a importância de uma alternativa face a outra. Se a alternativa A, por exemplo, ter uma importância absolutamente superior a alternativa B, o julgamento indica que $A=9B$.

Para cada julgamento paritário, é possível ir construindo a matriz de julgamento quadrada J_{ixj} , em que todos os critérios aparecem nas linhas e também nas colunas, na mesma ordem. A matriz abaixo apresenta uma representação da matriz de julgamentos.

$$J = \begin{pmatrix} \text{Critérios} & A & B & C & \dots & N \\ A & 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ B & 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ C & 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ n & 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Quando $i=j$, o elemento da matriz é o número 1, já que o critério A é igualmente importante em relação a si mesmo. De acordo com a Figura 3, o critério C é " a_{3n} " vezes mais importante que o critério N. Por sua vez, por uma questão de consistência, o critério N é " $1/a_{3n}$ " vezes mais importante que o critério C.

Considerando os julgamentos de vários decisores, efetua-se a média geométrica de cada julgamento pareado dos múltiplos decisores (SAATY; VARGAS, 2012) e então calcula-se o vetor de prioridades da matriz, que é o principal auto vetor normalizado (W). O auto vetor representa a ordem de prioridade/preferência. Segundo Silva (2007), a normalização do auto vetor pode ser feita pela divisão de cada elemento das colunas pela soma total da coluna, seguido da soma desses elementos recém calculados em cada linha, seguido da divisão do vetor coluna resultante pela dimensão da matriz.

Para avaliar o grau de consistência do julgamento realizado, calcula-se o máximo autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz de julgamentos, calculado a partir do produto entre a matriz de julgamentos (J) pelo vetor coluna de prioridades (W), seguido da divisão deste novo vetor (JW) por W (SILVA, 2007).

O grau de desvio da consistência pode ser calculado a partir da equação (1)

$$IC = \text{Índice de consistência} = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Em que n é a dimensão da matriz e $\lambda_{\text{máx}}$ é o máximo do autovalor.

Ishizaka e Labib (2011) acrescentam que para avaliar a real consistência da matriz de julgamentos, é necessário dividir o índice de consistência (IC) pelo Índice Randômico (IR) de Saaty (1980), conforme equação 2.

$$RC = \text{Razão de consistência} = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

A Tabela 4 apresenta o Índice Randômico (IR) para diferentes dimensões das matrizes.

Tabela 4 – Índice Randômico (IR) de Saaty (1980). **Fonte:** ISHIZAKA; LABIB, 2011

n (dimensão da matriz)	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Randômico (IR)	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Se a razão de consistência calculado for inferior a 0,1, considera-se satisfatório o julgamento realizado. Caso tal índice seja superior a 0,1, é necessário repetir o julgamento.

3.3.2. Escolha do método multicritério para estabelecer *ranking* das oleaginosas: método TOPSIS

O método TOPSIS foi escolhido para estabelecer o *ranking* das oleaginosas regionais promissoras para produção de bioquerosene de aviação HEFA no Brasil. O método foi escolhido por considerar na avaliação, o desempenho individual das oleaginosas em relação aos múltiplos critérios. Assim, é possível mesclar o aspecto subjetivo da ponderação dos critérios ao aspecto objetivo relacionado ao desempenho das alternativas.

O TOPSIS assume que a solução ideal positiva (*Positive Ideal Solution – PIS*) é aquela que maximiza os critérios de benefícios (aqueles em que o ideal é o máximo possível, como exemplo o “teor de óleo”) e minimiza os prejuízos (aqueles em que o ideal é que seja o mínimo possível, como exemplo o “custo do óleo”). A solução ideal negativa (*Negative Ideal Solution – NIS*), por sua vez, maximiza os critérios de prejuízos e minimiza os de benefícios. Ou seja, a PIS é composta por todos os melhores valores obteníveis nos critérios, enquanto a NIS é composta pelos piores valores.

De acordo com o conceito básico do TOPSIS, a melhor matéria-prima oleaginosa será aquela que estiver mais próxima da PIS e mais distante da NIS. Essa premissa define o Coeficiente de Similaridade (ou Proximidade Relativa), obtido pela combinação das distâncias euclidianas em relação às soluções ideais positiva e negativa, o qual será usado para estabelecer o *ranking* das matérias-primas.

Para aplicação do método, por sua vez, pesquisou-se na literatura o desempenho de cada oleaginosa em relação a cada subcritério. Por exemplo, para o subcritério “acidez do óleo”, consultou-se na literatura o teor de acidez médio do óleo de cada uma das oleaginosas comparadas. Para o subcritério “custo do óleo”, consultou-se o custo médio praticado para cada um dos óleos das oleaginosas comparadas. E assim foi feito para todos os subcritérios. A matriz de desempenho das oleaginosas para cada região do País e considerações para sua construção estão detalhadas no item 3.4.2 deste capítulo.

3.3.2.1. Detalhamento do método TOPSIS

O método TOPSIS possui uma abordagem voltada para encontrar uma alternativa que seja a mais próxima da solução ideal e mais afastada da solução ideal-negativa em um espaço de computação multidimensional. Esse espaço de computação multidimensional é determinado pelo conjunto de critérios como sendo as dimensões. A solução ideal representa uma alternativa virtual com um conjunto dos melhores escores para cada critério e a solução ideal-negativa é uma alternativa virtual com os piores escores (GODINHO; MIRANDA, 2014).

MUSSOI (2013) indica que para a aplicação do método TOPSIS é preciso conhecer o desempenho de cada critério em relação a cada alternativa, construindo-se inicialmente uma matriz de desempenho. Assim, consideram-se conhecidos os conjuntos de alternativas A , conforme descrito na equação (3) e de critérios, conforme equação (4).

$$A = \{A_i | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$C = \{c_j | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

Em que X (equação 5) representa o conjunto de valores do desempenho da alternativa A_i no critério C_j , e W (equação 6) é o conjunto de pesos atribuídos para cada critério.

$$X = \{x_{ij} | i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

$$W = \{w_j | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

A matriz de decisão A do problema multicritério é composta pelos elementos X_{ij} e apresenta dimensão $(m \times n)$, com o seguinte formato:

$$\begin{matrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ A_1 & \left[\begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \end{matrix} \right. \\ A_2 & \left. \begin{matrix} x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \end{matrix} \right. \\ \vdots & \left. \begin{matrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \right. \\ A_m & \left. \begin{matrix} x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Figura 6 – Matriz de decisão TOPSIS. **Fonte:** MUSSOI, 2013.

Em seguida, uma matriz de decisão normalizada N deve ser obtida pela transformação dos valores das diversas dimensões em valores não dimensionais, para permitir a comparação dos critérios decisórios. O valor normalizado do elemento n_{ij} é calculado por:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (7)$$

Com os valores normalizados, a escala não se configura um problema. Em seguida, a matriz de decisão ponderada V deve ser obtida, cujos elementos v_{ij} são calculados por:

$$v_{ij}(\mathbf{x}) = w_j \cdot n_{ij}(\mathbf{x}) \quad (8)$$

Onde w_j é o peso do j -ésimo critério. Destaca-se que o somatório dos pesos dos critérios é 1, conforme é apresentado na equação 9.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

Esses pesos devem refletir a importância relativa de cada critério e podem ser obtidos pelo método AHP.

MUSSOI (2013) cita que após determinação dos pesos, são determinadas as soluções ideais. A equação 10 mostra a PIS solução ideal positiva (PIS) - aquela que apresenta o desempenho extremo (máximo) em cada critério, ou seja, o maior valor em cada coluna da matriz de decisão ponderada V . A equação 11 mostra a solução ideal negativa (NIS) - aquela que apresenta desempenho extremo reverso (mínimo) em cada critério, ou seja, o menor valor em cada coluna da matriz ponderada V .

$$\begin{aligned} PIS &= \left\{ \left(\max_i v_{ij}(\mathbf{x}) | j \in J^+ \right), \left(\min_i v_{ij}(\mathbf{x}) | j \in J^- \right) \right\}; \\ PIS &= \{v_1^+(\mathbf{x}), v_2^+(\mathbf{x}), \dots, v_j^+(\mathbf{x}), \dots, v_n^+(\mathbf{x})\}. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} NIS &= \left\{ \left(\min_i v_{ij}(\mathbf{x}) | j \in J^+ \right), \left(\max_i v_{ij}(\mathbf{x}) | j \in J^- \right) \right\}; \\ NIS &= \{v_1^-(\mathbf{x}), v_2^-(\mathbf{x}), \dots, v_j^-(\mathbf{x}), \dots, v_n^-(\mathbf{x})\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Em que J^+ (equação 12) está associado aos critérios positivos (benefícios) e J^- (equação 13) está associado aos critérios negativos, normalmente os custos.

$$J^+ = \{j = 1, 2, \dots, n\} \quad (12)$$

$$J^- = \{j = 1, 2, \dots, n\} \quad (13)$$

A medida da distância de separação de cada critério com relação ao ideal positivo S_i^+ (equação 14) e ao ideal negativo S_i^- (equação 15), para cada alternativa, deve ser calculada usando a distância Euclidiana n-dimensional:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^+(\mathbf{x}) - v_{ij}(\mathbf{x}))^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^-(\mathbf{x}) - v_{ij}(\mathbf{x}))^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

A proximidade relativa da alternativa A_i com relação à solução ideal positiva (PIS) é determinada pelo Coeficiente de Similaridade:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (16)$$

Em que:

$$0 \leq C_i^+ \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{e} \quad C_i^+ = 1, \quad \text{se} \quad A_i = PIS, \quad \text{e} \quad C_i^+ = 0, \quad \text{se} \quad A_i = NIS$$

Quanto maior o valor do Coeficiente de Similaridade C_i^+ , melhor o desempenho da alternativa A_i . O *ranking* das alternativas preferenciais é obtido pela ordem decrescente do valor do Coeficiente de Similaridade. Portanto, a melhor alternativa é aquela que apresentar o maior valor para o Coeficiente de Similaridade, ou seja, a maior proximidade da solução ideal positiva (MUSSOI, 2013).

3.3.3. Escolha dos critérios e subcritérios avaliados

Os critérios selecionados nesta avaliação foram baseados nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, necessários para o desenvolvimento sustentável, conforme definido no triângulo da sustentabilidade de Munasinghe (1993) e pelos pilares de sustentabilidade da Parceria Global de Bioenergia – GBEP (GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP, 2012). Os autores Cobuloglu e Büyüktaktakin (2015) também indicam estes critérios como primordiais para seleção de matérias-primas para uso energético.

Além dos critérios econômicos, ambientais e sociais, foram incluídos os critérios “escala de produção” e “qualidade do óleo e oleaginosa”, definidos, pelos autores indicados na Tabela 5, como atributos essenciais para escolha de matérias-primas oleaginosas. A Tabela 5 resume os critérios a serem avaliados e as referências consultadas.

Tabela 5 – Critérios avaliados no estudo.

Critérios	Notação utilizada	Referências
Econômico	C1	MUNASINGHE, 1993
Ambiental	C2	GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP, 2012 COBULOGLU; BÜYÜKTAHTAKIN, 2015
Social	C3	
Escala de Produção	C4	CANTARELLA <i>ET AL.</i> , 2015 LAVIOLA, 2015
Qualidade do óleo e oleaginosa	C5	BRAUN-UNKHOFF; RIEDEL, 2015 ZHAO; WEI; JULSON, 2014

Para a escolha dos subcritérios, foi realizado levantamento bibliográfico dos principais parâmetros desejáveis para o sucesso de oleaginosas na produção de bioquerosene de aviação. A busca contou com pesquisa de estudos publicados em periódicos revisados por pares nos últimos quinze anos (janeiro de 2002 a janeiro de 2017), também a partir do portal CAPES. As seguintes palavras-chaves foram consideradas: (*biojet* OR “*aviation biofuel*” OR “*renewable jet fuel*” OR “*aviation renewable fuel*” OR “*renewable aviation fuel*” OR *biokerosene* OR “*alternative aviation fuel*”) AND (*hydroprocessed* OR *hydroprocessing* OR *hydrotreatment* OR *hydrogenated* OR *hydrogenation*) AND (“*oilseeds*” OR “*oilseed*” OR “*vegetable oils*”). A partir da busca, foram encontrados 78 trabalhos.

Além da busca de artigos no Portal Capes, pesquisou-se publicações, referente ao tema, do Ministério de Minas e Energia e Embrapa, além de critérios e princípios de normas internacionais de sustentabilidade, como a Mesa Redonda sobre Sustentabilidade dos Biocombustíveis (*Roundtable on Sustainable Biomaterials - RSB*), Parceria Global de Bioenergia (*Global Bioenergy Partnership - GBEP*); e Certificação Internacional de Sustentabilidade e Carbono (*International Sustainability and Carbon Certification - ISCC*).

A Tabela 6 apresenta os subcritérios e as referências consultadas.

Tabela 6– Subcritérios avaliados no estudo.

Critérios	Subcritérios	Notação utilizada	Referências
Econômico	Custo do óleo	SC1	MONTEIRO, 2007 KOUSOULIDOU; LONZA, 2016 WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006 CAIXETA, 2009
	Custo da oleaginosa	SC2	MONTEIRO, 2007 WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006 HARI <i>et al.</i> , 2015 DINH; GUO; MANNAN, 2009 MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006 CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015
Ambiental	Uso da terra: produtividade da Oleaginosa	SC3	MONTEIRO, 2007 WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006 CAIXETA, 2009 PADULA <i>et al.</i> , 2012 ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002 LAVIOLA, 2015 CRESTANA, 2005 ATABANI <i>et al.</i> , 2013 CARGNIN <i>et al.</i> , 2008 BERGMANN <i>et al.</i> , 2013 BAGLIVI <i>et al.</i> , 2015 CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015
	Uso da terra rendimento em óleo	SC4	MONTEIRO, 2007 WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006 CAIXETA, 2009 HARI <i>et al.</i> , 2015 ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002 ATABANI <i>et al.</i> , 2013 CARGNIN <i>et al.</i> , 2008 CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015
	Exigências hídricas	SC5	DINH; GUO; MANNAN, 2009 BUCHHOLZ; LUZADIS; VOLK, 2009

				COBULOGLU; BÜYÜKTAHTAKIN, 2015
				HARI <i>et al.</i> , 2015
				CRESTANA, 2005
				INTERNATIONAL SUSTAINABILITY AND CARBON CERTIFICATION, 2012
				ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOFUELS, 2010
				GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP, 2005
Social	Dependência extrativismo	do	SC6	CRESTANA, 2005
				INTERNATIONAL SUSTAINABILITY AND CARBON CERTIFICATION, 2012
				ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOFUELS, 2010
	Dependência alimentar do óleo		SC7	BUCHHOLZ; LUZADIS; VOLK, 2009
				COBULOGLU; BÜYÜKTAHTAKIN, 2015
				PADULA <i>et al.</i> , 2012
				KOUSOULIDOU; LONZA, 2016
				HARI <i>et al.</i> , 2015
				ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOFUELS, 2010
Escala de Produção	Produção agrícola anual		SC8	CAIXETA, 2009
				MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006
				COBULOGLU; BÜYÜKTAHTAKIN, 2015
				LAVIOLA, 2015
				DEL GATTO <i>et al.</i> , 2015
	Área plantada		SC9	MONTEIRO, 2007
				WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006
				DINH; GUO; MANNAN, 2009
				MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006
				LAVIOLA, 2015
				CRESTANA, 2005
				PETROU; PAPPIS, 2009

			CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015
Teor de óleo	SC10		MONTEIRO, 2007
			WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2006
			CAIXETA, 2009
			DINH; GUO; MANNAN, 2009
			MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006
			PADULA <i>et al.</i> , 2012
			DEL GATTO <i>et al.</i> , 2015
			CRESTANA, 2005
			ATABANI <i>et al.</i> , 2013
			CARGNIN <i>et al.</i> , 2008
			BERGMANN <i>et al.</i> , 2013
			BAGLIVI <i>et al.</i> , 2015
			LAVIOLA, 2015
Período de colheita (sazonalidade)	SC11		MONTEIRO, 2007
			CAIXETA, 2009
			MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006
			CRESTANA, 2005
			BERGMANN <i>et al.</i> , 2013
Cultivares registrados	SC12		MONTEIRO, 2007
			LAVIOLA, 2015
			CRESTANA, 2005
Qualidade do óleo oleaginosa	Poder calorífico inferior do óleo	SC13	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006
			ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002
			BAROUTIAN, <i>et al.</i> , 2013
			CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b
			ZHAO; WEI; JULSON, 2014
			PETCU <i>et al.</i> , 2016
			CANTARELLA <i>et al.</i> , 2015
Acidez do óleo	SC14		ATABANI <i>et al.</i> , 2013
			MELO <i>et al.</i> , 2014
			ZHAO; WEI; JULSON, 2014
			BAROUTIAN <i>et al.</i> , 2013
Umidade do óleo	SC15		ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002
			ATABANI <i>et al.</i> , 2013
			ZHAO; WEI; JULSON, 2014
			BAROUTIAN, <i>et al.</i> , 2013
Teor de ácidos graxos	SC16		CRESTANA, 2005

saturados no óleo		ATABANI <i>et al.</i> , 2013
		CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b
		MELO <i>et al.</i> , 2014
Umidade da SC17		CARGNIN <i>et al.</i> , 2008
oleaginosa		COBULOGLU; BÜYÜKTAHTAKIN, 2015

Um importante subcritério ambiental citado na pesquisa foi às emissões de gases de efeito estufa (a pegada de carbono) ao longo do ciclo de produção do bioquerosene (CANTARELLA *et al.*, 2015, CRESTANA, 2005, CREMONEZ *et al.*, 2015b, LOKESH *et al.*, 2015; TRIVEDI *et al.*, 2015; UKAEW *et al.*, 2014; 2015; 2016; BAILIS; BAKA, 2010; SIEVERDING *et al.*, 2016; STRATTON *et al.*, 2011; HAN *et al.*, 2013; DE JONG *et al.*, 2017; SHONNARD *et al.*, 2015; ZEMANEK, 2018). Contudo, neste capítulo, tal subcritério não foi levado em consideração devido ao número reduzido de trabalhos publicados relacionados à Análise de Ciclo de Vida (ACV) do bioquerosene de aviação. Embora alguns trabalhos em relação ao tema tenham sido publicados para o bioquerosene HEFA (vide item 4.1.1 do capítulo 4), nem todas as oleaginosas avaliadas no presente capítulo foram consideradas nos estudos publicados de ACV. A falta de dados amplamente disponíveis na literatura a respeito de ACV para o bioquerosene produzido a partir de todas as oleaginosas avaliadas neste capítulo, impossibilitou a inclusão deste subcritério na avaliação, já que para a aplicação do método, é preciso conhecer o desempenho de todas as oleaginosas em relação a todos os subcritérios avaliados. Contudo, dada a importância deste parâmetro, no capítulo 4, a pegada de carbono será considerada no desenvolvimento de uma análise multicritério reduzida, isto é, considerando apenas as matérias-primas cujos dados de ACV do bioquerosene estão amplamente disponíveis na literatura.

A definição de cada subcritério avaliado neste capítulo, bem como a solução ideal para cada um (ou seja, se é desejável que o mesmo possua valores máximos ou mínimos) e as unidades de medida estão indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Definição dos subcritérios a serem avaliados no estudo e suas respectivas soluções ideais.

Subcritérios	Definição	Solução Ideal	Unidade de Medida
SC1	Valor médio do kg do óleo	Mínima. Quanto menor o custo do óleo, menor será o custo de produção do bioquerosene.	R\$/kg
SC2	Valor médio da tonelada da cultura	Mínima. Quanto menor o custo da oleaginosa, menor será o custo de	R\$/t

			produção do bioquerosene.	
SC3	Massa da cultura produzida por hectare plantado		Máxima. Quanto maior a massa de oleaginosa produzida por hectare da cultura plantada, menores áreas serão necessárias para produção da cultura.	kg/ha
SC4	Massa de óleo produzida por hectare da cultura plantada		Máxima. Quanto maior a quantidade de óleo produzida por hectare da cultura plantada, menores áreas serão necessárias para plantações da oleaginosa.	t/ha
SC5	Necessidade de precipitação pluviométrica para o bom rendimento da cultura		Mínima. Quanto menor a demanda hídrica, avaliada em precipitação pluviométrica, por ciclo da cultura, menor a demanda por irrigação (SIMÃO, 2004), menor o uso de água, favorecendo o meio ambiente, com menores os custos de produção.	mm
SC6	Dependência do extrativismo de cada cultura pela sociedade.		Mínima. Quanto menor a dependência de determinada cultura ao extrativismo, menos serão afetadas as famílias que sobrevivem extraindo óleo do fruto e outros produtos aproveitáveis das oleaginosas para alimentação, construção e artesanato.	Adimensional
SC7	Concorrência do óleo para produção de biocombustíveis em relação à indústria alimentícia.		Mínima. Quanto menor a dependência alimentar do óleo de determinada cultura, menores são os riscos de desabastecimento alimentar causado pela demanda do óleo para produção do bioquerosene.	Adimensional
SC8	Massa da cultura produzida por ano		Máxima. Quanto maior a produção da oleaginosa, maior a disponibilidade para produção de bioquerosene, reduzindo os custos.	t/ano
SC9	Área da cultura plantada		Máxima. Quanto maior área plantada, maior a	ha

		disponibilidade de matéria-prima, menor risco ao desabastecimento da oleaginosa para produção do bioquerosene.	
SC10	Porcentagem de óleo no fruto/grão/amêndoa	Máxima. Quanto maior a quantidade de óleo no vegetal, maior o insumo de interesse para produção de bioquerosene.	% m/m
SC11	Meses do ano que a cultura está melhor adaptada para colheita	Máxima. Quanto maior o período do ano em que determinada cultura está adaptada a colheita, maior a disponibilidade de matéria-prima e menor o risco de desabastecimento do óleo para produção de bioquerosene.	meses
SC12	Número de cultivares registrados no MAPA	Máxima. Quanto maior o número de cultivares registrados no MAPA, maior o domínio tecnológico de determinada cultura.	Adimensional
SC13	Quantidade de calor liberada por 1kg de combustível quando este entra em combustão com excesso de ar e gases de descarga resfriados até o ponto de ebulição da água. Neste caso, o combustível considerado é o próprio óleo.	Máxima. Quanto maior a energia contida em um kg de óleo, maior energia liberada por unidade de massa. Uma alta densidade energética é essencial para uma boa combustão (NEULING; KALTSCHMITT, 2015)	Kcal/kg
SC14	Massa de NaOH (mg) necessária para neutralizar um grama de óleo.	Mínima. Embora a catálise no processo HEFA seja metálica (SOUSA, 2013), o óleo precisa ser neutralizado (CHIARAMONTI <i>et al.</i> , 2014, KRUGER <i>et al.</i> , 2017; NEULING; KALTSCHMITT, 2015). Quanto maior a acidez do óleo, menor a estabilidade química do óleo, maior a quantidade necessária de neutralizantes no	mg de NaOH/g

		processo.	
SC15	Porcentagem de massa de água presente no óleo calculada geralmente por espectrofotometria na região do infravermelho ou titulação de Karl Fischer	Mínima. A presença de água no óleo favorece a hidrólise de triglicerídeos (CHIARAMONTI <i>et al.</i> , 2014), além de favorecer a proliferação de micro-organismos.	% m/m
SC16	Porcentagem de ácidos graxos saturados. Cada óleo possui uma diferente composição quanto ao teor de ácido graxo insaturado (oleico, linoleico, linolênico) e ácido graxo saturado (mirístico, palmítico, esteárico)	Máxima. Para produção de bioquerosene de aviação pelo processo HEFA, é ideal que o óleo tenha poucas insaturações, isto é, seja o máximo saturado. Quanto mais saturado é o óleo, menor a exigência de hidrogênio na etapa de hidrogenação (WANG <i>et al.</i> , 2016).	% m/m
SC17	Porcentagem de massa de água presente no fruto/grão/amêndoa	Mínima. Quanto menor a quantidade de água na oleaginosa, menor a atividade biológica e menores as mudanças físico-químicas que ocorrem durante o armazenamento (CARNEIRO, 2015).	% m/m

3.3.4. Escolha das oleaginosas a serem avaliadas

Para escolha das oleaginosas a serem avaliadas neste trabalho, foi realizada pesquisa de estudos que citam oleaginosas para produção de bioquerosene de aviação, publicados em periódicos revisados por pares nos últimos quinze anos (janeiro de 2002 a janeiro de 2017) a partir do portal CAPES. As seguintes palavras-chaves foram consideradas: (*biojet* OR "*aviation biofuel*" OR "*renewable jet fuel*" OR "*aviation renewable fuel*" OR "*renewable aviation fuel*" OR *biokerosene* OR "*alternative aviation fuel*" OR "*alternative jet fuel*" OR "*alternative kerosene*") AND ("*oilseeds*" OR "*oilseed*" OR "*vegetable oils*") AND (*Brazil**).

A partir da busca, 55 artigos foram encontrados e 25 foram selecionados por citar pelo menos uma oleaginosa para produção de bioquerosene de aviação no Brasil. Na Tabela 8 são apresentadas as matérias-primas citadas por cada um dos estudos selecionados.

Tabela 8 – Matérias-primas consideradas para a produção de bioquerosene de aviação no Brasil.

	CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015a	CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015b	RICO; SAUER, 2015	MORAES <i>et al.</i> , 2014	PARENTE <i>et al.</i> , 2007	MCCARTHY, 2016	ZHAO, 2015	SPINELLI <i>et al.</i> , 2014	ROBERTS, 2011	HENDRICKS; BUSHNELL, 2011	SILVA; CARDOSO; PASA, 2016	NETO <i>et al.</i> , 2017	JENSEN <i>et al.</i> , 2012	RYE; BLAKEY; WILSON, 2010	POPP <i>et al.</i> , 2014	GEGG <i>et al.</i> , 2014	HILEMAN, STRATTON, 2014	NOH; BENTO; ALONSO, 2016	DETTMER <i>et al.</i> , 2015	HUGULES; ASSOUMOU; MAIZI, 2016	LÜDEKE-FREUND <i>et al.</i> , 2012	BLAKEY; RYE; WILSON, 2011	NEULING; KALTSCHMITT, 2015	POMPELLI <i>et al.</i> , 2011	CORTEZ <i>et al.</i> , 2015	TOTAL	
Abacate																											1
Algodão		X	X										X									X	X	X	X		6
Amendoim	X	X	X				X															X	X	X	X		7
Andaiá																									X		1
Babaçu	X	X	X		X									X			X							X			7
Buriti																								X			1
Camelina										X															X		2
Coco		X												X										X			3
Colza ou Canola	X	X	X			X							X					X		X	X	X	X	X	X	X	1
																											1
Crambe	X	X																									2
Cupuaçu																								X			1
Cutieira																								X			1
Gergelim			X																					X			2
Girassol	X	X	X			X						X	X					X		X	X	X	X	X	X		1
																											1
Inajá																								X			1
Indaiá-rateiro																								X			1
Pinus																									X		1
Macaúba										X														X			2
Mamona			X							X				X										X	X		5
Melão																								X			1
Milho																								X			1
Moringa																								X			1
Murumuru																								X			1
Nabo forrageiro	X																										1
Oiticica																								X			1
Palma ou Dendê	X	X	X										X	X	X		X	X				X	X	X	X		1
																											1
Pequi																								X			1

Pidoba											x	1
Pinhão-bravo											x	1
Pinhão-Manso	x	x			x	x	x			x	x	13
Soja		x	x	x	x		x		x	x	x	16
Tucumã											x	1
Uricuri											x	1
Sorgo											x	1
Eucaliptus											x	1
Cassava											x	1
Tremoço	x						x					2
Oliva			x								x	2
Linhaça			x								x	2
Trigo											x	1

As matérias-primas mais citadas na Tabela 5 foram: soja (16 referências), seguido por pinhão-manso (13 referências), palma, girassol e canola (11 referências), babaçu e amendoim (7 referências), algodão (6 referências) e mamona (5 referências). Todas as outras matérias-primas foram citadas menos de três vezes.

Além das nove matérias-primas mais citadas, a macaúba foi incluída na avaliação pela relevância da Lei Pró-macaúba (Lei nº 19.485, de 13 de janeiro de 2011) (BRASIL, 2011b), a qual institui a política estadual de incentivo ao cultivo, a extração, a comercialização, o consumo e a transformação da macaúba, visando a sua integração como um item relevante da cadeia de suprimento da matéria-prima sustentável para a Plataforma Mineira de Bioquerosene. Desta forma, as oleaginosas selecionadas para o estudo foram as dez, indicadas na Tabela 9

Tabela 9 – Matérias-primas escolhidas para serem comparadas no estudo.

Matéria-prima oleaginosa	Notação utilizada
Algodão (<i>Gossypium hirsutum L.</i>)	MP1
Amendoim (<i>Arachis hypogaea L.</i>)	MP2
Babaçu (<i>Attalea speciosa M.</i>)	MP3
Colza ou Canola (<i>Brassica napus L.</i>)	MP4
Girassol (<i>Helianthus annuus L.</i>)	MP5
Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)	MP6
Mamona (<i>Ricinus communis L.</i>)	MP7
Palma ou Dendê (<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>)	MP8
Pinhão-Manso (<i>Jatropha curcas L.</i>)	MP9

A seguir, um breve resumo das matérias-primas escolhidas para serem comparadas no estudo será apresentado.

3.3.4.1 Soja (*Glycine max L.*)

A soja, de nome científico *Glycine max L.*, é um grão rico em proteínas consumido tanto por homens quanto por animais. É um grão originário da China que faz parte da família *Fabaceae* (leguminosas), assim como a ervilha, o feijão e a lentilha (BARROS; JARDINE, 2016a).

No Brasil, é um grão muito plantado e apresenta formato arredondado com cor amarela, contendo de 18% a 20% de óleo (BARROS; JARDINE, 2016a), que se caracteriza por ser rico em ácidos graxos insaturados (aproximadamente 85% do total), como o oléico, linoléico e linolênico (FUENTES, 2011).

O farelo representa 79%, com teor de proteína de 45%. Sua vagem pode ter até quatro sementes e sua estabilidade é limitada pelo alto teor de ácido linolênico (BARROS; JARDINE, 2016a). Nos últimos 20 anos, a agricultura de soja aumentou sua área de cultivo devido à alta demanda do setor produtivo e ao crescimento mundial no consumo deste grão tanto por humanos, como por animais e devido sua aplicabilidade também na produção de energia (BARROS; JARDINE, 2016a).

Este grão tem ampla aplicação também no setor industrial, com destaque para o setor alimentício, na produção de leite de soja, carne de soja, tofu, doces, óleo de soja, farinhas, rações para animais etc. e destaque também para os processos químicos de cosméticos, sabão e produção de biodiesel (BARROS; JARDINE, 2016a).

3.3.4.2. Palma (*Elaeis Guineensis*)

A palma, também conhecida como dendê, é uma planta oleaginosa originária da África tropical, também cultivada na América Central, América do Sul e Ásia, cujo nome científico é *Elaeis Guineensis*. Dois tipos de óleo são obtidos dos frutos da palmeira oleaginosa: o óleo de palma (extraído da polpa) e o óleo de palmiste (extraído da amêndoa) (BRANCO, 2006). O rendimento em óleo representa aproximadamente 22% do peso dos cachos para o óleo de palma e 3% para o óleo de palmiste. A principal diferença entre o óleo de palma e o de palmiste está no teor de ácido palmítico e de ácido oléico (BRANCO, 2006).

O dendezeiro é uma planta oleaginosa com até 15 m de altura, de ciclo perene, monocotiledônea e pertencente à família das *Arecaceae* (palmeiras) (FEROLDI *et al.*, 2014). Por ser cultura perene de ciclo longo e de cultivo manual apresenta alta contribuição para o desenvolvimento social com a geração de empregos (PÁDUA, 2012; FEROLDI *et al.*, 2014).

Além dos frutos, tem-se como subproduto do cultivo os cachos vazios que podem ser utilizados como adubo orgânico de lavouras de subsistência devido sua riqueza em potássio. Após extração do óleo, a polpa apresenta fibras que podem ser destinadas a alimentação de caldeiras a vapor, sendo que a casca também possui alto poder calorífico, tendo emprego como matéria-prima na indústria de carvão (SLUSZZ; MACHADO, 2006; FEROLDI *et al.*, 2014).

O ácido palmítico e o ácido oléico são os principais ácidos graxos que compõe o óleo de dendê, enquanto o óleo de amêndoa de palma é rico em ácido láurico, e é semelhante ao óleo de coco. Quase 90% do óleo de palma do mundo são usados para fins comestíveis (SAMBANTHAMURTHI *et al.*, 2000; FEROLDI *et al.*, 2014).

3.3.4.3. Colza (*Brassica napus L. var oleífera*)

A colza ou canola (*Brassica napus L. var oleífera*) é uma oleaginosa pertencente à família das crucíferas (como o repolho e a couve), e ao gênero *Brassica* (TOMM *et al.*, 2009). Os grãos de colza atualmente produzidos no Brasil possuem, em média, 38% de óleo (TOMM *et al.*, 2009). A presença de 7% a 11% de ácido linolênico na composição do óleo de colza coloca este óleo na mesma categoria do óleo de soja em relação a sabor e a estabilidade oxidativa (PRZYBYLSKI *et al.*, 2005 apud FUENTES, 2011).

O cultivo da colza possui grande valor socioeconômico por oportunizar a produção de óleos vegetais no inverno, somando-se à produção de soja no verão. Dessa forma, a colza contribui para otimizar os meios de produção (terra, equipamentos e pessoas) disponíveis para a soja (MELGAREJO *et al.*, 2014). No Brasil, hoje, se cultiva apenas colza de primavera, da espécie *Brassica napus L. var. oleífera*, que foi desenvolvida por melhoramento genético convencional da colza, grão que apresentava teores mais elevados de ácido erúcido e de glucosinolatos (TOMM *et al.*, 2009).

3.3.4.4. Girassol (*Helianthus annuus L.*)

O girassol, planta originária da América do Norte e da América Central, possui nome científico *Helianthus annuus L.* e faz parte da família das *Compositae*, também conhecidas como margaridas. Esta espécie é anual, com caule grosso, ereto, robusto, de rápido crescimento, tendo poucas ramificações no ápice, podendo atingir 2 a 3 metros de altura (BARROS; JARDINE, 2016b).

Por ser uma cultura versátil que pode ser utilizada tanto na alimentação de humanos, animais e na produção de bicompostíveis, a agricultura de girassol tem sofrido um considerável aumento (BARROS; JARDINE, 2016b).

A semente de girassol possui cerca de 24% de proteínas e 47,3% de óleo. O óleo apresenta em sua composição baixa quantidade de ácidos graxos saturados e alto teor de

ácidos graxos poli-insaturados, sendo os principais o ácido oleico, com teor médio de 20% e linoleico, com teor médio de 69% (FUENTES, 2011).

O farelo é utilizado como matéria-prima na indústria de tortas, forrageiras, para alimentação do gado e em fertilizantes para a lavoura (BARROS; JARDINE, 2016b). A partir de suas sementes, é possível extrair o óleo de girassol que é comestível, e tem alta qualidade nutricional e possui ampla aplicação na indústria de alimentos, já que possui menor quantidade de gordura saturada quando comparado aos óleos de soja e de milho (BARROS; JARDINE, 2016b).

3.3.4.5. Pinhão-Manso (*Jatropha curcas L.*)

O pinhão-manso possui nome científico *Jatropha curcas L.* e faz parte da família das *Euforbiáceas*, a mesma da mamona e da mandioca. Trata-se de um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, podendo alcançar até cinco metros em condições especiais (PAULINO, 2011).

Suas sementes e amêndoas possuem alto teor de óleo, na faixa de 27 a 35% e as amêndoas na faixa de 35 a 38% (ALVES *et al.*, 2010). O óleo de pinhão-manso é altamente tóxico e não pode ser usado como alimento humano e animal, logo sua produção poderá ser destinada apenas para fins energéticos, não competindo com a produção de alimentos (RANUCCI *et al.*, 2015).

Esta oleaginosa está sendo considerada uma opção agrícola para a região nordeste por ser uma espécie nativa, exigente de insolação e resistente à seca (PAULINO, 2011). Além disso, segundo Purcino e Drummond (1986), o pinhão-manso, por ser uma cultura perene, pode ser utilizado na conservação do solo, cobrindo com uma camada de matéria seca, reduzindo, dessa forma, a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta.

3.3.4.6. Amendoim (*Arachis hypogaea L.*)

O amendoim é uma leguminosa pertencente à família *Fabaceae*, espécie *Arachis hypogaea L.*, com distribuição natural ao Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai (MELO FILHO; DOS SANTOS, 2013).

Esta leguminosa possui alto teor de óleo, variando entre 40 e 50% em peso. Tal óleo é rico em ácidos graxos insaturados, como o oléico e linoléico, com respectivo teor de 40 e 36% (POMPELLI *et al.*, 2011). A farinha do amendoim possui em média 45% a 54% de proteína e 32% a 38% de carboidratos, sendo geralmente utilizada na fabricação de tortas, paçocas, bolos, entre outros (FREIRE *et al.*, 2005 apud MELO FILHO; DOS SANTOS, 2013).

Sua principal aplicação é na indústria alimentar. Algumas variedades, por conter grande quantidade de lipídios, são utilizadas na fabricação de óleo de cozinha.

3.3.4.7. Macaúba (*Acrocomia aculeata*.)

A macaúba possui nome científico *Acrocomia aculeata*. Esta planta é uma palmeira que alcança até 25 metros de altura e possui espinhos longos e pontiagudos (COLLARES, 2015). Seu teor de óleo pode chegar a 70% na polpa e 60% na amêndoa (DE MELO, 2012).

O aproveitamento da macaúba vai do fruto até a madeira. A polpa e a farinha retirada de seus frutos são ricas em vitamina A e betacaroteno e podem ser usadas para fazer suco, sorvete, bolos, pães e doces. As folhas servem para a confecção de redes e linhas de pescaria. Já a madeira pode ser aproveitada para ser utilizada em casas e outras construções no campo. O óleo da amêndoa, por sua vez, é usado na produção de sabão, sabonete, margarina, cosméticos (PORTAL MACAÚBA, 2014).

Mais recentemente a macaúba tem sido apontada como alternativa para o desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais e no contexto da integração, lavoura, pecuária e florestas (COLLARES, 2015).

3.3.4.8. Babaçu (*Attalea ssp.*)

O babaçu é uma palmeira da família botânica *Arecaceae*, que está presente em diversos Países da América Latina. No Brasil, está presente predominantemente na Amazônia, na Mata Atlântica, no Cerrado e na Caatinga (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2010).

Essa palmeira possui grande porte, podendo chegar a 20 m de tronco cilíndrico e copa em formato de taça. O fruto é uma drupa com elevado número de frutos por cacho (TEIXEIRA, 2002). “As amêndoas correspondem de 6 a 8 % do peso do coco integral e estão envoltas por um tegumento castanho, e são separadas umas das outras por paredes divisórias” (SANTOS, 2008, p. 12). A amêndoa do coco babaçu é composta por mais de 60% de óleo rico em ácido láurico, utilizado na indústria cosmética, alimentícia e até mesmo para produção de biocombustíveis (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2010).

O extrativismo do babaçu possui grande representatividade nos municípios de ocorrência da palmeira:

“A cadeia produtiva do babaçu é uma das mais representativas do extrativismo vegetal no Brasil, em razão da área de abrangência da palmeira babaçu (13 a 18 milhões de hectares em 279 municípios, situados em 11 Estados), bem como das inúmeras potencialidades e atividades econômicas que podem ser desenvolvidas a partir dela, de sua importância para famílias que sobrevivem da agricultura de subsistência associada à sua exploração, e da forte mobilização social e política em favor do acesso livre aos babaçuais” (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2010, p. 10).

3.3.4.9. Mamona (*Ricinus communis L.*)

A Mamona, cujo nome científico é *Ricinus communis L.*, é uma planta originária da Ásia meridional que faz parte da família das *Euphorbiaceae* (BARROS; JARDINE, 2016c). No Brasil, pode ser conhecida como mamoneira, rícino, carrapateira, bafureira, baga e palmaricriste (BARROS; JARDINE, 2016c).

Trata-se de uma planta arbustiva, com diversas colorações de caule, folhas e cachos, podendo ou não possuir cera no caule e pecíolo. Em geral os frutos possuem espinhos. As sementes possuem diferentes tamanhos, formatos e grande diversidade de cores (SAVY FILHO, 2001).

Nas sementes de mamona está presente o óleo de mamona ou de rícino, cujo teor de óleo das sementes variam de 35 a 55% (COSTA, 2006). O ácido graxo mais abundante neste óleo é o ácido graxo ricinoléico, que representa 90% do óleo e possui grande aplicação industrial (SAVY FILHO, 2001), como na lubrificação de motores com alta rotação e como matéria prima para a produção de biodiesel (BARROS; JARDINE, 2016c). Em todo o globo, o cultivo da mamona é destinado à extração deste óleo, que possui coloração de incolor a amarelo-dourado, espesso, oleoso, inodoro e insolúvel em água, mas solúvel em solventes orgânicos (BARROS; JARDINE, 2016c). A torta de mamona é utilizada como adubo orgânico possuindo, também, efeito nematocida (SAVY FILHO, 2001).

A agricultura de mamona tem aumentado nos últimos anos devido à alta demanda do setor produtivo (BARROS; JARDINE, 2016c).

3.3.4.10. Algodão (*Gossypium sp.*)

O algodão, que possui nome científico *Gossypium sp.*, é uma planta originária da África Central que faz parte da família das *Malváceas* (HANSEN E SILVA, 2016). No Brasil há duas grandes regiões de produção de algodão: a região Centro-sul com uma colheita no 1º semestre do ano, e a região Norte-Nordeste, com colheita no 2º semestre (HANSEN E SILVA, 2016).

O caroço (semente) do algodão representa 65% em peso, possuindo de 18 a 25% de óleo e 20 a 25% de proteína. O óleo extraído é composto por ácidos graxos insaturados como o oléico e linoléico, cuja composição pode variar dependendo do ambiente de cultivo (BELTRÃO, 2008). Tal óleo é destinado principalmente à alimentação humana, a fabricação de margarina, sabões e até mesmo biocombustível (HANSEN E SILVA, 2016).

O bagaço (farelo ou torta), subproduto da extração do óleo, é destinado a alimentação animal (bovinos, aves, suínos) devido ao seu alto valor proteico (HANSEN; SILVA, 2016). A fibra, por sua vez, principal produto do algodoeiro, tem mais que 400 aplicações industriais, entre as quais confecção de fios para tecelagem, algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro de cobertores, de estofamentos, obtenção de celulose, entre outros (HANSEN; SILVA, 2016). As outras partes da cultura, como o caule, folhas maçãs e

capulhos são utilizadas, em geral, também na alimentação de animais (HANSEN E SILVA, 2016).

3.3.5. Regionalização das oleaginosas a serem avaliadas

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2006), as matérias-primas oleaginosas para diversificação em termos de produção de energia, são as seguintes:

Região Norte: babaçu, soja e palma;

Região Nordeste: algodão, babaçu, soja, palma e mamona

Região Centro-Oeste: algodão, soja, palma, mamona e girassol

Região Sudeste: algodão, soja, mamona, girassol e amendoim

Região Sul: algodão, soja, girassol e colza.

Considerando as dez matérias-primas escolhidas para avaliação, o levantamento do Ministério do Meio Ambiente (2006) não contemplou as matérias-primas: macaúba e pinhão-manso, que estão dentre as escolhidas para avaliação neste trabalho. Assim, foi acrescentada a macaúba nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, uma vez que a Companhia Nacional de Abastecimento (2016) considera estas regiões do País para normas específicas do extrativismo da macaúba. Além disso, foi acrescentado o pinhão-manso no Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, conforme potencial destacado pela plataforma do pinhão-manso.

Dessa forma, as dez matérias-primas citadas no item anterior foram avaliadas de forma regionalizada, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Matérias-primas regionalizadas.

Regiões do Brasil	Matérias-Primas	Notação utilizada
Norte	Babaçu	MP3
	Macaúba	MP6
	Palma ou Dendê	MP8
	Soja	MP10
Nordeste	Algodão	MP1
	Babaçu	MP3
	Macaúba	MP6
	Mamona	MP7
	Palma ou Dendê	MP8
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10
Sul	Algodão	MP1

	Colza ou Canola	MP4
	Girassol	MP5
	Soja	MP10
Sudeste	Algodão	MP1
	Amendoim	MP2
	Girassol	MP5
	Macaúba	MP6
	Mamona	MP7
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10
Centro-Oeste	Algodão	MP1
	Girassol	MP5
	Macaúba	MP6
	Mamona	MP7
	Palma ou Dendê	MP8
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10

3.4. Esquematização do procedimento metodológico

A Figura 7 apresenta de forma resumida os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo. As Figuras 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam a esquematização da avaliação multicritério para escolha das oleaginosas mais promissoras para produção do bioquerosene HEFA nas cinco regiões do País, respectivamente, Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

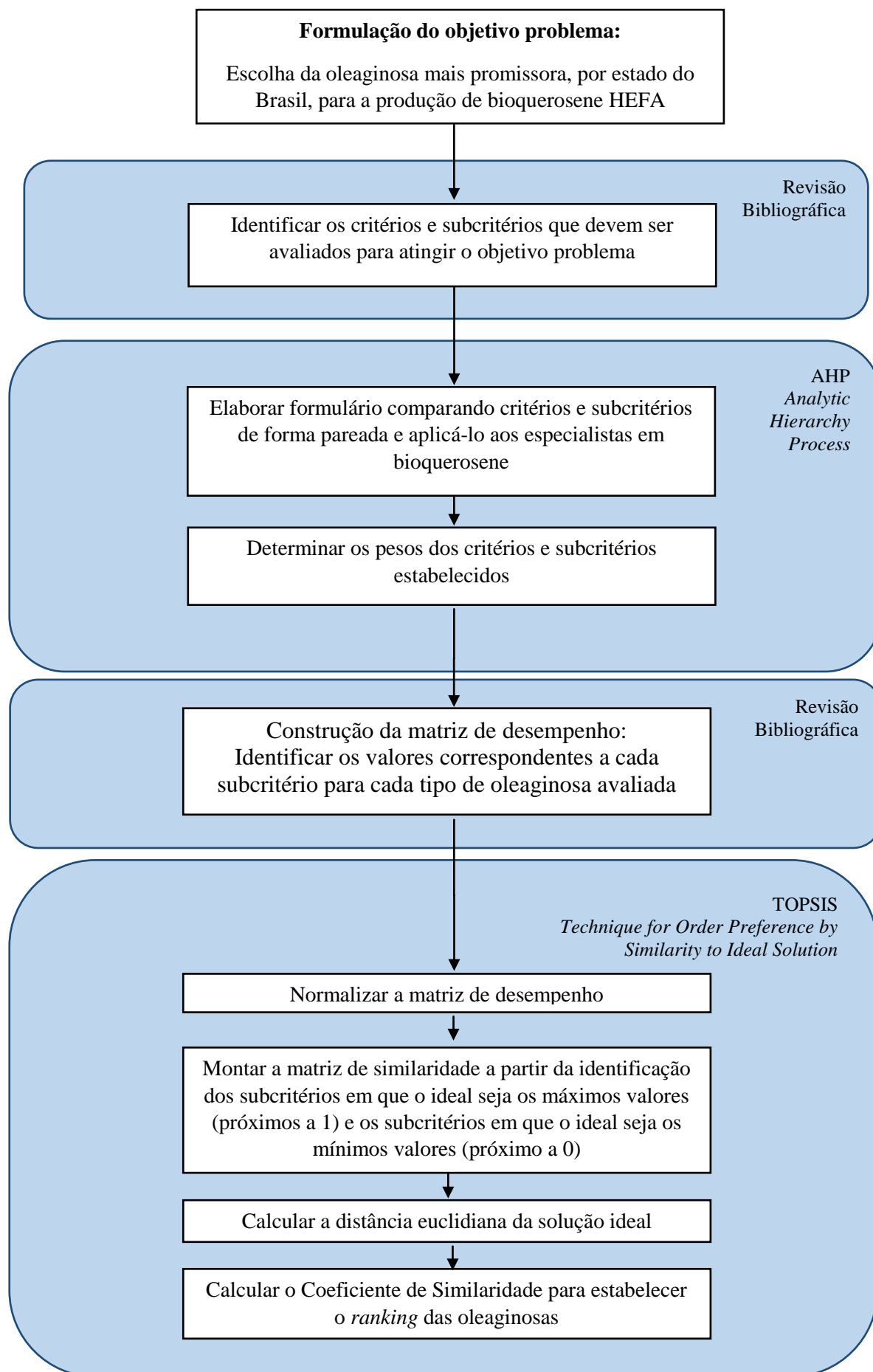


Figura 7 – Procedimentos metodológicos.

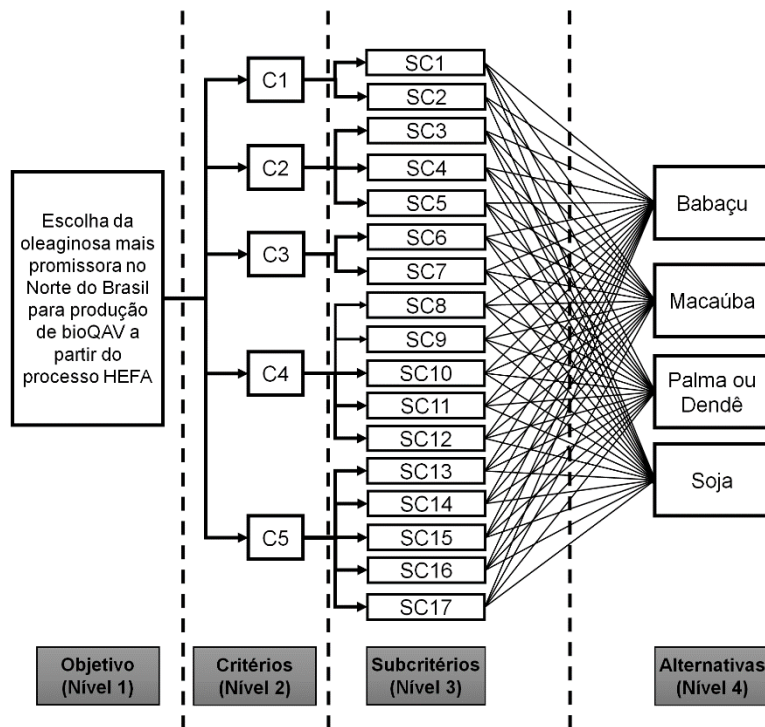


Figura 8 – Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Norte do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA.

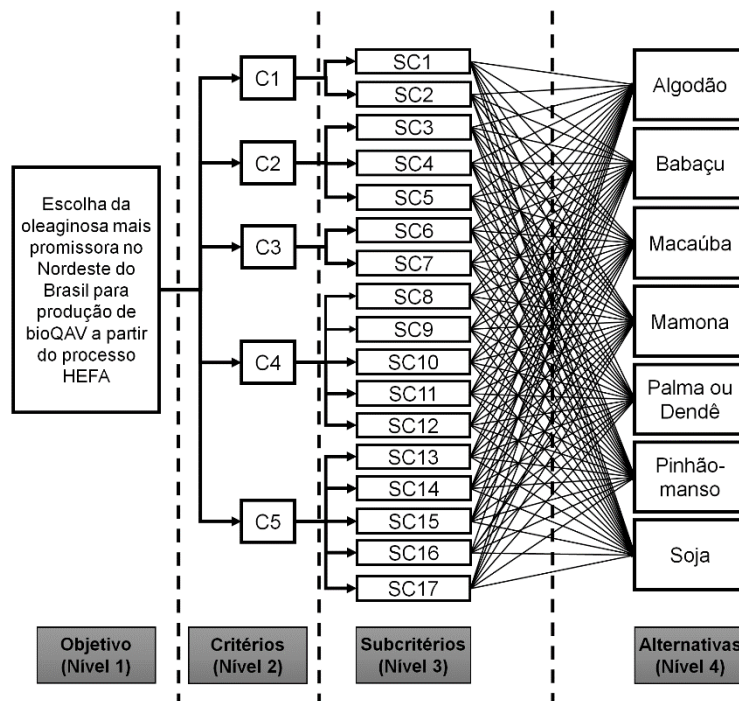


Figura 9 – Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Nordeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA.

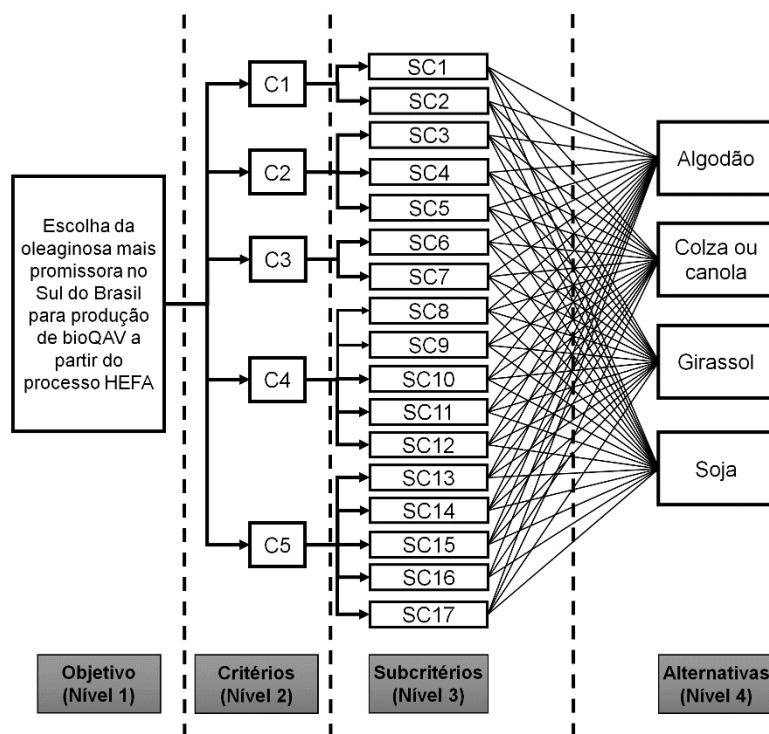


Figura 10 – Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Sul do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA.

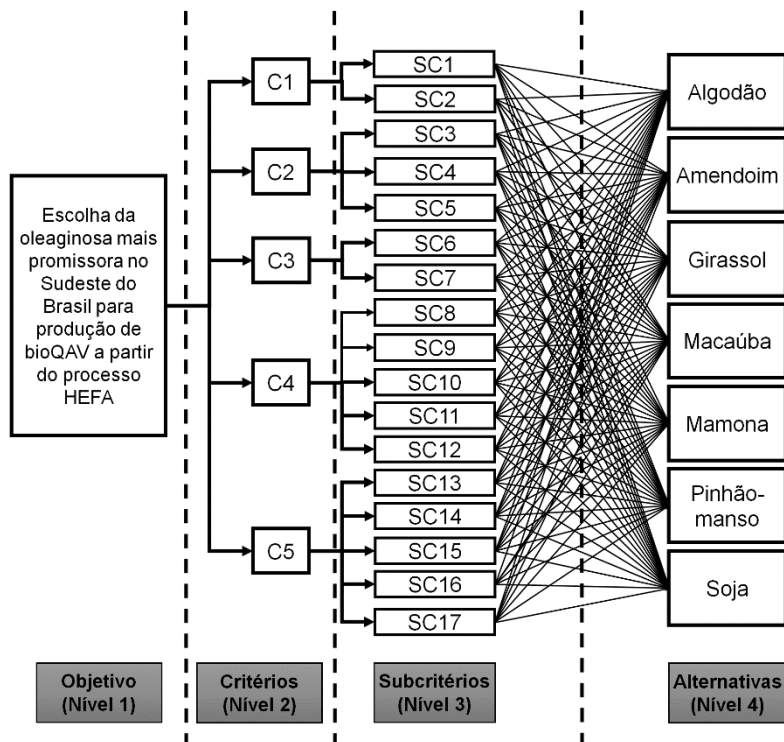


Figura 11 – Esquematização da escolha da oleaginosa mais promissora no Sudeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA.

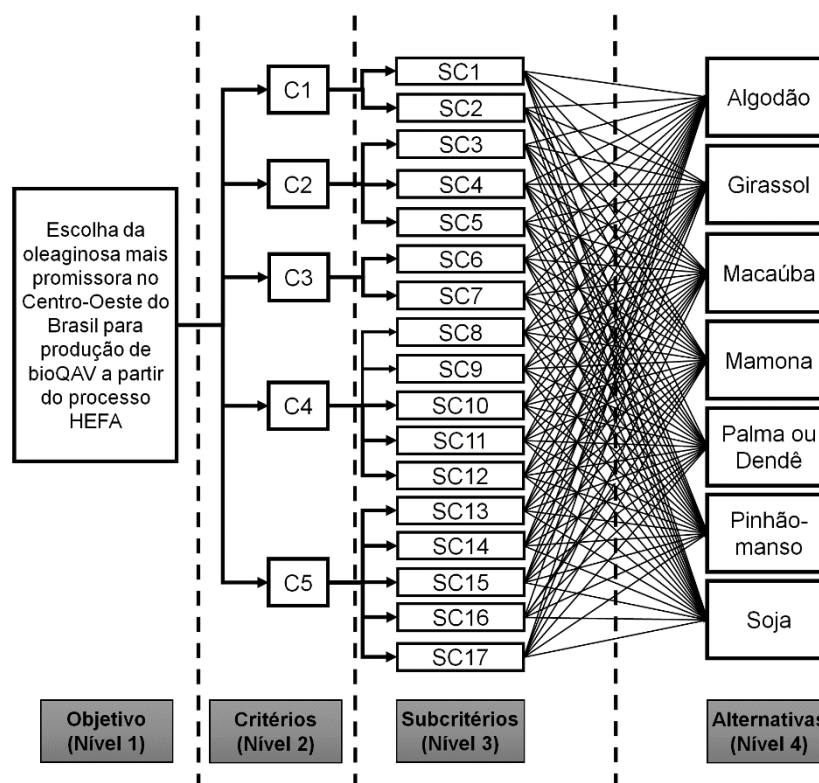


Figura 12 – Esquemática da escolha da oleaginosa mais promissora no Centro-Oeste do País para produção do bioquerosene a partir do processo HEFA.

3.5. Resultados

3.5.1. Aplicação do método AHP

A partir dos formulários respondidos pelos 18 especialistas em bioquerosene de aviação, o método AHP foi aplicado, sendo obtidos os pesos dos critérios e subcritérios. As tabelas 11 e 12 mostram, respectivamente, os pesos dos critérios e os pesos dos subcritérios obtidos na avaliação por grupo de especialistas.

Tabela 11 – Peso dos critérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas.

Critério	Sector Empresarial	Instituições Governamentais	Instituições de Pesquisa	Instituições sem fins lucrativos	Geral
C1	32,18	31,49	29,24	18,54	28,16
C2	17,78	17,57	15,45	12,43	15,60

C3	8,09	8,22	7,42	11,76	8,97
C4	16,63	21,80	18,57	31,23	21,85
C5	25,32	20,93	29,33	26,04	25,42

Para o grupo de setor empresarial, governo e instituições de pesquisa, o critério considerado de maior importância foi o critério econômico. Para os especialistas de instituições sem fins lucrativos, a escala de produção foi considerada o critério mais importante. Todos os grupos respondentes, por sua vez, consideraram o critério social, de menor importância. A partir da experiência geral (18 especialistas), o critério considerado mais importante foi o econômico, com um nível de importância de 28,16%. A qualidade do óleo e oleaginosa e a escala de produção alcançaram o segundo e terceiro lugar na priorização dos critérios, alcançando 25,42% e 21,85%, respectivamente. O critério menos importante segundo os especialistas consultados foi o social, com 8,97%. Detalhamento da aplicação do método AHP está disponível no ANEXO III.

Tabela 12 – Peso dos subcritérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas.

Subcritério	Setor Empresarial	Instituições Governamentais	Instituições de Pesquisa	Instituições sem fins lucrativos	Geral
SC1	24,96	24,35	23,36	15,93	22,65
SC2	7,21	7,14	5,87	2,62	5,51
SC3	3,66	3,88	3,73	2,59	3,47
SC4	6,51	7,32	3,52	5,63	5,63
SC5	7,61	6,36	8,20	4,21	6,49
SC6	5,59	2,14	1,89	4,50	3,50
SC7	2,50	6,08	5,53	7,26	5,47
SC8	1,52	3,76	4,66	10,36	4,60
SC9	1,54	4,54	3,37	10,20	4,45
SC10	6,61	7,88	6,30	2,85	6,25
SC11	2,64	3,55	2,98	3,83	3,62
SC12	4,32	2,07	1,26	3,98	2,92
SC13	5,39	3,88	7,35	6,52	5,79

SC14	4,35	3,71	5,8	7,08	4,67
SC15	4,64	4,18	3,84	4,95	4,40
SC16	6,54	4,65	8,57	4,75	5,73
SC17	4,39	3,76	4,33	3,29	4,03

A avaliação por grupos mostra que os especialistas estão alinhados com a preferência do subcritério principal. Todos os setores entendem que o custo do óleo é o atributo mais importante para a seleção de culturas para o bioquerosene HEFA. O grupo de instituições sem fins lucrativos foi o que mais se desvinculou dos demais especialistas, atribuindo grande peso também à área plantada e à produção agrícola anual.

As Figuras 13 e 14 apresentam graficamente as preferências gerais dos especialistas em relação aos critérios e subcritérios para seleção de oleaginosas para o processo HEFA.

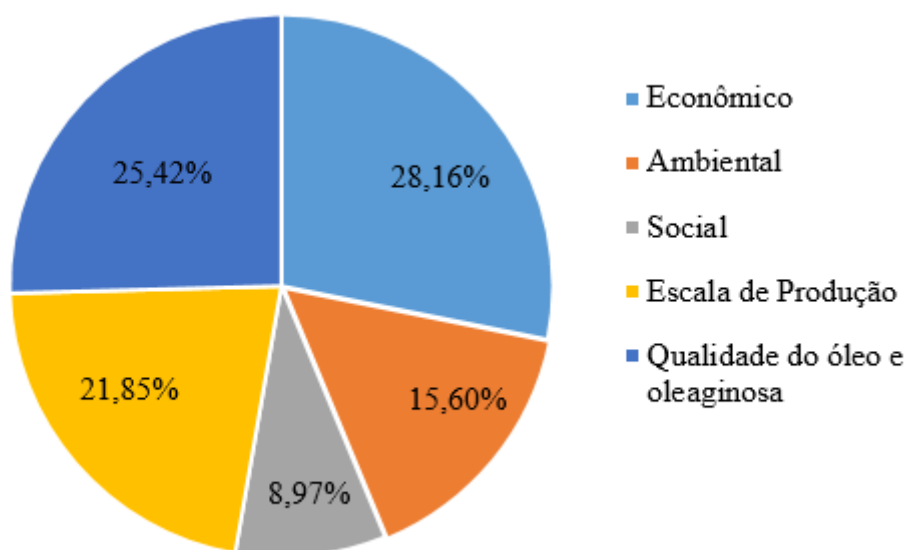


Figura 13 – Peso estabelecido aos critérios a partir da aplicação do método multicritério AHP.

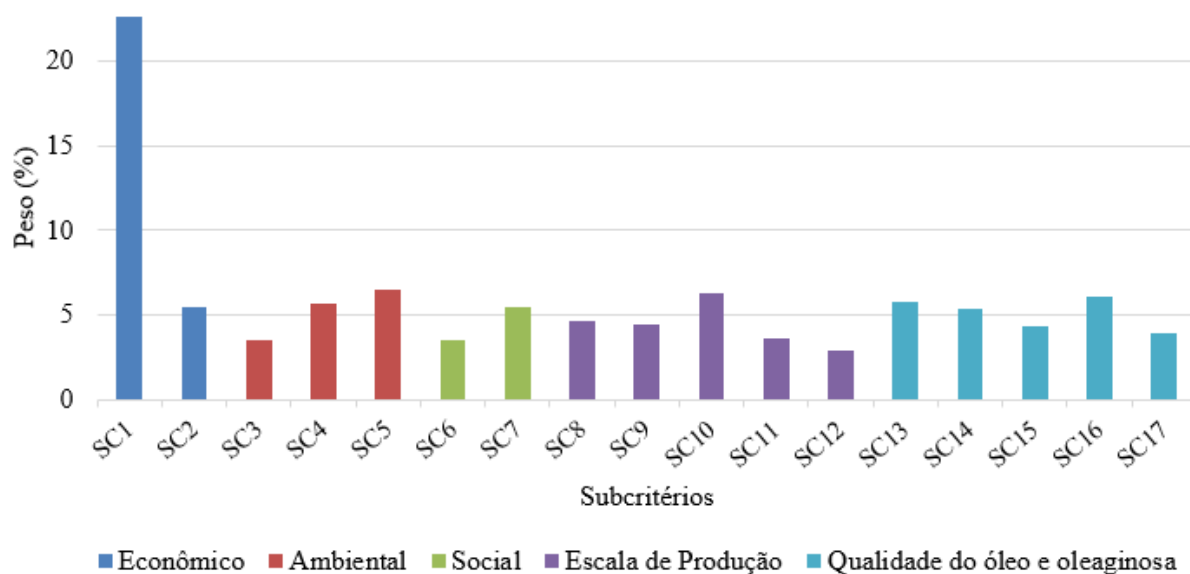


Figura 14 – Peso estabelecido aos 17 subcritérios a partir da aplicação do método multicritério AHP.

Para avaliar a consistência das respostas, testes de consistência foram aplicados aos grupos de especialistas. Os resultados obtidos pelas médias geométricas indicam que os grupos de especialistas foram consistentes, demonstrando os seguintes níveis médios de consistência: setor empresarial: 0,08; governo: 0,06; instituições de pesquisa: 0,09; instituições sem fins lucrativos: 0,05. Assim, de acordo com o método de Saaty (1980), os resultados foram considerados válidos (com consistência média inferior a 0,10).

3.5.2. Aplicação do método TOPSIS

Para aplicação do método TOPSIS, construiu-se a matriz de desempenho das oleaginosas para cada região do País. A partir das referências consultadas, algumas considerações foram assumidas. O item 3.5.2.1 deste capítulo apresenta as considerações adotadas para construção da matriz de desempenho de cada região do País.

3.5.2.1. Considerações para construção da matriz de desempenho das oleaginosas

Os subcritérios: custo do óleo⁴, custo da oleaginosa, produtividade da oleaginosa, produção agrícola anual e área plantada foram apresentados de forma regionalizada, isto é, para cada oleaginosa, encontrou-se na literatura o valor do subcritério de forma distinta por região do País. Como exemplo, em cada matriz de desempenho há diferentes produtividades da soja para cada uma das regiões em que esta oleaginosa foi avaliada.

Os demais subcritérios foram apresentados com o mesmo valor nas diferentes regiões, já que não foram encontrados na literatura parâmetros distintos por região de cultivo. Assim, por mais que estes subcritérios possam sofrer variações de acordo com o solo, clima, umidade de cada região, estas variações foram negligenciadas. Como exemplo, o teor de óleo presente no grão de soja foi considerado o mesmo para todas as regiões do Brasil em que esta oleaginosa foi avaliada.

Para todos os subcritérios, foram reportados valores médios quando a literatura apresentou resultado como sendo uma faixa de valores. Outras considerações para construção da matriz de desempenho, em nível de subcritérios, foram realizadas, a saber:

SC 1 – Custo do óleo

Foi determinado o custo do óleo vegetal refinado por falta de cotação de alguns óleos *in natura* (bruto). Esta consideração não compromete a análise do subcritério, uma vez que foi realizada padronização para cotação de óleo refinado em todas as culturas analisadas.

As cotações dos óleos refinados de algodão, amendoim, babaçu, canola, girassol, mamona, palma e soja foram estabelecidas na unidade de reais por tonelada e obtida pelo Centro de Referência da Cadeia de Biocombustíveis para Agricultura Familiar (CREFBio), que realiza coleta de dados para auxiliar na criação de pesquisas que sejam importantes ao desenvolvimento da cadeia. Os preços são coletados junto às principais cooperativas de agricultura familiar (cotações de oleaginosas), bolsas de valores, empresas, cooperativas de esmagamento (cotações de óleos e farelos) e usinas de biodiesel e/ou etanol. O Centro de Referência é financiado pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário e a coleta de dados é realizada pela Universidade Federal de Viçosa.

Em geral, o CREFBio disponibiliza a cotação dos óleos supracitados para o estado de São Paulo. Apenas para a soja, o centro disponibiliza a cotação para outros estados brasileiros, a saber: Bahia, Goiás, Santa Catarina, além de São Paulo. Assim, no caso da soja, a cotação foi regionalizada na matriz de desempenho da seguinte forma: Região Nordeste (cotação da Bahia), Região Centro-Oeste (cotação de Goiás), Região Sudeste (cotação de São Paulo), Região Sul (cotação de Santa Catarina) e Região Norte (média da cotação nos estados em que os dados foram disponibilizados).

⁴ Apenas para a soja, encontrou-se na literatura cotação regionalizada. A cotação do óleo das demais oleaginosas foi considerada a média verificada no País.

No caso da Palma, o CREFBio disponibiliza a cotação do óleo de palma (R\$ 3.550,00/ton) e palmiste (R\$ 6.450,00/ton), ambos extraídos do dendezeiro. Assim, considerando que a análise proposta por este trabalho abrange o óleo extraído da oleaginosa como um todo, foi realizada média dos custos dos óleos extraídos da palma ponderada à proporção destes óleos no fruto. O processamento dos frutos do dendezeiro fornece em média 20% de óleo de palma, extraído da polpa da Palma e 1,5% de óleo de palmiste, extraído da amêndoa (ROSA *et al.*, 2011). Assim, ponderando os dois diferentes óleos extraídos da Palma com o custo desses óleos, chegou-se a cotação de R\$ 3.752,00 por tonelada de óleo extraído, de acordo com a Tabela 13 e a base de cálculo prevista na equação 17:

$$\frac{(COP1) * (\%OP1) + (COP2) * (\%OP2)}{\%OP1 + \%OP2} \quad (17)$$

Tabela 13 – Parâmetros para determinação do custo do óleo de palma.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Cotação do óleo	COP1	Custo do óleo de palma	R\$ 3.550,00/ton	CREFBio, 2017
	COP2	Custo do óleo de palmiste	R\$ 6.450,00/ton	
Proporção de óleo no fruto	%OP1	% de óleo de palma no fruto	20%	ROSA <i>et al.</i> , 2011
	%OP2	% de óleo de palmiste no fruto	1,5%	

Para a macaúba, por se tratar de uma cultura ainda pouco comercial, poucas informações em relação ao aspecto econômico da cultura estão disponíveis. Assim, o custo do óleo refinado para a indústria foi estabelecido a partir de adaptação dos dados fornecidos por Díaz (2016), que apresenta o preço de venda do óleo bruto de macaúba como sendo de US\$800 por tonelada, o que equivale a R\$ 2.619 por tonelada⁵. A cotação do óleo de macaúba é semelhante a cotação do óleo de palma (DÍAZ, 2016), que em geral possui acréscimo de 31,5% (CREFBio, 2017) em seu custo quando se trata de óleo refinado. Dessa forma, a cotação do óleo refinado de macaúba estabelecido foi de R\$ 3.444 por tonelada.

Para o pinhão-manso, a mesma dificuldade de falta de informações referentes aos aspectos econômicos da cultura foi observada. O valor de venda do óleo de pinhão-manso mais recente encontrado refere-se a 2012 e trata-se de óleo bruto, R\$ 2.000/m³ (MARTINS, 2012). Para transformar esse valor em reais por tonelada de óleo refinado, considerou-se a massa específica do óleo bruto como sendo 914,6 kg/m³ (DE OLIVEIRA *et al.*, 2010) e o acréscimo de 31,5% no custo do óleo refinado em relação ao bruto, adotado para a macaúba.

⁵ Cotação do dólar em 23 de maio de 2017 (1 dólar = 3,72 reais). Disponível em: <<http://www.dolarhoje.com.br/>>. Acesso em: 27 nov. 2016

Assim, o custo do óleo refinado de pinhão-manso estabelecido foi de R\$ 2.875,50 por tonelada.

SC2 – Custo da Oleaginosa

De forma a padronizar a unidade de medida, os custos de todas as oleaginosas foram convertidos para reais por tonelada quando a unidade de medida foi apresentada em reais por saca de 50 ou 60 kg. As cotações analisadas referem-se ao mês de abril de 2017, exceto para o pinhão-manso cuja cotação mais recente encontrada na literatura refere-se a 2012 (MARTINS, 2012).

As cotações de soja, girassol, mamona e macaúba foram obtidas pela CONAB (2017), que disponibiliza o custo dessas oleaginosas em alguns estados do Brasil.

Para a soja, a cotação foi regionalizada na matriz de desempenho da seguinte forma: Região Nordeste (cotação média nos estados da Bahia, Piauí e Maranhão), Região Centro-Oeste (cotação média nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), Região Sudeste (cotação no estado de Minas Gerais), Região Sul (cotação média nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina) e Região Norte (cotação no estado do Pará).

Para o girassol, a CONAB (2017) apresenta o custo desta oleaginosa apenas nos estados de Goiás, Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Assim, os custos do girassol nestes estados foram alocados, na matriz de desempenho, nas regiões Centro-Oeste (média dos estados de Goiás e Mato Grosso) e Sul (Rio Grande do Sul). Na região Sudeste, utilizou-se a média da cotação do girassol nos estados em que os dados foram disponibilizados pela CONAB (2017).

Para a mamona em baga, a CONAB (2017) apresenta o custo apenas no estado da Bahia. Assim, considerou-se tal valor para as regiões Nordeste, além de Sudeste e Centro-Oeste.

Para a macaúba, a CONAB (2017) apresenta o custo da oleaginosa nos estados do Ceará e Minas Gerais, sendo alocados, na matriz de desempenho, nas regiões Nordeste e Sudeste, respectivamente. Nas outras regiões cuja macaúba é matéria-prima a ser avaliada, utilizou-se a média da cotação da macaúba nos estados em que os dados foram disponibilizados.

Por falta de cotação da CONAB (2017) para as outras oleaginosas, considerou-se os custos do amendoim, colza e palma disponibilizados pelo PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK (2017). Este portal disponibiliza a cotação do amendoim apenas no estado de São Paulo, sendo este o valor considerado na matriz de desempenho da região Sudeste. Para a palma, o portal disponibiliza a cotação no estado da Bahia, sendo este o valor considerado na matriz de performance das regiões cuja palma é matéria-prima a ser avaliada. Para a colza, o portal disponibiliza a cotação no estado do Paraná e Rio Grande do Sul, sendo o valor médio destas cotações considerado na matriz de performance da região Sul.

As cotações de caroço de algodão e amêndoa de babaçu foram disponibilizadas pelo Centro de Referência da Cadeia de Biocombustíveis para Agricultura Familiar (CREFBio, 2017). O CREFBio apresenta o custo do caroço de algodão para diversos estados, sendo regionalizada da seguinte forma: Região Nordeste (cotação média nos estados da Bahia e Piauí), Região Centro-Oeste (cotação média nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), Região Sudeste (cotação média nos estados de São Paulo e Minas Gerais) e Região Sul (média da cotação nos estados brasileiros em que os dados foram disponibilizados). O custo da amêndoa de babaçu está disponível apenas no estado do Maranhão, sendo este valor considerado para as regiões Norte e Nordeste.

SC3 – Uso da terra: produtividade da oleaginosa

A produtividade das oleaginosas foi considerada em termos de grão para soja e amendoim; sementes para colza, girassol, mamona e pinhão-mansão; cachos para palma; caroço para o algodão; e em termos de frutos para a macaúba e babaçu.

A produtividade considerada para o girassol, mamona, soja e amendoim refere-se à safra de 2016, utilizando a produtividade média da safra e safrinha no caso do amendoim (IBGE, 2017). Por falta de dados na literatura quanto à produtividade da mamona, colza e caroço de algodão na safra de 2016, foram considerados dados da safra 2013, segundo MAPA (2014). Para a palma, os dados também se referem ao ano de 2013, segundo IBGE (2013).

Como o IBGE e MAPA divulgam os dados anuais ou de safras de plantios comerciais e ainda não se tem produção em escala comercial de macaúba, pinhão-mansão e babaçu (PINOTTI; DO AMARAL, 2013), buscou-se na literatura valores médios de produtividade dessas oleaginosas.

SC4 – Uso da terra: rendimento em óleo

Não houve considerações para este subcritério.

SC5 – Exigências hídricas

De forma geral, quanto maior a demanda hídrica, avaliada em precipitação pluviométrica, por ciclo da cultura, maior a demanda por irrigação (SIMÃO, 2004). Assim, considerou-se a demanda hídrica por ciclo da cultura como indicativo da necessidade de irrigação suplementar.

Ressalta-se que neste subcritério foi considerada a exigência de precipitação pluviométrica para o bom rendimento da cultura e não a mínima precipitação tolerada.

SC6 – Dependência do extrativismo

Para tornar este critério quantitativo, foi atribuído o valor 1 para culturas com alta dependência extrativista, 0,5 para culturas com algum tipo de dependência extrativista, mas que também apresenta cultivo destinado à agroindústria e 0 para as culturas comerciais com baixa ou nenhuma dependência extrativista.

As culturas que receberam o valor 1 foram: a macaúba, cuja base extrativista foi apresentada pelos autores Lorenzi (2006), Moreira, Jmmap e de Sousa (2009), Galvani e Santos (2011), Nobre *et al.* (2014), de Alencar Pageú *et al.* (2016); babaçu, conforme apresentado pelos autores Do Amaral Filho *et al.* (1989), Bezerra *et al.* (1995), Mesquita *et al.* (2001), Da Silva e Da Costa (2016) e Araújo *et al.*, (2017); e pinhão-manso, de acordo com o observado por De Albuquerque (2002), Tolêdo *et al.* (2010) e Ferreira *et al.* (2013).

A palma recebeu valor 0,5, por apresentar cultivo comercial destinado à agroindústria, além de ser utilizada de forma extrativista, conforme apresentado pelos autores Silva (2006) e Cardoso, Maneschy e Matlaba (2014).

As demais culturas receberam o valor 0, por serem consideradas culturas tradicionais, com plantios comerciais (GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006).

SC7 – Dependência alimentar

Para tornar este critério quantitativo, foi atribuído o valor 1 para culturas que produzem óleo comestível, utilizado, portanto na indústria de alimentos e o valor 0 para as culturas cujo óleo não é comestível, ou seja, impróprio para o consumo humano.

As culturas que receberam o valor 0 foram: mamona e pinhão-manso. Antoniassi e Freitas (20107) afirmam que nem todo óleo graxo é comestível, citando como exemplo o óleo de mamona, que apresenta em sua composição mais de 70% de ácido ricinoleico (hidroxilado), o que confere alta viscosidade e reatividade ao produto. Os autores acrescentam que óleos que apresentam ácidos graxos hidroxilados (como mamona), epoxilados e conjugados não são comestíveis. Outro exemplo de óleo não comestível é o óleo de pinhão manso, não em virtude de sua composição em ácidos graxos, mas pela presença de substâncias tóxicas, chamadas de ésteres de forbol.

As demais culturas receberam o valor 1 por possuírem em sua composição, óleos considerados comestíveis (MARTIN, 2006, FONSECA; GUTIERREZ, 1974).

Ressalta-se que quanto menor a dependência alimentar do óleo de determinada cultura, menores são os riscos de desabastecimento alimentar causado pela demanda do óleo para produção do bioquerosene.

SC8 – Produção agrícola anual

A produção considerada para o girassol, mamona, soja e amendoim refere-se à safra de 2016, utilizando a produção total da safra e safrinha no caso do amendoim (IBGE, 2017).

Por falta de dados na literatura quanto à produção da mamona, colza e caroço de algodão na safra de 2016, foram considerados dados da safra 2013, segundo MAPA (2014). Para a palma, os dados também se referem ao ano de 2013, segundo IBGE (2013).

Pereira (2014) afirma que a produção de palma ou dendê no Brasil se concentra na região Norte e Nordeste do País, sendo a parcela produzida nas outras regiões do Brasil considerada ainda desprezível. Assim, a produção agrícola anual de palma na região Centro-Oeste foi considerada zero.

Este subcritério considera apenas a produção agrícola e não extrativista. Assim, como ainda não se tem produção agrícola em escala comercial de macaúba, pinhão-manso e babaçu (PINOTTI; DO AMARAL, 2013), havendo apenas produção extrativa, o valor para este critério foi estabelecido como zero para estas espécies nativas.

SC9 – Área plantada

A área plantada considerada para o girassol, mamona, soja e amendoim refere-se à safra de 2016 (IBGE, 2017). Por falta de dados na literatura quanto à produção da mamona, colza e caroço de algodão na safra de 2016, foram considerados dados da safra 2013, segundo MAPA (2014). Para a palma, os dados também se referem ao ano de 2013, segundo IBGE (2013).

Pereira (2014) afirma que a área plantada de palma ou dendê no Brasil se concentra na região Norte e Nordeste do País, sendo a área plantada nas outras regiões do Brasil considerada ainda desprezível. Assim, a área plantada de palma na região Centro-Oeste foi considerada zero.

Este subcritério considera apenas a área plantada e não nativa. Assim, como ainda não se tem plantações em escala comercial de macaúba, pinhão-manso e babaçu (PINOTTI; DO AMARAL, 2013), o valor para este critério foi estabelecido como zero para estas espécies nativas.

SC10 – Teor de óleo

O teor de óleo foi estabelecido a partir da relação entre a massa de óleo e a massa de tecido da oleaginosa (em base seca) que contém óleo, representando a fração de óleo no material que efetivamente vai para indústria de extração de óleo. Por exemplo, o teor de óleo do babaçu estabelecido foi de 66% (DA SILVA CÉSAR *et al.*, 2015), que é a fração de óleo da amêndoa. Ainda que o teor de óleo em relação ao fruto total de babaçu seja de aproximadamente 7%, conforme citado por Beltrão e De Oliveira (2008), este percentual não foi considerado por não ser representativo do material que segue para a indústria de extração de óleo. Da mesma forma para o algodão, considerou-se o óleo presente no caroço do algodão, e não o teor de óleo referente ao algodão herbáceo. Na Macaúba, por sua vez, considerou-se o óleo presente na casca, amêndoa e polpa.

A Tabela 14 apresenta o tecido da oleaginosa usado como referência para determinação do teor de óleo:

Tabela 14 – Tecido da oleaginosa considerado para determinação do teor de óleo.

Oleaginosa	Tecido considerado
Algodão	Caroço
Amendoim	Semente
Babaçu	Amêndoa
Colza	Semente
Girassol	Semente
Macaúba	Casca, amêndoa e polpa
Mamona	Semente
Palma	Amêndoa e polpa
Pinhão-manso	Semente
Soja	Grão

O processamento dos frutos do dendezeiro fornece em média 20% de óleo de palma, extraído da polpa da Palma e 1,5% de óleo de palmiste, extraído da amêndoa (ROSA *et al.*, 2011). Assim, o teor médio de óleo na Palma é de 21,5%.

Para macaúba, por não ter sido encontrado na literatura o teor de óleo de forma direta, foi realizada média ponderada da composição em base seca do fruto, indicada por Almeida (2014) e teor de óleo por parte do fruto, indicada por Amaral (2007), conforme é apresentado na Tabela 15.

O teor médio de óleo na macaúba em base seca foi de 43,45%, de acordo com a base de cálculo a seguir⁶:

$$\frac{(\%PM) * (\%OPM) + (\%AM) * (\%OAM) + (\%CM) * (\%OCM)}{\%PM + \%AM + \%CM} \quad (18)$$

Tabela 15 - Parâmetros para determinação do teor de óleo da macaúba.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Composição em base seca do fruto	%PM	% de polpa (mesocarpo) na macaúba	40%	ALMEIDA, 2014
	%AM	% de amêndoa (endosperma) na macaúba	7%	

⁶ A castanha não entrou na base de cálculo, já que não há óleo considerável na castanha da Macaúba e sim na amêndoa revestida pela castanha (Amaral, 2007).

	%CM	% de casca (epicarpo) na macaúba	20%	
	%CastM	% de castanha (endocarpo) na macaúba	33%	
	%OPM	% de óleo na polpa da macaúba	59,8%	
Teor de óleo por parte do fruto	%OAM	% de óleo na amêndoa da macaúba	55,6%	AMARAL, 2007
	%OCM	% de óleo na casca da macaúba	6,5%	
	%OCastM	% de óleo na castanha da macaúba	0%	

SC11 – Período de colheita (sazonalidade)

Não houve considerações para este subcritério.

SC12 – Cultivares registrados

As cultivares são espécies de plantas que foram melhoradas devido à alteração ou introdução, pelo homem, de uma característica que antes não possuíam, se distinguindo de outras variedades da mesma espécie de planta por sua homogeneidade, estabilidade e novidade (BRASIL, 1997b). As cultivares desenvolvidas em território nacional e caracterizadas como novas cultivares, são cadastradas junto ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e passam a compor o Patrimônio Genético Nacional (BRASIL, 1997b).

O MAPA possui o Registro Nacional de Cultivares – RNC, indicando o número de cultivares registrados para cada espécie vegetal.

Em pesquisa realizada no dia 20 de maio de 2017 na plataforma RNC (MAPA, 2017), foram encontrados 1.674 cultivares registrados para cultura de soja (*Glycine max L. Merr.*), 176 para o algodão (*Gossypium hirsutum L.*), 29 para o amendoim (*Arachis hypogaea L.*), 265 para o girassol (*Helianthus annuus L.*), 26 para a canola (*Brassica napus var. oleifera Delile*), 32 para a palma (*Elaeis guineensis Jacq.*), 1 para o babaçu (*Attalea speciosa Mart. ex Spreng.*), 1 para a macaúba (*Acrocomia aculeata Jacq. Lodd. ex Mart.*), 1 para o pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) e 39 cultivares registrados para a mamona (*Ricinus communis L.*).

SC13 – Poder Calorífico Inferior do óleo

Para o pinhão-manso, o valor apresentado de 8.021 Kcal/l foi obtido a partir de conversão de unidade. O autor Agarwal (2007) apresentou valor para este parâmetro como sendo de 36,01 MJ/kg. Tal valor foi ajustado para Kcal/l, alinhando a unidade apresentada à unidade das demais oleaginosas. Para tanto, considerou-se a massa específica do óleo de pinhão-manso de 932 kg/m³, fornecida pelo mesmo autor.

Analogamente, para o óleo de colza, o valor apresentado de 7.528,5 Kcal/l foi obtido a partir de conversão de unidade. O autor Dunphy (2007) apresentou valor para este parâmetro como sendo de 35 MJ/kg. Tal valor foi ajustado para Kcal/l. Para tanto, considerou-se a massa específica do óleo de pinhão-manso de 0,9 kg/l, fornecida pelo mesmo autor.

SC14 – Acidez do óleo

Foi considerado o índice de acidez do óleo bruto (*in natura*) para todos os óleos avaliados.

Para palma, o valor de acidez encontrado refere-se ao óleo de palma bruto. Para macaúba, por não ter sido encontrada acidez média do óleo considerando todas as partes do fruto de forma direta, foi realizada média ponderada do índice de acidez do óleo presente em cada parte do fruto. Para tanto, utilizou-se a composição em base seca do fruto, indicada por Almeida (2014) e teor de óleo por parte do fruto, indicada por Amaral (2007), conforme foi apresentado na Tabela 15, além da acidez verificada em cada parte do fruto por Silva (2007), conforme é apresentado na Tabela 16.

O índice de acidez médio do óleo da macaúba foi de 57,45 mgKOH/g, de acordo com a base de cálculo a seguir⁷:

$$\frac{(\%PM) * (\%OPM) * (IA_PM) + (\%AM) * (\%OAM) * (IA_AM) + (\%CM) * (\%OCM) * (IA_CM)}{(\%PM) * (\%OPM) + (\%AM) * (\%OAM) + (\%CM) * (\%OCM)} \quad (19)$$

Tabela 16 - Parâmetros para determinação da acidez do óleo de macaúba.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Índice de acidez dos óleos da macaúba	IA_PM	Índice de acidez do óleo presente na polpa da macaúba	63,28 mgKOH/g	SILVA, 2007
	IA_AM	Índice de acidez do óleo presente na amêndoa da macaúba	5,61 mgKOH/g	
	IA_CM	Índice de acidez do óleo presente na casca da macaúba	105,51 mgKOH/g	

SC15 – Umidade do óleo

Foi considerada a umidade do óleo bruto (*in natura*) para todos os óleos avaliados.

⁷ A castanha não entrou na base de cálculo, já que não há óleo considerável na castanha da Macaúba e sim na amêndoa revestida pela castanha (Amaral, 2007).

Para macaúba, por não ter sido encontrada a umidade do óleo de forma direta, considerando todas as partes do fruto, foi realizada média ponderada deste parâmetro no óleo presente em cada parte do fruto. Para tanto, utilizou-se a composição em base seca do fruto, indicada por Almeida (2014) e teor de óleo por parte do fruto, indicada por Amaral (2007), conforme foi apresentado na Tabela 15, além do teor de água verificada em cada parte do fruto por Amaral (2007), conforme é apresentado na Tabela 17.

O teor de água médio do óleo da macaúba foi de 0,80%, de acordo com a base de cálculo a seguir⁸:

$$\frac{(\%PM) * (\%OPM) * (TA_PM) + (\%AM) * (\%OAM) * (TA_AM)}{(\%PM) * (\%OPM) + (\%AM) * (\%OAM)} \quad (20)$$

Tabela 17 - Parâmetros para determinação da umidade do óleo de macaúba.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Teor de água nos óleos da macaúba	TA_PM	Teor de água no óleo presente na polpa da macaúba	0,27%	AMARAL, 2007
	TA_AM	Teor de água no óleo presente na amêndoa da macaúba	0,88%	

SC16 – Teor de ácidos graxos saturados no óleo

Foi considerado o teor de ácidos graxos do óleo bruto (*in natura*) para todos os óleos avaliados.

Para macaúba, por não ter sido encontrado o teor de ácidos graxos saturados do óleo de forma direta, considerando todas as partes do fruto, foi realizada média ponderada do teor de ácidos graxos saturados dos óleos presentes em cada parte do fruto (Tabela 18). Para tanto, utilizou-se a composição em base seca do fruto, indicada por Almeida (2014) e teor de óleo por parte do fruto, indicada por Amaral (2007), conforme foi apresentado na Tabela 15 além do teor de ácidos graxos saturados verificado em cada parte do fruto por Amaral (2007), conforme é apresentado na Tabela 18.

O teor médio de ácidos graxos saturados do óleo da macaúba foi de 20,35%, de acordo com a base de cálculo a seguir⁹:

⁸ O óleo da casca não entrou na base de cálculo, já que o autor aponta apenas o teor de água no óleo da polpa e amêndoa da macaúba. A castanha não entrou na base de cálculo, já que não há óleo considerável na castanha da Macaúba e sim na amêndoa revestida pela castanha (Amaral, 2007).

$$\frac{(\%PM)*(\%OPM)*(AG_PM)+(\%AM)*(\%OAM)*(AG_AM)+(\%CM)*(\%OCM)*(AG_CM)}{(\%PM)*(\%OPM)+(\%AM)*(\%OAM)+(\%CM)*(\%OCM)} \quad (21)$$

Tabela 18 - Parâmetros para determinação do teor de ácidos graxos do óleo de macaúba.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Teor de ácidos graxos nos óleos da macaúba	AG_PM	Teor de ácidos graxos saturados no óleo presente na polpa da macaúba	21,5%	AMARAL, 2007
	AG_AM	Teor de ácidos graxos saturados no óleo presente na amêndoa da macaúba	71,2%	
	AG_CM	Teor de ácidos graxos saturados no óleo presente na casca da macaúba	29,7%	

Da mesma forma, para a palma não foi encontrado na literatura este teor considerando todas as partes do fruto de forma direta. Assim, foi realizada média do teor de ácidos graxos saturados ponderada ao teor de óleo presente em cada parte do fruto (Tabela 19). Para tanto, considerou-se 20% o teor médio de óleo de palma e 1,5% o teor de óleo de palmiste, extraídos da polpa e amêndoa da palma, respectivamente (ROSA *et al.*, 2011). Assim, o teor médio de ácidos graxos saturados dos óleos extraídos da palma foi de 47,77%, de acordo com a base de cálculo a seguir:

$$\frac{(AG1) * (\%OP1) + (AG2) * (\%OP2)}{(\%OP1) + (\%OP2)} \quad (22)$$

Tabela 19- Parâmetros para determinação do teor de ácidos graxos no óleo de palma.

	Sigla	Significado	Valor	Referência
Teor de ácidos graxos nos óleos da palma	AG1	Teor de ácidos graxos saturados no óleo de palma	45,3%	SILVA, 2009
	AG2	Teor de ácidos graxos saturados no óleo de palmiste	80,8%	
Proporção de óleo no	%OP1	% de óleo de palma no fruto	20%	ROSA <i>et al.</i> , 2011
	%OP2	% de óleo de palmiste no	1,5%	

⁹ A castanha não entrou na base de cálculo, já que não há óleo considerável na castanha da Macaúba e sim na amêndoa revestida pela castanha (Amaral, 2007).

fruto	fruto
-------	-------

SC17 – Teor de umidade das oleaginosas

O teor de umidade das oleaginosas foram considerados em base úmida pelos autores em referência a partir de estufas operando a temperatura de 105°C por um período de 24 horas.

3.5.2.2. Desempenho e *Ranking* das oleaginosas nas cinco regiões do Brasil

Diante das considerações citadas no item anterior, as matrizes de desempenho das oleaginosas na região Norte, Nordeste, Sul e Sudeste foram construídas, conforme apresentado, respectivamente nas Tabela 20, 21, 22, 23 e 24.

Tabela 20 - Matriz de desempenho das oleaginosas na região Norte.

Subcritérios	Oleaginosas				
	Babaçu MP3	Macaúba MP6	Palma MP8	Soja MP10	
SC1	Valor (R\$/ton)	8550	3444	3752	2578
	Referência	CREFBio, 2017	Adaptado de DÍAZ, 2016	Adaptado de CREFBio, 2017	Adaptado de CREFBio, 2017
SC2	Valor (R\$/ton)	2750	440	350	996,5
	Referência	CREFBio, 2017	CONAB, 2017	PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK, 2017	CONAB, 2017
SC3	Valor (kg/ha)	15000	24000	19009	2655
	Referência	MMA, 2006	MARTINS, 2014	IBGE, 2013	IBGE, 2017
SC4	Valor (t/ha)	0,6	4	4	0,56
	Referência	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MAPA, 2014	MAPA, 2014
SC5	Valor (mm)	1000	1750	2500	650
	Referência	NETO, 2008	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MORAIS <i>et al.</i> , 2016	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013
SC6	Valor (Admens.)	1	1	0,5	0
	Referência	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2017	LORENZI, 2006; DE ALENCAR PAGEÚ, 2016	CARDOSO; MANESCHY; MATLABA, 2014	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006
SC7	Valor (Admens.)	1	1	1	1
	Referência	MARTIN, 2006	MARTIN, 2006	MARTIN, 2006	FONSECA; GUTIERREZ, 1974
SC8	Valor (10 ³ t/ano)	0	0	1042,86	3969,7
	Referência	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2013	IBGE, 2017
SC9	Valor (10 ³ ha)	0	0	54,86	1514,11
	Referência	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2013	IBGE, 2017
SC10	Valor (%m/m)	66	43,45	21,5	20
	Referência	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	Adaptado de ALMEIDA, 2014; AMARAL, 2007	ROSA <i>et al.</i> , 2011	MAPA, 2014
SC11	Valor (meses)	12	4	12	3

	Referência	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	AVELAR, 2009	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015
SC12	Valor (Admens.)	1	1	32	1674
	Referência	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017
SC13	Valor (Kcal/l)	7770	8529	8330	8125
	Referência	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	CARDOSO, 2016	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017
SC14	Valor (mg de KOH/g)	1,54	57,45	12,3	1,71
	Referência	CAVALCANTE, CHAVES, ARAUJO, 2016	Adaptado de SILVA, 2007; AMARAL;2007; ALMEIDA, 2014	CURVELO, 2010	VIEIRA, 2010
SC15	Valor (% m/m)	0,03	0,80	0,58	0,27
	Referência	PAES-DE-SOUZA, 2011	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	ODOH, 2017	YAN <i>et al.</i> , 2009
SC16	Valor (%m/m)	83,30	20,35	47,77	14,3
	Referência	SILVA, 2009	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	Adaptado de SILVA, 2009 e ROSA <i>et al.</i> , 2011	ALMEIDA, 2011
SC17	Valor (%m/m)	13,3	34,75	30	9,5
	Referência	STACHIW <i>et al.</i> , 2016	AMARAL, 2007	SHAARANI, 2010	MOHLER, 2010

Tabela 21 - Matriz de desempenho das oleaginosas na região Nordeste.

		Oleaginosas						
Subcritérios		Algodão MP1	Babaçu MP3	Macaúba MP6	Mamona MP7	Palma MP8	Pinhão-manso MP9	Soja MP10
	Valor (R\$/ton)	5910	8550	3444	7300	3752	2875	2500
SC1	Referência	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	Adaptado de DÍAZ, 2016	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	Adaptado de MARTINS, 2012	CREFBio, 2017
	Valor (R\$/ton)	1150	2750	650	2244	350	420	970,6
SC2	Referência	Adatado de CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	CONAB, 2017	CONAB, 2017	PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLIN K, 2017	MARTINS, 2012	CONAB, 2017
	Valor (kg/ha)	2348	15000	24000	541	3793	6000	1775
SC3	Referência	MAPA, 2014	MMA, 2006	MARTINS, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2013	MMA, 2006	IBGE, 2017
	Valor (t/ha)	0,361	0,6	4	0,75	4	1,5	0,56
SC4	Referência	MAPA, 2014	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MMA, 2006	MAPA, 2014	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	MAPA, 2014
	Valor (mm)	575	1000	1750	700	2500	600	650
SC5	Referência	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013	NETO, 2008	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MENESES, 2007	MORAIS <i>et al.</i> , 2016	DE ARAÚJO; SOUSA, 2008	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013
	Valor (Admens.)	0	1	1	0	0,5	1	0
SC6	Referência	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2017	LORENZI, 2006; DE ALENCAR PAGEÚ, 2016	GENOVES E; UDAETA; GALVAO, 2006	CARDOSO ; MANESCH Y; MATLABA, 2014	TOLÊDO <i>et al.</i> , 2010	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006
	Valor	1	1	1	0	1	0	1

	(Admens.)							
	Referência	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	MARTIN, 2006	MARTIN, 2006	ANTONIA SSI; FREITAS, 2017	MARTIN, 2006	ANTONIA SSI; FREITAS, 2017	FONSECA; GUTIERREZ, 1974
	Valor (10 ³ t/ano)	827	0	0	21,30	203,97	0	5100,18
SC8	Referência	MAPA, 2014	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	IBGE, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
	Valor (10 ³ ha)	352,3	0	0	48,42	53,77	0	2784,02
SC9	Referência	MAPA, 2014	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	IBGE, 2013	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
	Valor (%m/m)	19	66	43,45	45	21,5	35,5	20
SC10	Referência	MAPA, 2014	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	Adaptado de ALMEIDA, 2014; AMARAL, 2007	MAPA, 2014	ROSA <i>et al.</i> , 2011	LAVIOLA ; DIAS, 2008	MAPA, 2014
	Valor (meses)	3	12	4	3	12	12	3
SC11	Referência	SLUSZZ; MACHADO, 2006	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	AVELAR, 2009	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015
	Valor (Admens.)	176	1	1	39	32	1	1674
SC12	Referência	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017
	Valor (Kcal/l)	8050	7770	8529	8000	8330	8021	8125
SC13	Referência	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	CARDOSO, 2016	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	Adaptado de Agarwa l, 2007	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017
	Valor (mg de NAOH/g)	6,11	1,54	57,45	12,33	12,33	15,12	1,71
SC14	Referência	MOHDALY <i>et al.</i> , 2017	CAVALCANTE, CHAVES, ARAUJO, 2016	Adaptado de SILVA, 2007; AMARAL;2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	CURVELO, 2010	PENHA <i>et al.</i> , 2013	VIEIRA, 2010
	Valor (% m/m)	0,20	0,03	0,80	0,41	0,58	0,37	0,27
SC15	Referência	SIRADZE, 2017	PAES-DE-SOUZA, 2011	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	ODOH, 2017	PENHA <i>et al.</i> , 2013	YAN <i>et al.</i> , 2009
	Valor (%m/m)	29	83,30	20,35	2,95	47,77	20,3	14,3
SC16	Referência	GALLO, 2017	SILVA, 2009	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	COSTA, 2004	Adaptado de SILVA, 2009 e ROSA <i>et al.</i> , 2011	CORREIA, 2009	ALMEIDA, 2011
	Valor (%m/m)	10,45	13,3	34,75	6,47	30	6,8	9,5
SC17	Referência	DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008	STACHIW <i>et al.</i> , 2016	AMARAL, 2007	SOUZA; TONETTI; DAVIDE, 2005	SHAARAN I, 2010	HONÓRIO, 2012	MOHLER, 2010

Tabela 22 - Matriz de desempenho das oleaginosas na região Sul.

Subcritérios		Oleaginosas			
		Algodão MP1	Colza MP4	Girassol MP5	Soja MP10
SC1	Valor (R\$/ton)	5910	6710	6480	2800
	Referência	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017
	Valor (R\$/ton)	929,59	1101	1093	1027,5
SC2	Referência	CREFBio, 2017	PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK, 2017	CREFBio, 2017	CONAB, 2017
SC3	Valor (kg/ha)	1473	1400	1462	3046
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017
SC4	Valor (t/ha)	0,361	0,57	0,66	0,56
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	MAPA, 2014	MAPA, 2014
SC5	Valor (mm)	575	406	600	650
	Referência	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013	ARRÚA, 2013	JUNIOR <i>et al.</i> , 2013	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013
SC6	Valor (Admens.)	0	0	0	0
	Referência	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006
SC7	Valor (Admens.)	1	1	1	1
	Referência	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	MARTIN, 2006	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	FONSECA; GUTIERREZ, 1974
SC8	Valor (10 ³ t/ano)	1,3	58,1	7,09	35170,33
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017
SC9	Valor (10 ³ ha)	0,9	41,5	5,48	11574,31
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017
SC10	Valor (%m/m)	19	40	43	20
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	MAPA, 2014	MAPA, 2014
SC11	Valor (meses)	3	3	3	3
	Referência	SLUSZZ; MACHADO, 2006	SLUSZZ; MACHADO, 2006	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015
SC12	Valor (Admens.)	176	26	265	1674
	Referência	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017
SC13	Valor (Kcal/l)	8050	7528	7950	8125
	Referência	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	Adaptado de DUNPHY, 2007	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017
SC14	Valor (mg de NAOH/g)	6,11	2,29	0,18	1,71
	Referência	MOHDALY <i>et al.</i> , 2017	RAMOS, 2011	MARTIM; FONSECA; POLICARPO, 2009	VIEIRA, 2010
SC15	Valor (% m/m)	0,20	0,01	0,04	0,27
	Referência	SIRADZE, 2017	AZÓCAR, 2010	PIGHINELLI <i>et al.</i> , 2008	YAN <i>et al.</i> , 2009
SC16	Valor (%m/m)	29	6	11	14,3
	Referência	GALLO, 2017	FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014	FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014	ALMEIDA, 2011
SC17	Valor (%m/m)	10,45	6,97	5,8	9,5
	Referência	DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008	MARCHIORI JR, 2012	DE OLIVEIRA, 2012	MOHLER, 2010

Tabela 23 - Matriz de desempenho das oleaginosas na região Sudeste.

Subcritérios	Oleaginosas						
	Algodão	Amendoim	Girassol	Macaúba	Mamona	Pinhão-	Soja

		MP1	MP2	MP5	MP6	MP7	manso MP9	MP10
SC1	Valor (R\$/ton)	5910	12960	6480	3444	7300	2875	2564
	Referência	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	Adaptado de DÍAZ, 2016	CREFBio, 2017	MARTINS, 2012	CREFBio, 2017
SC2	Valor (R\$/ton)	865	685,73	1050,5	230	2244	420	905,16
	Referência	CREFBio, 2017	PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK, 2017	CREFBio, 2017	CONAB, 2017	CONAB, 2017	MARTINS, 2012	CONAB, 2017
SC3	Valor (kg/ha)	2069	3030	1041	24000	1151	6000	3224
	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017	MARTINS, 2014	IBGE, 2017	MMA, 2006	IBGE, 2017
SC4	Valor (t/ha)	0,361	0,78	0,66	4	0,75	1,5	0,56
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	MAPA, 2014	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MMA, 2006	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	MAPA, 2014
SC5	Valor (mm)	575	648	600	1750	700	600	650
	Referência	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013	SILVA; RAO, 2006	JUNIOR <i>et al.</i> , 2013	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MENESES, 2007	DE ARAÚJO; SOUSA, 2008	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013
SC6	Valor (Admens.)	0	0	0	1	0	1	0
	Referência	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVES E; UDAETA; GALVAO, 2006	LORENZI, 2006; DE ALENCAR PAGEÚ, 2016	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	TOLÊDO <i>et al.</i> , 2010	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006
SC7	Valor (Admens.)	1	1	1	1	0	0	1
	Referência	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	MARTIN, 2006	ANTONIASS I; FREITAS, 2017	ANTONIA SSI; FREITAS, 2017	FONSECA; GUTIERREZ, 1974
SC8	Valor (10 ³ t/ano)	58,1	418,37	8,49	0	0,24	0	7375,33
	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
SC9	Valor (10 ³ ha)	28,1	118,78	8,15	0	0,23	0	2300,73
	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
SC10	Valor (%m/m)	19	45	43	43,45	45	35,5	20
	Referência	BRASIL, 2014b	BRASIL, 2014b	BRASIL, 2014b	Adaptado de ALMEIDA, 2014; AMARAL, 2007	BRASIL, 2014b	LAVIOLA; DIAS, 2008	BRASIL, 2014b
SC11	Valor (meses)	3	3	3	4	3	12	3
	Referência	SLUSZZ; MACHADO, 2006	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	AVELAR, 2009	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015
SC12	Valor (Admens.)	176	29	265	1	39	1	1674
	Referência	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017

				2017			2017	2017
	Valor (Kcal/l)	8050	8000	7950	8529	8000	8021	8125
SC13	Referência	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	CARDOSO, 2016	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	Adaptado de JAIN, 2002	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017
	Valor (mg de NaOH/g)	6,11	2,0	0,18	57,45	12,33	15,12	1,71
SC14	Referência	MOHDALY <i>et al.</i> , 2017	BORTOLETTO <i>et al.</i> , 2014	MARTIM; FONSECA; POLICARPO, 2009	Adaptado de SILVA, 2007; AMARAL; 2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	PENHA <i>et al.</i> , 2013	VIEIRA, 2010
	Valor (% m/m)	0,20	0,06	0,04	0,80	0,41	0,37	0,27
SC15	Referência	SIRADZE, 2017	PIGHINELLI <i>et al.</i> , 2008	PIGHINELLI <i>et al.</i> , 2008	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	PENHA, <i>et al.</i> , 2013	YAN <i>et al.</i> , 2009
	Valor (%m/m)	29	20	11	20,35	2,95	20,3	14,3
SC16	Referência	GALLO, 2017	GALLO, 2017	FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	COSTA, 2004	CORREIA, 2009	ALMEIDA, 2011
	Valor (%m/m)	10,45	7	5,8	34,75	6,47	6,8	9,5
SC17	Referência	DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008	DE AZEREDO <i>et al.</i> , 2007	DE OLIVEIRA, 2012	AMARAL, 2007	SOUZA; TONETTI; DAVIDE, 2005	HONÓRIO, 2012	MOHLER, 2010

Tabela 24 - Matriz de desempenho da região Centro-Oeste.

Subcritérios	Oleaginosas							
	Algodão MP1	Girassol MP5	Macaúba MP6	Mamona MP7	Palma MP8	Pinhão-manso MP9	Soja MP10	
	Valor (R\$/ton)	5910	6480	3444	7300	3752	2875	2450
SC1	Referência	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	Adaptado de DÍAZ, 2016	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	Adaptado de MARTINS, 2012	CREFBio, 2017
	Valor (R\$/ton)	773,77	1008	440	2244	350	420	863,3
SC2	Referência	CREFBio, 2017	CREFBio, 2017	CONAB, 2017	CONAB, 2017	PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK, 2017	MARTINS, 2012	CONAB, 2017
	Valor (kg/ha)	2329	1298	24000	1000	10000	6000	2964
SC3	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	MARTINS, 2014	IBGE, 2017	MAPA, 2014	MMA, 2006	IBGE, 2017
	Valor (t/ha)	0,361	0,66	4	0,75	4	1,5	0,56
SC4	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MMA, 2006	MAPA, 2014	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	MAPA, 2014
	Valor (mm)	575	600	1750	700	2500	600	650
SC5	Referência	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013	JUNIOR <i>et al.</i> , 2013	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	MENESES, 2007	MORAIS <i>et al.</i> , 2016	DE ARAÚJO; SOUSA,	CARVALHO <i>et al.</i> , 2013

2008								
SC6	Valor (Admens.)	0	0	1	0	0,5	1	0
	Referência	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	GENOVESE; UDAETA; GALVAO, 2006	LORENZI, 2006; DE ALENCAR PAGEÚ, 2016	GENOVES E; UDAETA; GALVAO, 2006	CARDOSO; MANESCHY; MATLABA, 2014	TOLÊDO <i>et al.</i> , 2010	GENOVES E; UDAETA; GALVAO, 2006
SC7	Valor (Admens.)	1	1	1	0	1	0	1
	Referência	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	FONSECA; GUTIERREZ, 1974	MARTIN, 2006	ANTONIA SSI; FREITAS, 2017	MARTIN, 2006	ANTONIA SSI; FREITAS, 2017	FONSECA; GUTIERREZ, 1974
SC8	Valor (10 ³ t/ano)	1707	61,49	0	0,55	0	0	44137
	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	Pereira, 2014	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
SC9	Valor (10 ³ ha)	733	48,71	0	0,55	0	0	14981,98
	Referência	MAPA, 2014	IBGE, 2017	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017	Pereira, 2014	PINOTTI; DO AMARAL, 2013	IBGE, 2017
SC10	Valor (%m/m)	19	43	43,45	45	21,5	35,5	20
	Referência	MAPA, 2014	MAPA, 2014	Adaptado de ALMEIDA, 2014; AMARAL, 2007	MAPA, 2014	ROSA <i>et al.</i> , 2011	LAVIOLA ; DIAS, 2008	BRASIL, 2014b
SC11	Valor (meses)	3	3	4	3	12	12	3
	Referência	SLUSZZ; MACHADO, 2006	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	AVELAR, 2009	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015	LAVIOLA <i>et al.</i> , 2015	DA SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015
SC12	Valor (Admens.)	176	265	1	39	32	1	1674
	Referência	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017	MAPA, 2017
SC13	Valor (Kcal/l)	8050	7950	8529	8000	8330	8021	8125
	Referência	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	CARDOSO, 2016	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2002	Adaptado de JAIN, 2002	TECNOLOGIA EM CALOR, 2017
SC14	Valor (mg de NaOH/g)	6,11	0,18	57,45	12,33	12,3	15,12	1,71
	Referência	MOHDALY <i>et al.</i> , 2017	MARTIM; FONSECA; POLICARPO, 2009	Adaptado de SILVA, 2007; AMARAL; 2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	CURVELO, 2010	PENHA <i>et al.</i> , 2013	VIEIRA, 2010
SC15	Valor (%m/m)	0,20	0,04	0,80	0,41	0,58	0,37	0,27
	Referência	SIRADZE, 2017	PIGHINELLI <i>et al.</i> , 2008	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA, 2014	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2016	ODOH, 2017	PENHA, <i>et al.</i> , 2013	YAN <i>et al.</i> , 2009
SC16	Valor (%m/m)	29	11	20,35	2,95	47,77	20,3	14,3
	Referência	GALLO, 2017	FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014	Adaptado de AMARAL, 2007; ALMEIDA,	COSTA, 2004	Adaptado de SILVA, 2009 e ROSA <i>et al.</i> , 2011	CORREIA, 2009	ALMEIDA, 2011

		2014						
Valor (%m/m)		10,45	5,8	34,75	6,47	30	6,8	9,5
SC17	Referência	DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008	DE OLIVEIRA, 2012	AMARAL, 2007	SOUZA; TONETTI; DAVIDE, 2005	SHAARANI, 2010	HONÓRIO , 2012	MOHLER, 2010

A partir da matriz de desempenho das oleaginosas (Tabelas 20 a 24) e dos pesos estabelecidos para cada subcritério (Tabela 12), obteve-se o Coeficiente de Similaridade C_i+ (distância da solução ideal, que possui valor igual a 1) e o *ranking* das oleaginosas para cada região, conforme apresentado nas Tabelas 25 a 29. O ANEXO IV apresenta detalhamento da aplicação do método TOPSIS nas cinco regiões do Brasil.

Tabela 25 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Norte do Brasil.

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,7228	1º
Palma	0,5376	2º
Macaúba	0,4681	3º
Babaçu	0,3657	4º

Tabela 26 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Nordeste do Brasil.

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,7028	1º
Pinhão-manso	0,4403	2º
Palma	0,4192	3º
Algodão	0,3890	4º
Macaúba	0,3771	5º
Babaçu	0,3625	6º
Mamona	0,3153	7º

Tabela 27 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sul do Brasil.

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,7265	1º

Girassol	0,3351	2°
Colza	0,2834	3°
Algodão	0,2329	4°

Tabela 28 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sudeste do Brasil.

Oleaginosa	Ci+	Ordem de prioridade
Soja	0,7339	1°
Pinhão-manso	0,4900	2°
Macaúba	0,4452	3°
Algodão	0,4404	4°
Girassol	0,4365	5°
Mamona	0,3853	6°
Amendoim	0,3428	7°

Tabela 29 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Centro-Oeste do Brasil.

Oleaginosa	Ci+	Ordem de prioridade
Soja	0,7290	1°
Pinhão-manso	0,4114	2°
Palma	0,3992	3°
Algodão	0,3641	4°
Girassol	0,3573	5°
Macaúba	0,3488	6°
Mamona	0,3055	7°

3.6. Discussão

O critério “econômico” e o subcritério “custo do óleo” foram considerados, na avaliação geral dos especialistas, como os aspectos de maior importância na seleção de oleaginosas para o processo HEFA, mostrando o alinhamento deste trabalho com o estudo de Anderson *et al.* (2012), que afirmaram que a viabilidade do bioquerosene HEFA depende, sobretudo, do preço do óleo vegetal. De forma geral, a viabilidade econômica do

bioquerosene está vinculada ao custo de produção desse combustível (DEANE, 2018; GEGG *et al.*, 2014), cujo custo da matéria-prima representa cerca de 70% do custo final (CANTARELLA *et al.*, 2015; STEINER *et al.*, 2012).

O fato dos especialistas ligados às organizações sem fins lucrativos destoarem dos outros grupos de especialistas, atribuindo maior peso ao critério “escala de produção” e não ao critério econômico, pode ser explicado pelo perfil dessas instituições. No Brasil, a maioria das organizações sem fins lucrativos relacionadas ao bioquerosene é formada por representantes da cadeia produtiva da matéria-prima, ou seja, entidades que se preocupam com o ganho de escala de produção dessas matérias-primas.

Em relação ao *ranking* das oleaginosas, a soja apareceu no topo da lista em todas as regiões avaliadas. Isto se deve principalmente pelo elevado desempenho da soja nos subcritérios: custo do óleo, exigências hídricas, dependência do extrativismo, cultivares registrados, área plantada, produção agrícola anual, além da boa qualidade de seu óleo e oleaginosa. Ao contrário da agricultura tradicional, o agronegócio da soja é carregado com modernidade, capital intensivo e com alto conteúdo tecnológico integrado ao seu processo de produção (VIRGÍLIO, 2018), o que pode ser corroborado, por exemplo, pelo grande número de cultivares registrados no MAPA. Conforme apresentado nas matrizes de desempenho (Tabelas 20 a 24), no Brasil há 1.674 cultivares de soja registrados, número muito superior aos 265 de girassol, 176 de algodão, 39 de mamona, 32 de palma, 29 de amendoim e apenas um de babaçu, macaúba e pinhão manso. Sem tecnologias maduras, o cultivo para fins energéticos se torna insustentável e impraticável.

Além do domínio tecnológico, outro fator de peso para soja se consolidar como a matéria-prima mais promissora para produção de bioquerosene em todas as regiões do País é a escala de produção. O Brasil não produz comercialmente pinhão-manso, babaçu e macaúba. Embora haja produção comercial de algodão e mamona no Brasil, com maior destaque para a região Nordeste (aproximadamente 800 mil toneladas por ano e 20 mil toneladas por ano, respectivamente), tais produções ainda são muito inferiores à produção de soja, que chega a 5 milhões de toneladas por ano na região. O amendoim e o girassol são produzidos comercialmente no Brasil, alcançando a máxima produção na região Sudeste (aproximadamente 418 mil toneladas por ano e 8 mil toneladas por ano, respectivamente). Contudo, essa produção ainda é muito pequena quando comparada a produção anual de aproximadamente 7 milhões de toneladas na região. A colza também é produzida comercialmente no Brasil, se destacando na região Sul, cuja produção é da ordem de 58 mil toneladas por ano, muito inferior à produção de soja, que alcança 5 milhões de toneladas. Em relação à palma, a maior produção se dá no Norte do País, alcançando aproximadamente um quarto da produção de soja, que é da ordem de 4 milhões de toneladas. Analogamente, todas essas culturas possuem área plantada muito inferior à da soja, fazendo com que a alta disponibilidade contribua para a redução do custo de seu óleo.

Todo este cenário de alta disponibilidade e tecnologia faz da soja a oleaginosa de maior potencial produtivo para a produção de bioquerosene em todas as regiões do Brasil. Cantarella *et al.* (2015) revisaram as principais matérias-primas para a produção de

bioquerosene a partir de uma avaliação de custos envolvidos e esforços técnicos necessários. Entre as matérias-primas avaliadas (lignocelulósicos, oleaginosas, resíduos, açúcares e amidos), os autores concluíram que a produção de bioquerosene a partir de matérias-primas oleaginosas (processo HEFA) será a primeira a atingir escala comercial no Brasil, concluindo também que a soja é a matéria-prima mais viável a curto prazo.

Contudo, considerando que a soja é atualmente a principal matéria-prima para a produção de biodiesel, é importante ponderar que não é estratégico para o País depender apenas de uma única fonte, até porque os dois setores concorreriam entre si (LAVIOLA; CAPDEVILLE, 2015). Neste sentido, torna-se necessária a busca e o desenvolvimento contínuo de outras oleaginosas com maior adensamento energético e que atendam aos critérios relacionados à diversificação e a regionalização.

Além da soja, que já possui tecnologia e escala de produção, outras oleaginosas também já possuem certo domínio tecnológico, contudo ainda sem produção em larga escala, como é o caso do girassol, palma, mamona, amendoim e algodão. Dessas, o girassol, mamona e amendoim possuem alto teor de óleo (média de 43% nas sementes de girassol e 45% na mamona e amendoim), tornando-as interessantes, por exemplo, para produção de bioquerosene na região Sudeste, sob a ótica de adensamento energético. No entanto, o alto custo desses óleos, ainda torna inviável a produção dessas culturas para fins energéticos (FERREIRA, 2015). O óleo de amendoim, por exemplo, chega a custar na região Sudeste cinco vezes mais que o óleo de soja. O alto custo desse óleo é explicado pelo alto custo de produção da cultura de amendoim (DUTRA *et al.*, 2015), do qual 25% corresponde às despesas com a aplicação de pesticidas agrícolas (SANTOS; TODESCHINI, 2012). O desenvolvimento de novos cultivares resistentes às pragas é uma forma de reduzir o custo desse óleo, tornando-o mais atraente para a produção de bioquerosene.

Na região Sul, o girassol se destaca, ocupando o segundo lugar do *ranking*, porque possui alto teor (43%) e rendimento em óleo (média de 660 kg/ha), boa qualidade do óleo, caracterizada pela sua baixa acidez e baixa umidade das sementes. Além disso, depois da soja, é a oleaginosa que possui maior número de cultivares registrados no MAPA (265 registrados).

No Norte, a palma merece destaque porque além da soja, é a única da região que possui produção comercial e área plantada, mostrando seu potencial produtivo. O babaçu, apesar de se destacar pelo teor de óleo mais elevado dentre todas as oleaginosas avaliadas neste estudo (aproximadamente 66%), possuir elevada produtividade (aproximadamente 15 mil kg/ha) e ter um óleo rico em ácidos graxos saturados (cerca de 83%, exigindo menor quantidade de hidrogênio no processo), não se destacou na região porque além de não ser produzido comercialmente, apresenta óleo com alto custo e elevada acidez, além da cultura apresentar baixo rendimento em óleo.

Nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, depois da soja, a oleaginosa com maior potencial para produção de bioquerosene é o pinhão-manso. Esta oleaginosa, mesmo sem produção em escala comercial e domínio tecnológico, possui alto conteúdo energético, devido ao alto teor de óleo, que chega a 43,45%, alta produtividade e rendimento em óleo. Além disso, o pinhão-manso não requer grandes exigências hídricas e é uma planta perene, que

pode ser colhida durante todo o ano. Por ser uma cultura perene, cobre o solo com matéria-seca, podendo ser utilizado na conservação do solo, reduzindo a erosão, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (PURCINO; DRUMMOND, 1986). O pinhão-manso, assim como a mamona, também merece destaque em relação à dependência alimentícia do óleo. Como os óleos extraídos dessas oleaginosas são altamente tóxicos, eles não podem ser usados como alimento humano e animal, logo sua produção pode ser destinada apenas para fins energéticos, não competindo com a produção de alimentos (RANUCCI *et al.*, 2015). Apesar da vantagem relacionada à não competição com a indústria de alimentos, a alta toxicidade da torta de culturas com óleos tóxicos são um desafio para o mercado de bioquerosene. Devido à presença de componentes tóxicos nas sementes, é necessário um sistema eficiente de desintoxicação de suas tortas para que possam ser utilizadas como alimento para animais, o principal mercado das oleaginosas (PEREIRA *et al.*, 2017).

Outra oleaginosa que merece destaque sob a ótica de eficiência do uso da terra é a macaúba, que ficou em terceiro lugar no *ranking* das regiões Norte e Sudeste. Esta oleaginosa possui elevada produtividade e rendimento em óleo. A produtividade chega a 24.000 kg/ha, contra apenas 3.224 kg/ha da soja. O rendimento em óleo alcança o patamar de 4,75 toneladas de óleo por hectare, contra apenas 0,56 toneladas de óleo de soja por hectare plantados. Ou seja, ao plantar uma mesma área de soja e macaúba, teremos 7,5 vezes mais óleo extraído da plantação de macaúba quando comparado a de soja. Estes parâmetros fazem da macaúba um importante aliado no duplo desafio brasileiro: proteger seus abundantes recursos naturais e, ao mesmo tempo, apoiar o setor agrícola. No entanto, um dos gargalos para o uso do óleo de macaúba para produção de bioquerosene é a elevada umidade e acidez do seu óleo. Além disso, o fruto da macaúba possui elevada umidade, comprometendo seu armazenamento e transporte. Segundo Rezende *et al.* (2016), a atual forma extrativista de obter essa safra compromete a qualidade de seu óleo para fins energéticos.

Para reduzir os gargalos relacionados às culturas alternativas à soja nas cinco regiões do Brasil é necessário investimento em pesquisa na busca pelo domínio tecnológico das culturas com alta produtividade, rendimento e teor de óleo, e ainda estudos que busquem a qualidade desejável desses óleos para o hidrotreatamento. É importante também considerar estudos com foco nos coprodutos e resíduos gerados pela extração do óleo das diversas culturas avaliadas. A expectativa é que, com o avanço da tecnologia nas culturas de oleaginosas, novas opções de concentrados proteicos favoreçam a produção animal, estimulando também o mercado de bioquerosene de aviação.

3.7. Conclusão

Segundo os especialistas em bioquerosene, o critério econômico é preponderante na escolha de oleaginosas para o processo HEFA, sendo o custo do óleo, o subcritério considerando de maior relevância (22,65%) dentre os 17 avaliados.

Cada oleaginosa possui alguma vantagem em relação as outras, conforme é observado na matriz de desempenho das oleaginosas em cada região. Contudo, a avaliação mostra que as

vantagens das outras espécies ainda são inferiores às da soja. Assim, considerando a necessidade de implantação em curto prazo de um sistema produtivo de bioquerosene no Brasil para alcance das metas de redução das emissões definidas pela ICAO e assumidas pelo Brasil por meio de NDC, sugere-se inicialmente a soja como matéria-prima para produção de bioquerosene HEFA. Em paralelo, sugere-se o estímulo às pesquisas voltadas para o alcance do domínio tecnológico de outras oleaginosas locais, o que é fundamental para aumentar a escala de produção, reduzir os custos do óleo, tornar a produção de bioquerosene HEFA mais competitiva e ainda contribuir para o desenvolvimento regional.

4. A PEGADA DE CARBONO NA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

4.1. Introdução

Um importante critério para avaliação do potencial ambiental de uma matéria-prima para produção de biocombustíveis é a pegada de carbono, ou seja, está relacionado às emissões de gases de efeito estufa ao longo de seu ciclo de produção (LOKESH *et al.*, 2015; TRIVEDI *et al.*, 2015; UKAEW *et al.*, 2014; 2015; 2016; BAILIS; BAKA, 2010; SIEVERDING *et al.*, 2016; STRATTON *et al.*, 2011; HAN *et al.*, 2013; DE JONG *et al.*, 2017; SHONNARD *et al.*, 2015; ZEMANEK, 2018). No capítulo anterior, este critério não foi levado em consideração, principalmente pelo número reduzido de trabalhos publicados relacionados à Análise de Ciclo de Vida (ACV) do bioquerosene de aviação. Embora alguns trabalhos deste tema tenham sido publicados para o bioquerosene HEFA (os critérios de busca são apresentados nos procedimentos metodológicos deste capítulo), nem todas as oleaginosas avaliadas no capítulo anterior foram consideradas nesses trabalhos publicados de ACV.

Diante do exposto, este capítulo tem por objetivo: 1. Revisar os trabalhos publicados referente à ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir das oleaginosas alvo desta Tese de Doutorado; e 2. Comparar e ranquear as oleaginosas, cujos dados de ACV para produção de bioquerosene HEFA estão amplamente disponíveis na literatura, com base nas mesmas ferramentas multicritérios utilizadas no capítulo anterior. Assim, o subcritério “emissões de GEE com base em ACV” e mais os 17 subcritérios avaliados no capítulo 3, serão considerados na avaliação.

4.1.1. A análise de ciclo de vida (ACV)

Independente da matéria-prima utilizada, todo produto, incluindo os biocombustíveis, provocam um impacto no meio ambiente. Pelo senso comum ou pela falta de informação, muitas vezes acreditamos que o impacto gerado por um produto tem início a partir do seu consumo. No entanto, todo produto gera algum impacto em toda as etapas da cadeia produtiva. Os impactos gerados pelo bioquerosene de aviação HEFA, por exemplo, vão além da queima no motor. Eles se estendem a todo processo de produção agrícola da matéria-prima, consumo de fertilizantes, extração do óleo, transporte, refino, até a queima propriamente dita nas turbinas da aeronave. Por isso, a Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e impactos associados a um produto, compreendendo todo o seu ciclo, que vai desde a retirada da matéria prima da natureza até a sua disposição final (LJUNGBERG, 2005 apud BORCHARDT *et al.*, 2008).

Em termos de normatização, a norma ISO 14040 (ISO, 2006a) apresenta a estrutura e os princípios de uma ACV e a ISO 14044 (ISO, 2006b) especifica os requerimentos e fornece diretrizes para o desenvolvimento de uma ACV. Ambas as normas foram editadas e traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Além da ISO 14040 e

14044, a norma ISO 13065 (ISO, 2015) trata dos critérios de sustentabilidade para bioenergia, apresentando os princípios, critérios e indicadores ambientais que devem ser levados em consideração nesse tipo de análise. Sobre os princípios, destacam-se a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, a conservação e proteção dos recursos hídricos, a proteção da qualidade e produtividade do solo, a promoção da boa qualidade do ar, a promoção de impactos positivos e a redução de negativos na biodiversidade, o uso eficiente dos recursos energéticos e o gerenciamento responsável dos resíduos (ISO, 2015 apud BRAZ, 2018). Segundo Braz (2018), atualmente, quando se trata de avaliação de impactos ambientais, a principal categoria considerada é o *Global Warming Potential*, GWP, o qual tem relação com o princípio de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, sendo a categoria que mais dispõe de dados na literatura para comparação com fontes produtivas convencionais.

4.1.1.1. Alocação dos coprodutos

A alocação consiste na divisão adequada dos aspectos ambientais entre a unidade funcional e os subprodutos do sistema (SILVA, 2014). A sua utilização se faz necessária quando não se consegue separar nitidamente os impactos gerados pela função em estudo de outras geradas simultaneamente pelo sistema produtivo, os coprodutos (RAMIREZ, 2009). Na produção de bioquerosene de aviação HEFA, os coprodutos são produzidos em dois estágios: na extração do óleo e no processo de refino. O principal coproduto da extração do óleo é a farinha das sementes oleaginosas, comumente vendida como ração animal. No refino, os principais coprodutos são a nafta, o diesel renovável e o propano (ZEMANEK, 2018).

Na alocação de coprodutos em uma ACV, as emissões são alocadas entre múltiplas saídas de um sistema, podendo ser considerada com base em uma taxa de alocação ou um deslocamento de crédito (GNANSOUNOU *et al.*, 2009). Uma taxa de alocação é baseada nas propriedades dos produtos, como massa (alocação em massa), conteúdo energético (alocação energética), ou valor de mercado (alocação econômica). O deslocamento de crédito ocorre quando se pressupõe que um coproduto substitui um produto similar no mercado global, gerando um crédito de deslocamento que subtrai as emissões do ciclo de vida do produto principal (ZEMANEK, 2018).

Há vantagens e desvantagens em todos os métodos de alocação de coprodutos, e diferentes métodos de alocação podem gerar estimativas muito diferentes de emissões ao longo do ciclo de vida (ZEMANEK, 2018). Por este motivo, quando se deseja comparar resultados de ACV de diferentes produtos, é importante padronizar o tipo de alocação, de forma a se obter resultados comparáveis. A ISO 14044 (ISO, 2006) aconselha evitar, sempre que possível, o procedimento de alocação, recomendando a divisão do processo multifuncional em vários subprocessos unifuncionais. Quando esta divisão não pode ser evitada, no caso de ocorrer interdependência de efeitos entre as diferentes correntes do processo, a norma sugere a utilização do procedimento de expansão das fronteiras do sistema, no qual os produtos secundários são tratados como créditos por substituírem os já existentes no mercado (PEREIRA *et al.*, 2015, apud BRAZ, 2018). Quando não for possível aplicar um

dos dois procedimentos anteriores, a norma sugere que a alocação seja realizada de forma a refletir as relações físicas entre as correntes do processo, utilizando os fluxos mássicos ou energéticos, por exemplo (ISO, 2006).

A Diretiva de Energia Renovável da União Europeia (*Renewable Energy Directive - RED*), uma das regulamentações de sustentabilidade mais importante do mundo, considera, para fins de ACV de biocombustíveis, a alocação em base energética e a expansão do sistema, este último apenas para energia elétrica (MANNINEN *et al.*, 2013). Ademais, a alocação de coprodutos em base energética é a base de alocação da *RenovaCalc*, ferramenta de cálculo oficial dos gases de efeito estufa (GEE) ao longo do ciclo de vida dos biocombustíveis no âmbito do programa *RenovaBio* (MATSURA, 2018). Neste tipo de alocação, se E_i for o conteúdo energético de um produto i , e E_t for a energia total da combinação de todos os produtos, então E_i / E_t da energia do processo, bem como as emissões são atribuídas ao coproduto i , e o produto principal é creditado nessa parcela (ANDRADE, 2012). Assim, neste tipo de alocação, o conteúdo de energia do produto primário e do coproduto é levado em consideração de modo a dividir o peso das emissões poluentes de entrada.

4.1.1.2. Mudança do uso da terra (MUT)

Muitos estudos publicados mostram que os biocombustíveis, como o bioquerosene de aviação HEFA, reduzem significativamente as emissões de GEE (LOKESH *et al.*, 2015; TRIVEDI *et al.*, 2015; ELGOWAINY *et al.*, 2012; UKAEW *et al.*, 2014; SIEVERDING *et al.*, 2016; HAN *et al.*, 2013; DE JONG *et al.*, 2017). No entanto, alguns trabalhos (FARGIONE *et al.*, 2008; SEARCHINGER *et al.*, 2008 apud AOUN *et al.*, 2013) sugerem que as políticas de apoio à implantação de biocombustíveis devem ser revisadas a fim de limitar os impactos não intencionais da expansão dos biocombustíveis, pelo deslocamento de culturas alimentares por energia (AOUN *et al.*, 2013). As alterações do uso da terra são incertas e difíceis de serem estimadas, mas merecem ser consideradas no contexto de análise de ciclo de vida porque podem estar associadas a efeitos prejudiciais ao meio ambiente, como o aumento das emissões de GEE e o esgotamento da biodiversidade a partir da conversão de ecossistemas naturais (AOUN *et al.*, 2013).

A economia de GEE causada pelo uso de biocombustíveis pode ser comprometida caso as terras, utilizadas para outros fins, como florestas e pastagens, sejam deslocadas para o cultivo de matérias-primas para produção de biocombustíveis (EUROPEAN COMMISSION, 2018). Isso porque algumas terras, como pastagens e florestas, normalmente absorvem altos níveis de CO₂, e ao converter esses tipos de terras em terras cultiváveis, os níveis atmosféricos de CO₂ podem aumentar (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

Assim, as emissões causadas pelas Mudanças no Uso da Terra (MUT), em inglês, *Land Use Change* (LUC), quando direta, e *Indirect Land Use Change* (iLUC), quando indireta, representam uma importante parcela das emissões de CO₂ na fase agrícola, podendo, em alguns casos, ser uma parcela significativa da pegada de carbono em uma análise de ciclo de vida (NOVAES *et al.*, 2017). Por este motivo, o uso da terra é uma das categorias de

impacto de grande relevância para produtos, como o bioquerosene HEFA, que tem em seu processo produtivo uma fase agrícola.

A mudança direta ocorre quando, por exemplo, o cultivo de matéria-prima para produção de biocombustíveis modifica o uso da terra anterior (floresta natural, por exemplo), gerando possíveis mudanças no estoque de carbono do solo e da biomassa nele residente (LANGE, 2012). A mudança indireta do uso da terra, por sua vez, ocorre quando uma nova atividade agrícola gera o deslocamento de uma atividade anteriormente desenvolvida na mesma área, induzindo mudanças de uso da terra em outras terras (LANGE, 2012). É importante ressaltar que, dependendo do contexto, as emissões de GEE relacionadas à MUT podem ser positivas (emissões líquidas) ou também negativas (sequestro líquido). As emissões negativas de MUT podem ocorrer quando matérias-primas altamente produtivas e com baixa exigência de fertilizantes (por exemplo, gramíneas perenes) sequestram mais carbono do que a vegetação de referência, caso que ocorre, por exemplo, no cultivo de matérias-primas em áreas degradadas ou marginais (DE JONG *et al.*, 2015).

A MUT indireta é complexa e muito difícil de ser mensurada, já que depende de uma sequência de eventos encadeados (GARBIN; HENKES, 2018). Segundo Gazzoni (2014), para equilibrar oferta e demanda de produtos agrícolas, outro país, que pode estar situado a 20.000 km de distância, desmataria a floresta para substituir a área de alimentos que desapareceu no país que passou a produzir biocombustíveis.

A MUT direta, por sua vez, é um parâmetro que pode ser mensurável, já que é possível estimar o antes e o depois do uso de uma determinada área em um curto ou médio prazo (GARBIN; HENKES, 2018). No entanto, este fator ainda é desconsiderado pela maioria dos estudos de ACV, principalmente pelas grandes incertezas e deficiências ainda existentes nas modelagens existentes. Os parâmetros de avaliação são apoiados em evidências empíricas, o que gera incertezas relacionadas aos tipos de solo, uso prévio da terra e práticas de gestão agrícola (DE JONG *et al.*, 2015; WICKE *et al.*, 2012; CHERUBINI; STRØMMAN, 2011; HAN *et al.*, 2013). Bailis e Baka (2010) afirmam que as práticas de gestão variam até mesmo dentro de uma mesma região, de modo que os estoques terrestres de carbono podem variar significativamente. Uma determinada faixa de terra pode ser queimada antes do plantio e colheita, por exemplo, enquanto que outra pode ser plantada com mudas cavadas em pequenos buracos, permitindo que a vegetação e o solo permaneçam intactos (BAILIS; BAKA, 2010).

Wicke *et al.* (2012) afirmam que a minimização das emissões de GEE provenientes das mudanças do uso da terra, direta ou indireta, para fins de bioenergia deve ser considerada em um contexto mais amplo do que a contabilização da MUT, devendo envolver a elaboração de zoneamento agrícola e incentivos ao melhor gerenciamento agrícola.

No âmbito do RenovaBio, as emissões causadas pelas mudanças no uso da terra não são consideradas no cálculo de ACV estabelecida pela RenoaCalc. No entanto, a MUT não será desconsiderada do programa, uma vez que os produtores de biocombustíveis terão, a

princípio, que cumprir três critérios de elegibilidade para ingressar no programa e ter direito aos Créditos de Descarbonização por Biocombustíveis - CBios (EMBRAPA, 2018):

- 1) Toda a produção certificada deve ser oriunda de área sem desmatamento após a data de promulgação da Lei do RenovaBio;
- 2) Toda a área deve estar em conformidade com o Código Florestal, por meio da regularização do Cadastro Ambiental Rural (CAR);
- 3) As áreas de produção de cana e palma devem estar em conformidade com os zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma-de-óleo, definidos pelos Decretos Federais 6.961 e 7.172, respectivamente.

4.2. Procedimentos Metodológicos

4.2.1. Metodologia de revisão de trabalhos relacionados à ACV do bioquerosene HEFA e definição das oleaginosas avaliadas neste capítulo

De forma a conhecer os estudos relacionados à ACV do bioquerosene HEFA das dez oleaginosas avaliadas no capítulo 3, foi realizada uma pesquisa de trabalhos publicados nos últimos quinze anos (outubro de 2003 a outubro de 2018) a partir do portal CAPES. As palavras-chaves consideradas foram: (“*life-cycle analysis*” OR “*life-cycle assessment*” OR (“*life cycle analysis*” OR “*life cycle assessment*”)) AND (*soy* OR *soybean* OR *cotton* OR *peanut* OR *sunflower* OR *macauba* OR *castor* OR *jatropha* OR *rapeseed* OR *rape* OR *canola* OR *babassu*) AND (*biojet* OR “*aviation biofuel*” OR “*renewable jet fuel*” OR “*aviation renewable fuel*” OR “*renewable aviation fuel*” OR *biokerosene* OR “*alternative aviation fuel*” OR “*alternative jet fuel*” OR “*alternative kerosene*”).

Ao total, 123 trabalhos foram encontrados. Todos esses trabalhos foram cuidadosamente analisados e apenas 14 foram selecionados por apresentarem ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de pelo menos uma das dez oleaginosas avaliadas no capítulo 3. Os outros 109 trabalhos, apesar de citar os termos da pesquisa, não avaliaram a produção de bioquerosene HEFA com base em ACV. Dos 14 trabalhos selecionados, 11 são artigos publicados em periódicos revisados por pares (LOKESH *et al.*, 2015; TRIVEDI *et al.*, 2015; UKAEW *et al.*, 2014; 2015; 2016; BAILIS; BAKA, 2010; SIEVERDING *et al.*, 2016; STRATTON *et al.*, 2011; HAN *et al.*, 2013; DE JONG *et al.*, 2017; SHONNARD *et al.*, 2015; ZEMANEK, 2018), 1 tese de doutorado (WONG, 2008) e 2 *Partner Report* (STRATTON *et al.*, 2010; ELGOWAINY *et al.*, 2012). Cada um dos trabalhos será discutido no item 4.4.1 deste capítulo.

Das dez oleaginosas avaliadas no capítulo 3, apenas dados de ACV para bioquerosene HEFA a partir de soja, pinhão-manso, palma, girassol, e colza foram contemplados pelos 14 trabalhos, não sendo encontradas análises desta natureza para as oleaginosas mamona, babaçu, algodão, macaúba e amendoim. Por este motivo, a análise neste capítulo se resumiu a

avaliação das 5 oleaginosas, cujos dados de ACV estão amplamente disponíveis na literatura. A Tabela 30 apresenta estas oleaginosas de forma regionalizada.

Tabela 30 – Matérias-primas regionalizadas para análise multicritério considerando emissões de GEE com base em ACV.

Regiões do Brasil	Matérias-Primas	Notação utilizada
Norte	Palma	MP8
	Soja	MP10
Nordeste	Palma	MP8
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10
Sul	Colza	MP4
	Girassol	MP5
	Soja	MP10
Sudeste	Girassol	MP5
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10
Centro-Oeste	Girassol	MP5
	Palma	MP8
	Pinhão-manso	MP9
	Soja	MP10

4.2.2. A análise multicritério considerando a redução de GEE a partir de ACV

Para comparar e ranquear as oleaginosas com base em análise multicritério considerando também o subcritério ambiental “redução das emissões de GEE”, as mesmas ferramentas multicritérios utilizadas no capítulo 3 foram consideradas: AHP para ponderar os critérios e subcritérios, e TOPSIS para ranqueamento com base no desempenho das oleaginosas em relação aos subcritérios avaliados.

Um adendo (ANEXO II) ao formulário AHP foi enviado aos 18 especialistas respondentes da análise constante do capítulo 3 para comparação pareada dos subcritérios ambientais, que incluiu a redução das emissões de GEE.

O desempenho de cada uma das oleaginosas para produção de bioquerosene HEFA, em relação as emissões de GEE, foi determinado a partir de dados da literatura. A partir dos dados de emissões de GEE para cada oleaginosa, constantes dos trabalhos da revisão bibliográfica, selecionou-se os dados comparáveis, isto é, que foram obtidos a partir do mesmo tipo de alocação (energética), mesma metodologia de ACV (GREET) e sem MUT. Em seguida, para cada oleaginosa, calculou-se a média desses dados comparáveis.

Destaca-se que as emissões provocadas pelas mudanças do uso da terra calculadas por alguns autores da revisão (item 4.4.1 deste capítulo) não foram consideradas para o desempenho final das oleaginosas por ser um parâmetro que sofre grandes variações de acordo com a região, práticas agrícolas e tipo de solo convertido. Além disso, como apresentado na introdução (item 4.1.1.2), ainda há grandes incertezas envolvidas na modelagem de MUT, seja ela direta ou indireta. A alocação energética foi escolhida por ser necessário considerar uma alocação padrão para todas oleaginosas para fins de comparação, além de ser a mais frequente na literatura consultada (vide item 4.3.1 deste capítulo) e ser o tipo de alocação padrão da RED e Renovabio.

4.3. Resultados

4.3.1 Análise dos estudos de ACV para produção de bioquerosene HEFA produzidos a partir das oleaginosas alvo desta Tese de Doutorado

Com base em ACV, Lokesh *et al.* (2015) avaliaram as emissões de GEE do bioquerosene HEFA produzido a partir de camelina, microalga e pinhão-mansão, no estado de Montana, EUA. A avaliação se deu com base no modelo ALCEmB (*Assessment of Life Cycle Emissions of Biofuels*), um modelo de previsão de emissões de GEE “*Cradle-Grave*”, ou seja, do berço ao túmulo. Na avaliação, os autores desconsideraram as mudanças no uso da terra e consideraram a alocação dos coprodutos em base energética, em um cenário base. Segundo os autores, a economia de carbono no ciclo de vida do HEFA a partir de camelina, microalga e pinhão-mansão, foi de 70%, 58% e 64%, respectivamente.

Trivedi *et al.* (2015) avaliaram o retorno de investimento de energia (EROI) da combinação de diferentes matérias-primas e rotas de produção de bioquerosene nos EUA, com base em uma prévia ACV, realizada a partir do modelo GREET (*Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation*), desenvolvido pelo Departamento de Energia e Tecnologia de Transporte dos EUA, que permite avaliar diferentes combinações de motores e combustíveis. A avaliação se deu com alocação dos coprodutos em base energética, sem considerar as mudanças no uso da terra. Em relação ao HEFA, os autores avaliaram as seguintes oleaginosas: soja, palma, colza e pinhão-mansão, concluindo uma redução na pegada de carbono, em relação ao querosene de aviação fóssil de 52%, 66%, 41% e 43%, respectivamente.

Elgowainy *et al.* (2012) avaliaram as emissões de diversas rotas e matérias-primas (inclusive fósseis, como carvão) para produção de querosene de aviação alternativo nos EUA com base em ACV (modelo GREET). Os autores desconsideraram as mudanças no uso da terra e consideraram a alocação dos coprodutos em base energética. Em relação a rota HEFA, os autores avaliaram as seguintes matérias-primas: soja e algas, concluindo uma redução na pegada de carbono da ordem de 53% e 52%, respectivamente.

Ukaew *et al.* (2014) analisaram o ciclo de vida da produção de bioquerosene de aviação HEFA a partir de colza em dez estados dos EUA a partir de dois modelos: RSB (*Roundtable on Sustainable Biofuels*) e IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*),

com auxílio dos softwares SimaPro e GREET. Na avaliação foi considerada nula a mudança no uso da terra e a alocação foi considerada com base no deslocamento dos coprodutos. Os autores concluíram que a pegada de carbono teve variações insignificantes de um estado para outro, sendo a redução das emissões de GEE do bioquerosene HEFA de colza da ordem de 51%, (modelo RSB) e 48% (modelo IPCC), quando comparado ao querosene fóssil.

Ukaew *et al.* (2015) complementaram o estudo de Ukaew *et al.* (2014) incluindo mudança no uso da terra (MUT), com alocação de deslocamento dos coprodutos. Os autores analisaram o ciclo de vida da produção de bioquerosene de aviação HEFA a partir de colza em dez estados dos EUA a partir de dois modelos: RSB (para emissão de N₂O provindo da aplicação de fertilizantes) e IPCC (para avaliação da MUT), contando com auxílio dos softwares SimaPro e GREET. Os autores concluíram uma redução das emissões de GEE do bioquerosene HEFA de colza da ordem de 47%, (sem MUT) e da ordem de 20% a 96% (com MUT, dependendo do solo e práticas agrícolas), quando comparado ao querosene fóssil.

Ukaew *et al.* (2016) complementaram o estudo de Ukaew *et al.* (2014; 2015), incluindo na avaliação das emissões do bioquerosene HEFA (colza), além da MUT, outros tipos de alocação dos coprodutos: deslocamento, econômico e energético. Os autores concluíram que a redução da pegada de carbono, considerando MUT, pode variar, dependendo do tipo de conversão do solo, de 22% a 115% (alocação por deslocamento), 50% a 70% (alocação energética) e de 48% a 71% (alocação econômica).

Bailis e Baka (2010) avaliaram as emissões, com base em ACV, do bioquerosene HEFA de pinhão-manso no Brasil. Os autores usaram o modelo IPCC/GREET na análise, alocação energética dos coprodutos e consideraram resultados com e sem MUT, concluindo uma redução nas emissões da ordem de 52% (sem MUT) em relação ao querosene fóssil. Considerando MUT, os autores concluíram que o produto pode reduzir a pegada de carbono em 83%, no caso de o pinhão-manso ser produzido em terras agropastoris. No entanto, se o pinhão-manso for produzido em florestas, as emissões podem aumentar em até 59%, quando comparado ao querosene fóssil.

Sieverding *et al.* (2016, apud ZEMANEK *et al.*, 2018) analisaram o ciclo de vida da produção de bioquerosene de aviação HEFA a partir de colza, camelina, carinata e girassol com base em ACV (modelo GREET) nos EUA. Os autores desconsideraram as mudanças no uso da terra e consideraram a alocação dos coprodutos em base energética, concluindo uma redução na pegada de carbono da ordem de 41,2%, 59,8%, 55,5% e 51,4%, respectivamente.

Stratton *et al.* (2010; 2011) realizaram ACV (com e sem MUT, a partir do modelo GREET) do bioquerosene de aviação produzido a partir de diferentes rotas e matérias-primas na Europa. Em relação às oleaginosas para produção de HEFA, os autores avaliaram a soja, colza, palma e pinhão-manso, concluindo as seguintes reduções da pegada de carbono (sem MUT), em relação ao querosene fóssil, para o bioquerosene de soja, colza, palma e pinhão-manso: 57%, 38%, 66% e 55%, respectivamente. Considerando MUT, a pegada de carbono do bioquerosene de soja poderia aumentar em 11%, em relação ao querosene fóssil, no caso de conversão de áreas de pastagens, a 500%, no caso de conversão de floresta tropical. No caso da colza, a pegada de carbono poderia aumentar em 11%, no caso de conversão de áreas

regulamentadas como não agrícolas. No caso da palma, as emissões poderiam reduzir em 45%, no caso de conversão de florestas exploradas, até aumentar em 700%, no caso de conversão de pântanos. Para o pinhão-mansão não foi considerada MUT.

Han *et al.* (2013) avaliaram as emissões de diversas rotas e matérias-primas para produção de querosene de aviação alternativo nos EUA com base em ACV (modelo GREET). Os autores desconsideraram as mudanças no uso da terra e consideraram a alocação energética dos coprodutos no cenário base. Em relação às oleaginosas para produção de HEFA, os autores avaliaram a soja, colza, palma e pinhão-mansão, concluindo as seguintes reduções da pegada de carbono, em relação ao querosene fóssil, para o bioquerosene de soja, colza, palma e pinhão-mansão: 57%, 41%, 63% e 41%, respectivamente

De Jong *et al.* (2017) também avaliaram as emissões de diversas rotas e matérias-primas para produção de querosene de aviação alternativo. A avaliação se deu na Europa com base em ACV (modelo GREET) sem considerar as mudanças no uso da terra. Os autores avaliaram tanto a alocação energética dos coprodutos quanto alocação mista (energética mais deslocamento). Em relação às oleaginosas para produção de HEFA, os autores avaliaram a camelina e o pinhão-mansão, concluindo as seguintes reduções da pegada de carbono no modelo com alocação energética: 37% e 47%, respectivamente. No caso da alocação mista, a redução das emissões foi de 75%, no caso da camelina e 50%, no caso do pinhão-mansão.

Zemanek (2018) avaliou as emissões do bioquerosene HEFA de canola no Canadá a partir de ACV. O autor utilizou o modelo GREET e considerou três modelos de alocação dos coprodutos: deslocamento, energético e massa, todos com e sem MUT. Sem considerar MUT, o autor apontou uma redução nas emissões de carbono da ordem de 54%, 43% e 54%, considerando alocação dos coprodutos com base em deslocamento, energia e massa, respectivamente. Considerando MUT, o autor apontou um aumento nas emissões de carbono da ordem de 51% e 9%, para alocação com base no deslocamento e energia, respectivamente, e uma redução das emissões da ordem de 11% para alocação em massa.

Wong (2018) avaliou as emissões do bioquerosene HEFA de soja e palma nos EUA a partir de ACV. O autor utilizou o modelo GREET e considerou, no caso da palma, quatro modelos de alocação dos coprodutos: massa, energético, econômico e deslocamento, todos com e sem MUT. Para a soja, o autor considerou apenas a alocação energética, também com e sem MUT. O autor concluiu que no caso do bioquerosene HEFA de soja, considerando alocação energética, há uma redução nas emissões de carbono da ordem de 59% sem MUT e uma redução de 28%, considerando MUT. No caso da palma, sem considerar MUT, a redução das emissões é da ordem de 20% a 30%, de acordo com o tipo de alocação. Considerando MUT, os autores concluíram um aumento das emissões da ordem de 47% a 64%, de acordo com a área convertida e o tipo de alocação dos co-produtos.

As tabelas 31 a 35, apresentam, respectivamente, as emissões do bioquerosene de aviação de soja, pinhão-mansão, colza, palma e girassol, segundo os trabalhos supracitados.

Tabela 31 – Emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de soja.

Considera MUT?	Alocação dos co-produtos	Região	Modelo	Emissão de GEE (gCO₂e/MJ)	Referências
Não				37,0	
Sim	Econômica	Europa	GREET	97,8 a 564,2	STRATTON <i>et al.</i> , 2010; 2011
Não	Energética	EUA	GREET	37,6	HAN <i>et al.</i> , 2013
Não	Energética	EUA	GREET	43,4	TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015
Não	Energética	EUA	GREET	42,0	ELGOWAINY <i>et al.</i> , 2012
Não				35,2	
Sim	Energética	EUA	GREET	90,4 a 600,3	WONG, 2008

Tabela 32 – Emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de pinhão-manso.

Considera MUT?	Alocação dos co-produtos	Local	Modelo	Emissão de GEE (gCO₂e/MJ)	Referências
Não	Energética			55	
	Energética/ Deslocamento	Europa	GREET	22	DE JONG <i>et al.</i> , 2017
Não	Econômica	Europa	GREET	39,4	STRATTON <i>et al.</i> , 2010; 2011
Não	Energética	EUA	GREET	51,6	HAN <i>et al.</i> , 2013
Não	Energética	Brasil	IPCC/GREET	40	BAILIS; BAKA, 2010
Sim				13 a 141	
Não	Energética	EUA	GREET	51,5	TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015
Não	Deslocamento	EUA	ALCEmB	39,7	LOKESH <i>et al.</i> , 2015

Tabela 33 – Emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de colza.

Considera MUT?	Alocação dos co-produtos	Local	Modelo	Emissão de GEE (gCO₂e/MJ)	Referências
-----------------------	---------------------------------	--------------	---------------	---------------------------------------------	--------------------

Não	Econômica	Europa	GREET	54,9	STRATTON <i>et al.</i> , 2010; 2011)
Sim				97,9	
Não	Energética	EUA	GREET	51,6	HAN <i>et al.</i> , 2013
Não	Deslocamento	EUA	RSB (SimaPro e GREET)	43,0	UKAEW <i>et al.</i> , 2014
			IPCC (<i>software</i> SimaPro e GREET)	45,9	
Não	Deslocamento	EUA	RSB/IPCC (<i>software</i> SimaPro e GREET)	46	UKAEW <i>et al.</i> , 2015
Sim	Deslocamento		4-70		
Sim	Energética	EUA	RSB/IPCC (<i>software</i> SimaPro e GREET)	27 a 44	UKAEW <i>et al.</i> , 2016
	Econômica			25 a 42	
	Deslocamento			-14 a 19	
Não	Energética	EUA	GREET	51,7	SIEVERDING <i>et al.</i> , 2016 apud ZEMANEK <i>et al.</i> , 2018
Não	Energética	EUA	GREET	53,5	TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015
Não	Deslocamento	Canadá	GREET	53,6	ZEMANEK, 2018
	Energética			57,3	
Sim	Massa	Canadá	GREET	46,4	ZEMANEK, 2018
	Deslocamento			153,1	
	Energética			110,9	
	Massa			80,5	

Tabela 34 – Emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de palma.

Considera MUT?	Alocação dos co-produtos	Local	Modelo	Emissão de GEE (gCO ₂ e/MJ)	Referências
Não	Econômica	Europa	GREET	30,1	STRATTON <i>et al.</i> , 2010; 2011
Sim				40,9 a 704,7	
Não	Energética			32,4	HAN <i>et al.</i> , 2013
Não	Energética	EUA	GREET	30,4	TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015

Não	Massa	EUA	GREET	24,8	WONG, 2018
	Energética			26,2	
	Econômica			26,2	
	Deslocamento			24,7	
Sim	Massa			128,2	
	Energética			139,3	
	Econômica			139,0	
	Deslocamento			124,7	

Tabela 35 – Emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV do bioquerosene HEFA produzido a partir de girassol.

Considera MUT?	Alocação dos co-produtos	Local	Modelo	Emissão de GEE (gCO₂e/MJ)	Referências
Não	Energética	EUA	GREET	42,7	SIEVERDING <i>et al.</i> , 2016 apud ZEMANEK <i>et al.</i> , 2018

4.3.2. Construção da matriz de desempenho das oleaginosas em relação ao subcritério ambiental “emissões de GEE”

A Tabela 36 apresenta o desempenho das oleaginosas neste subcritério, calculado a partir da média dos resultados comparáveis da literatura (alocação energética, modelo Greet, sem MUT).

Tabela 36 – Desempenho das oleaginosas em relação às emissões de GEE (gCO₂e/MJ) com base em ACV– Região Norte.

Oleaginosa	Desempenho Emissão de GEE (gCO₂e/MJ)	Referência
Soja	39,5	HAN <i>et al.</i> , 2013; TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015; ELGOWAINY <i>et al.</i> , 2012; WONG, 2018
Palma	29,7	HAN <i>et al.</i> , 2013; TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015
Pinhão-manso	49,5	DE JONG <i>et al.</i> , 2015; HAN <i>et al.</i> , 2013; TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015; BAILIS; BAKA, 2010
Colza	53,5	HAN <i>et al.</i> , 2013; SIEVERDING <i>et al.</i> , 2016; TRIVEDI <i>et al.</i> , 2015; ZEMANEK,

		2018
Girassol	42,7	SIEVERDING <i>et al</i> , 2016 apud ZEMANEK, 2018

4.3.3. Aplicação do método AHP

A partir da resposta dos 18 especialistas ao adendo do formulário AHP (ANEXO III), que incluiu o subcritério ambiental: “emissões de GEE”, o método AHP foi aplicado, sendo obtidos os novos pesos dos subcritérios. O peso dos critérios permaneceram os mesmos estabelecidos no capítulo 3 (Figura 13), uma vez que não foi incluído na avaliação novos critérios, apenas um novo subcritério.

A Tabela 37 mostra a nova distribuição de pesos dos subcritérios obtidos na avaliação por grupo de especialistas. A Figura 15 apresenta graficamente a preferência geral dos especialistas em relação aos subcritérios.

Tabela 37 – Peso dos subcritérios com base na avaliação de cada grupo de especialistas (considerando subcritério emissões de GEE).

Subcritério	Setor Empresarial	Instituições Governamentais	Instituições de Pesquisa	Instituições sem fins lucrativos	Geral
SC1	24,96	24,35	23,36	15,93	22,65
SC2	7,21	7,14	5,87	2,62	5,51
SC3	5,31	1,66	4,10	1,73	3,00
SC4	6,20	2,84	2,03	1,77	3,01
SC5	4,14	5,97	4,61	5,80	5,44
SC 18 (GEE)	2,13	7,10	4,71	3,12	4,15
SC6	5,59	2,14	1,89	4,50	3,50
SC7	2,50	6,08	5,53	7,26	5,47
SC8	1,52	3,76	4,66	10,36	4,60
SC9	1,54	4,54	3,37	10,20	4,45
SC10	6,61	7,88	6,30	2,85	6,25
SC11	2,64	3,55	2,98	3,83	3,62
SC12	4,32	2,07	1,26	3,98	2,92

SC13	5,39	3,88	7,35	6,52	5,79
SC14	3,95	3,71	5,8	7,08	5,32
SC15	4,29	4,18	3,84	4,95	4,38
SC16	5,82	4,65	8,57	4,75	6,04
SC17	4,24	3,76	4,33	3,29	3,89

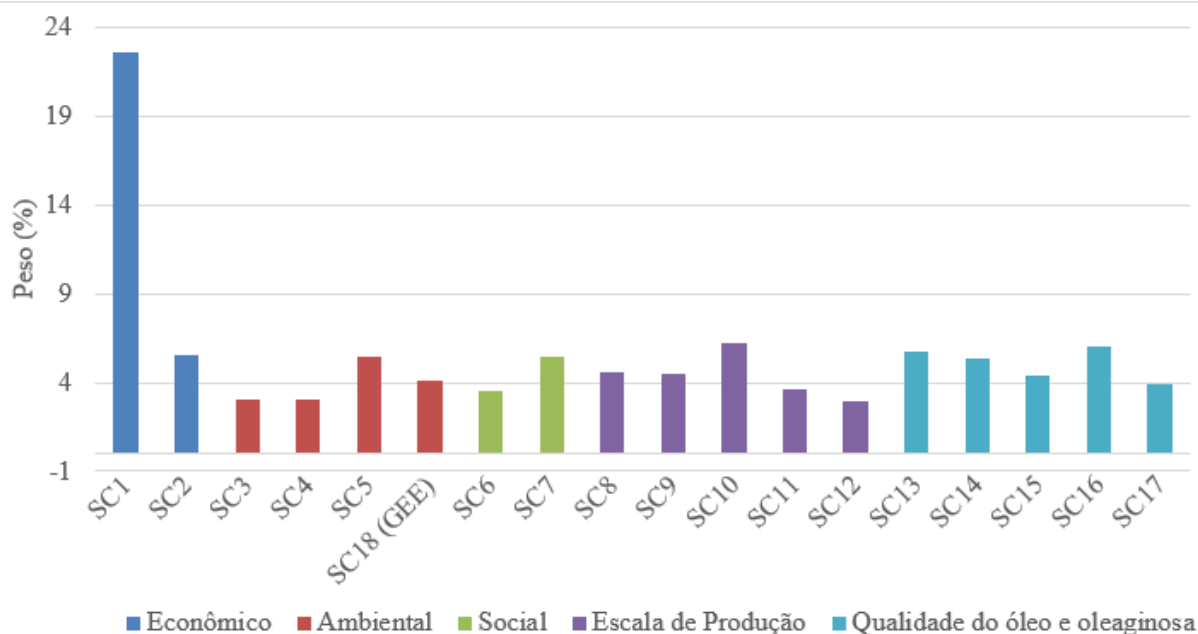


Figura 15 – Peso estabelecido aos 18 subcritérios a partir da aplicação do método multicritério AHP.

Na avaliação por grupos, os representantes das instituições governamentais foram os que atribuíram maior peso ao subcritério “emissões de GEE” (SC18 – GEE), 7,10%. Os representantes do setor empresarial atribuíram o menor peso a este subcritério, 2,13%. Já na avaliação geral, o peso do subcritério “emissões de GEE” foi de 4,15%. No geral, dentre os subcritérios ambientais, apenas o subcritério “exigências hídricas” (SC4) foi considerado de maior importância que as emissões de GEE, ficando com o peso de 5,44%.

4.3.4. Aplicação do método TOPSIS

4.3.4.1. Desempenho e *Ranking* das oleaginosas nas cinco regiões do Brasil

A partir dos pesos estabelecidos para cada subcritério (Tabela 37) e da matriz de desempenho das oleaginosas (Tabelas 20 a 24), incluindo o desempenho das oleaginosas em

relação ao subcritério emissões de GEE (Tabela 36), obteve-se o Coeficiente de Similaridade C_i+ (distância da solução ideal, que possui valor igual a 1) e o *ranking* das oleaginosas para cada região, conforme apresentado nas Tabelas 38 a 42. O ANEXO V apresenta detalhamento da aplicação do método TOPSIS (considerando as emissões de GEE) nas cinco regiões do Brasil.

Tabela 38 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Norte do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”).

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,6199	1º
Palma	0,3801	2º

Tabela 39 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Nordeste do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”).

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,6358	1º
Pinhão-manso	0,4138	2º
Palma	0,3199	3º

Tabela 40 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sul do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”).

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,6776	1º
Girassol	0,3392	2º
Colza	0,2905	3º

Tabela 41 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Sudeste do Brasil.

Oleaginosa	C_i+	Ordem de prioridade
Soja	0,7113	1º
Pinhão-manso	0,4924	2º
Girassol	0,3158	3º

Tabela 42 – *Ranking* das oleaginosas potenciais para produção de bioquerosene HEFA na região Centro-Oeste do Brasil (considerando o subcritério ambiental “emissões de GEE”).

Oleaginosa	Ci+	Ordem de prioridade
Soja	0,7097	1º
Pinhão-manso	0,4523	2º
Palma	0,3959	3º
Girassol	0,3415	4º

Novamente, a soja apareceu na primeira colocação em todas as regiões. Ademais, não houve alteração dos *rankings* regionais quando comparado aos obtidos no capítulo 3. Isto é, a alteração dos Coeficientes de Similaridade Ci^+ não foi suficiente para alterar a ordem de prioridade das oleaginosas.

4.4. Discussão

A distribuição de pesos dos subcritérios na nova configuração da análise multicritério (inclusão do subcritério “emissões de GEE”) não apresentou grandes variações em relação a configuração do capítulo 3. Isso porque os pesos dos subcritérios são ponderados pelos dos critérios. Assim, como o peso do critério ambiental, 15,60%, foi baixo quando comparado aos outros critérios, o grau de preferência pelo subcritério “emissões de GEE” não foi expressivo. O critério econômico, com peso de 28,16%, escala de produção, peso 21,85%, e qualidade do óleo/oleaginosa, peso 25,42%, foram considerados mais importantes para seleção de oleaginosas para produção de bioquerosene HEFA do que o ambiental. O critério ambiental só foi considerado mais importante pelos especialistas que o critério social, cujo peso foi de 8,97%.

O maior peso atribuído pelas instituições governamentais ao subcritério “emissões de GEE” pode ser explicado pelo caráter dessas organizações, que visam, no geral, atender aos interesses da sociedade, incluindo a preservação do meio ambiente. Por outro lado, o menor peso a este subcritério atribuído pelo setor empresarial pode ser explicado pela visão de negócio do setor, que tende a priorizar os critérios de ordem econômica.

Em relação aos *rankings* estabelecidos nas cinco regiões do Brasil, verificou-se que a inclusão do subcritério “emissões de GEE” não alterou a colocação das oleaginosas regionais avaliadas quando comparados aos *rankings* obtidos no capítulo 3. Esta nova configuração da análise multicritério não provocou alterações significativas nos Coeficientes de Similaridade Ci^+ das oleaginosas de cada região, conforme pode ser observado na Tabela 43.

Tabela 43 – Variação do Coeficiente de Similariade a partir da consideração do subcritério SC-18.

Região	Oleaginosa	Ci+ (sem SC-18)*	Ci+ (com SC-18)	Variação de Ci+ (%)
Norte	Palma	0,3790	0,3801	0,29
	Soja	0,6210	0,6199	-0,18
Nordeste	Palma	0,3161	0,3199	1,20
	Pinhão-manso	0,4150	0,4138	-0,29
	Soja	0,6365	0,6358	-0,11
Sul	Colza	0,2907	0,2905	-0,07
	Girassol	0,3386	0,3392	0,18
	Soja	0,6773	0,6776	0,04
Sudeste	Girassol	0,3157	0,3158	0,03
	Pinhão-manso	0,4926	0,4924	-0,04
	Soja	0,7112	0,7113	0,01
Centro-Oeste	Girassol	0,3415	0,3415	0,00
	Palma	0,3949	0,3959	0,25
	Pinhão-Manso	0,4528	0,4523	-0,11
	Soja	0,7101	0,7097	-0,06

* Os valores de Ci+ (sem SC-18) foram obtidos a partir da modelagem do capítulo 4 desconsiderando o SC-18. Estes valores de Ci+ (sem SC-18) são diferentes dos obtidos no capítulo 3, já que o modelo do capítulo 4 apresenta uma quantidade diferente de oleaginosas comparadas.

A maior alteração do coeficiente de similaridade foi da ordem de 1,2% na região Nordeste, já que a pegada de carbono do bioquerosene HEFA produzido a partir de palma (29,7 gCO₂e/MJ) é inferior as das duas oleaginosas concorrentes: pinhão-manso (49,5 gCO₂e/MJ) e soja (39,5 gCO₂e/MJ).

Considerando as emissões de GEE do querosene de aviação convencional de 88 gCO₂e/MJ (STRATTON *et al.*, 2010; 2011; BAILIS; BAKA, 2010), todas as oleaginosas avaliadas neste capítulo mostraram redução da pegada de carbono, com destaque para palma, cujo bioquerosene de aviação tem potencial de redução das emissões de carbono da ordem de 66%, seguido pela soja, girassol, pinhão-manso e colza, com potencial de redução das emissões de 55%, 51%, 44% e 39%, respectivamente.

O alto desempenho da palma em termos de emissões é potencializado pelas ações do Governo Brasileiro no sentido de coibir que esse cultivo seja um vetor de degradação e desmatamento. Parte do setor produtivo de palma, que se concentra na região Norte, tem o interesse em agregar valor ao óleo produzido no Brasil e, com isso, ganhar competitividade no mercado internacional. Para tanto, a produção da palma no território brasileiro deve seguir à risca o que determina o Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia – ZAE da Palma (CERNE, 2017). Entre as várias recomendações do documento orientador, estão a que os produtores devem respeitar o limite de 50% da área total tal como Reserva Legal nas áreas aptas e a proibição implícita do desmatamento de novas áreas (CERNE, 2017).

Políticas desta natureza são fundamentais em um cenário de preocupação com a expansão agrícola nas diversas regiões do Brasil. Em 2018, Gollnow et al. (2018) analisaram as mudanças do uso da terra na Amazônia brasileira, nos estados do Mato Grosso e Pará, concluindo que após os primeiros anos da década de 2000, cujo desmatamento atingiu o ápice, o desmatamento da região está reduzindo significativamente. Isso porque após o aumento das taxas de desmatamento nos primeiros anos daquela década, um conjunto de medidas políticas e acordos institucionais foram colocados em ação para controlar e prevenir o desmatamento na região. Segundo os autores, a ação mais importante foi o PPCDAm (Plano de Ação para Prevenir e Controlar o Desmatamento na Amazônia), lançado em 2004, que combinou uma série de estratégias para o controle do desmatamento da região, como a expansão da rede de áreas protegidas, a ampliação do monitoramento das áreas, a ampliação da fiscalização em termos das exigências ambientais previstas em leis, além do apoio ao Meio Cadastro Ambiental Rural (CAR) e aos sistemas de produção sustentável. Outro plano importante foi a Moratória da Soja, implementada em 2006 pelas principais empresas comerciantes de soja, com objetivo de garantir que nenhuma soja originária de áreas de desmatamento, no bioma amazônico, fossem comercializadas (BOUCHER et al. 2013). Essas ações, em conjunto com mudanças nos preços globais de bens agrícolas, levaram a uma redução de 68,2% nas taxas de desmatamento em 2015 com a linha de base da última década (1996-2006) (GIBBS et al. 2015). No entanto, entre 2013 e 2016, o desmatamento na região continuou aumentando, embora com taxas significativamente mais baixas em comparação ao início dos programas de prevenção e controle do desmatamento (GOLLNOW et al., 2018).

Não só as mudanças no uso da terra na Amazônia geram preocupação. No Cerrado, especialmente na região Centro-Oeste, com foco no estado do Mato Grosso, e na região Matopiba (região composta pelas porções territoriais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), o cultivo de matérias-primas voltadas para bioenergia também levou a grandes alterações no uso da terra devido a expansão sobre áreas de vegetação natural remanescente (FARIA, 2018). Diante deste cenário de ampliação de áreas de cultivo de culturas energéticas na região, um plano de ação semelhante ao PPCDAm foi criado em 2008 para o Cerrado: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado). O PPCDa e o PPCerrado se destacam como importantes instrumentos para a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, Lei nº 12.187/2009),

que tem como foco principal a mitigação das emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso da terra (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Na região Sul, a expansão agrícola também gerou mudanças no uso da terra. Silveira *et al.* (2017) verificaram o impacto do aumento da área de cultivo de soja no uso da terra no Rio Grande do Sul (bioma Pampa e Mata Atlântica), no período entre 1990 e 2015. Os autores concluíram que um total de 505.162ha do bioma Mata Atlântica e de 1.192.115ha do bioma Pampa foram incorporados à produção de soja no período. No bioma Mata Atlântica, o aumento ocorreu nos limites da área cultivada, enquanto que no bioma Pampa ocorreu através da conversão da área com pastagem nativa.

De forma a viabilizar o uso de oleaginosas para produção de bioquerosene HEFA com mínimo impacto de mudanças do uso da terra, sugere-se investimentos em P&D para melhoria da produtividade e do rendimento agrícola (WICKE *et al.*, 2012). A maior produtividade e rendimento da cultura aumenta a eficiência do uso do solo, já que aumenta a safra sem precisar expandir a área de cultivo. Além disso, sugere-se a adoção de melhores práticas de manejo do solo, como o consorciamento e a prática de rotação de culturas, que pode contribuir para minimizar o uso de agrotóxicos, melhorar a qualidade do solo e ainda aumentar a captura de CO₂, a partir do uso de culturas mais eficientes na fixação de carbono (ASSAD *et al.*, 2007). Para reduzir a quantidade de agrotóxicos, e conseqüentemente a pegada de carbono e a contaminação do solo e da água, é importante a introdução do controle biológico (MENDES, 2009). Ademais, é importante evitar o abandono de áreas agrícolas, promover o uso de terras marginais, além de integrar os processos de conversão de biomassa e produção de múltiplos produtos como combustíveis, energia, calor, produtos químicos e farelo para ração animal (WICKE *et al.*, 2012).

Fora do campo, outras práticas e ações devem ser tomadas para controlar a expansão agrícola, reduzindo as mudanças no uso da terra. Uma dessas ações é a elaboração do zoneamento agroecológico (ZAE) de outras culturas oleaginosas, a exemplo do ZAE da Palma de óleo, de forma a garantir a sustentabilidade e orientar a expansão da produção de diversas culturas no Brasil, em base técnico-científica, em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais. Outra ação importante é garantir o efetivo monitoramento do uso do solo a partir de ferramentas como o geoprocessamento (MORTON *et al.*, 2006). O efetivo monitoramento só é possível se dados suficientes sobre o uso da terra e cobertura do solo estiverem disponíveis, com precisão aceitável e resolução adequada. Além disso, esses dados devem ser coletados em intervalos de tempo regulares para permitir o monitoramento e assegurar o cumprimento do planejamento para uso da terra. O zoneamento apropriado do uso da terra e o monitoramento da cobertura vegetal são importantes ferramentas para garantia da sustentabilidade agrícola e para redução da MUT direta indesejada (WICKE *et al.*, 2012). Além disso, é importante fortalecer as leis e políticas para proteger as florestas naturais, pastagens, savanas e regiões de água doce, bem como assegurar o cumprimento da regulação.

A adoção de todas essas medidas, bem como a adoção de práticas para reverter a perda de biodiversidade, como a criação de corredores de vida silvestre e de restauração da vegetação natural, poderão servir como mecanismos de garantia do alto potencial do

bioquerosene de aviação produzido pelas oleaginosas avaliadas na redução das emissões de gases de efeito estufa quando comparado ao querosene de aviação fóssil.

4.5. Conclusão

A partir da avaliação multicritério realizada neste capítulo, que inclui a pegada de carbono como subcritério de avaliação, verificou-se que o grau de importância do subcritério “emissões de GEE” não foi considerado alto na avaliação global realizada pelos especialistas, que consideraram o subcritério econômico "custo do óleo", como sendo o de maior importância.

Em relação ao potencial das oleaginosas, a soja se manteve na primeira posição do *ranking* de oleaginosas para produção de bioquerosene HEFA no país. Destaca-se que o bioquerosene de aviação produzido a partir de todas as oleaginosas avaliadas apresentaram potencial de redução das emissões de GEE. A oleaginosa avaliada de maior potencial neste subcritério foi a palma, com potencial de redução da ordem de 66%, seguido pela soja, girassol, pinhão-manso e colza, com potencial de redução das emissões de 55%, 51%, 44% e 39%, respectivamente.

Apesar do elevado potencial verificado pelas oleaginosas neste subcritério, é importante assegurar que a produção dessas culturas não provoquem mudanças negativas no uso da terra, de forma com que o aumento da produção agrícola não esteja associado ao desmatamento, nem ao esgotamento da biodiversidade a partir da conversão de ecossistemas naturais. Para tanto, importantes medidas estratégicas devem ser adotadas para redução da MUT indesejada, como: investimento em P&D para aumento da produtividade e rendimento agrícola; melhoria do gerenciamento agrícola; promoção do uso de terras marginais; elaboração do zoneamento agroecológico (ZAE) de culturas oleaginosas; aumento do monitoramento e controle do uso do solo; fortalecimento das leis e das políticas para proteção das florestas naturais, pastagens, savanas e regiões de água doce; criação de corredores de vida silvestre e de restauração da vegetação natural. Todas estas medidas poderão servir como mecanismos de garantia do alto potencial do bioquerosene de aviação HEFA na redução das emissões de gases de efeito estufa.

5. CONCLUSÕES GERAIS, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões Gerais

O uso do bioquerosene de aviação poderá contribuir de forma imprescindível para o alcance das metas ambiciosas de redução das emissões de GEE propostas pela ICAO e assumidas pelo Brasil por meio da NDC brasileira, no âmbito do Acordo de Paris, desde que a produção dessas culturas não provoquem mudanças negativas no uso da terra. Além das metas, o novo mercado poderá contribuir com o desenvolvimento ambiental, considerando a economia nas emissões de carbono; desenvolvimento econômico, a partir da geração de riquezas e produção economicamente viável; além do desenvolvimento social, a partir da geração de emprego, renda e oportunidades. Para tanto, é necessário atacar as principais incertezas envolvidas neste mercado.

Ainda falta maturidade tecnológica em termos de produção de matérias-primas e desenvolvimento de rotas produtivas para produção de bioquerosene em larga escala. Além disso, há problemas logísticos e falta de infraestrutura laboratorial necessária para a certificação desses combustíveis. Essas incertezas tecnológicas, somadas ao alto custo das matérias-primas e do combustível final, fazem com que este mercado ainda seja considerado incipiente no Brasil e também no mundo. Importantes iniciativas brasileiras foram desenvolvidas para atacar estas incertezas e promover a produção e o uso de bioquerosene no Brasil, como o Projeto de Lei 506/2013, a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA), a Plataforma Brasileira de Bioquerosene (PBB), as Plataformas Mineira, Pernambucana e Gaúcha de bioquerosene de aviação e o RenovaBio.

De forma a superar as principais incertezas do setor, é necessário maior planejamento operacional entre as partes interessadas e o governo, integração com agências nacionais e internacionais e ainda melhoria na regulação brasileira. Sugere-se ainda incentivos, adaptações em linhas de crédito e financiamento, e investimentos na infraestrutura de aeroportos, laboratórios e em instalações de armazenamento e mistura do querosene fóssil com o bioquerosene. Por fim, é necessário que as matérias-primas regionais por rota produtiva e os locais para instalação das unidades produtivas sejam escolhidas com base em avaliações técnicas, como a análise multicritério.

A partir da avaliação multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA, o aspecto econômico, sobretudo o custo do óleo, se mostrou o principal fator para seleção das oleaginosas. A soja foi a matéria-prima que mais se destacou em todas as regiões do País, principalmente porque, dentre outros fatores, é a que apresenta o menor custo do óleo. Além disso, possui baixa exigência hídrica, grande número de cultivares registrados, boa qualidade do óleo, e ainda grande escala de produção, com grande área cultivada. No entanto, apesar da soja trazer inúmeras vantagens do ponto de vista econômico e de disponibilidade, ela já é a oleaginosa mais utilizada para produção de biodiesel no País, não sendo estratégico a dependência de uma única fonte para produção dos dois biocombustíveis, além do uso alimentício. Assim, o estímulo às pesquisas voltadas para o alcance do domínio tecnológico

de novas oleaginosas locais, além da soja, é fundamental para aumentar a escala de produção, reduzir os custos do óleo e tornar a produção de bioquerosene HEFA mais competitiva e sustentável. Assim, as oleaginosas que ocuparam o segundo e o terceiro lugar dos *rankings* regionais merecem destaque:

- 1) **Norte:** palma e macaúba. No Norte, a palma merece destaque porque além da soja, é a única avaliada na região que possui produção comercial e área plantada, mostrando seu potencial produtivo. Além disso, a palma tem elevado potencial de redução das emissões, ao longo do ciclo de vida do bioquerosene HEFA, de 66%, quando comparado ao querosene fóssil. A macaúba, por sua vez, se destaca sob a ótica de eficiência do uso da terra, devido à elevada produtividade e rendimento em óleo.
- 2) **Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste:** pinhão-manso e macaúba. O pinhão-manso, mesmo não sendo produzido comercialmente no Brasil, alcançou o segundo lugar do *ranking* nestas regiões por ser uma planta perene, com alto teor de óleo, alta produtividade e rendimento em óleo, além de não competir com a indústria de alimentos. Do ponto de vista de redução da pegada de carbono, esta oleaginosa nativa possui potencial de reduzir as emissões de GEE na ordem de 44%. A macaúba, por sua vez, se destaca sob a ótica de eficiência do uso da terra, devido à elevada produtividade e rendimento em óleo.
- 3) **Sul:** girassol e colza. O girassol se destacou, ocupando o segundo lugar do *ranking*, porque possui alto teor e rendimento em óleo, boa qualidade do óleo, caracterizada pela sua baixa acidez e baixa umidade das sementes, além de potencial para redução das emissões de 51%. Além disso, depois da soja, é a oleaginosa que possui maior número de cultivares registrados no MAPA. A colza, por sua vez, tem potencial de redução das emissões de GEE de 39% no ciclo de vida do bioquerosene HEFA, além de possuir um elevado teor de óleo e baixa exigência hídrica. Ademais, tanto a colza, quanto o girassol já são plantados comercialmente na região e se adaptam bem à rotação e sucessão de cultivos.

Tendo em vista a busca pelo alcance das ambiciosas metas de redução de carbono, sugere-se maiores investimentos em P&D para redução das mudanças do uso da terra provocadas pelas oleaginosas (aumento da produtividade, rendimento em óleo, etc.), tornando-as ótimas opções também do ponto de vista de mudanças do uso da terra. Ademais, para evitar mudanças negativas do uso da terra, sugere-se a adoção de melhores práticas de gestão agrícola e o desenvolvimento de zoneamento agroecológico (ZAE) de novas culturas, a exemplo do ZAE da Palma. É necessário ainda a melhoria do monitoramento do uso da terra a partir de ferramentas como o geoprocessamento e o fortalecimento das leis e políticas para proteger as florestas naturais, pastagens, savanas e regiões de água doce, bem como assegurar o cumprimento da regulação.

Por fim, destaca-se que a análise multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA, objeto deste trabalho, se mostrou bastante eficiente por mostrar ser possível a avaliação geral das vantagens e desvantagens de cada oleaginosa, a partir da consolidação do desempenho de cada uma sob a ótica de múltiplos parâmetros. Deste modo, a partir da matriz de desempenho, é possível que o leitor identifique qual oleaginosa é a mais vantajosa em termos de um critério específico, como custo do óleo, dependência alimentar, exigências hídricas, emissões de GEE, acidez, etc. Mas também é possível, com o uso da ferramenta, identificar o *ranking* das oleaginosas que mais se aproximam de uma solução ideal. Essa ferramenta mostrou ser bastante útil em decisões que envolvem diferentes perspectivas, isto é, que envolvem situações em que a tomada de decisão se altera a partir da ótica de análise. Essas situações são bastante comuns em decisões relacionadas à energia sustentável. Isto porque a perspectiva econômica se contrasta, muitas vezes, com a perspectiva social e ambiental, e não necessariamente um tomador de decisão pautado exclusivamente no pilar econômico da sustentabilidade tomará a mesma decisão que um decisor pautado exclusivamente no pilar ambiental ou social. Dessa forma, a análise multicritério deve ser mais explorada nas decisões energéticas, sobretudo, em decisões estratégicas relacionadas ao potencial dos biocombustíveis.

5.2. Limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros

A avaliação do mercado de bioquerosene, apresentada no capítulo 2 desta tese, limitou-se a identificar o cenário atual do mercado brasileiro de bioquerosene de aviação, com foco nas incertezas enfrentadas no País e também com foco nas ações brasileiras criadas para promover o setor. A comparação entre as ações realizadas no Brasil e as ações realizadas em outros países não foi apresentada, sendo considerada uma limitação desta avaliação. Essa comparação não foi realizada porque a busca por ações criadas em outros países envolve não apenas uma revisão de literatura, mas também uma busca minuciosa dos atos normativos de cada país. Assim, esta comparação é sugerida para trabalhos futuros.

Como limitação da análise multicritério realizada, destaca-se que os óleos e gorduras provenientes de fontes distintas das oleaginosas vegetais não foram avaliadas, como óleo residual de fritura, resíduo de produção do biodiesel e gordura animal. Essas fontes não foram consideradas pela dificuldade em compará-las às oleaginosas vegetais a partir de critérios comuns aos dois tipos de matérias-primas. Mas, em virtude da grande quantidade de resíduos gerados diariamente, seja no uso doméstico ou industrial, é importante que estas matérias-primas sejam melhor avaliadas para produção de HEFA, contribuindo também para mitigação de um grande problema ambiental: a disposição de rejeitos.

alguns subcritérios importantes não foram incluídos na pesquisa. Isso porque falta informação amplamente disponível na literatura sobre o desempenho de determinadas culturas em relação a algumas características desejáveis. Para a aplicação do TOPSIS, é fundamental conhecer o desempenho de todas as alternativas em relação a todos os critérios e subcritérios avaliados. Os principais subcritérios não considerados em relação aos critérios econômicos foram: 1. custo de produção do HEFA, considerando o uso de cada oleaginosa avaliada;

2. participação da oleaginosa no PIB; e 3. custo de todos os coprodutos gerados, como casca, farelo e amêndoa. Em relação ao aspecto social, o número de empregos gerados na produção de cada oleaginosa e a renda média dos trabalhadores não foram considerados. Em relação aos critérios ambientais, os subcritérios não avaliados foram a redução de gases de efeito estufa para as oleaginosas: macaúba, babaçu, amendoim e algodão. Destaca-se que a quantidade de insumos agrícolas utilizados em cada cultura, como fertilizantes, embora não tenha entrado diretamente na avaliação, entrou de forma indireta nas emissões de GEE, já que os fertilizantes entram na análise de ACV, sobretudo os nitrogenados.

Assim, os pesquisadores são encorajados a estudar de forma mais aprofundada estes pontos não considerados para inclusão futura na avaliação. Conhecer o desempenho das matérias-primas em relação ao maior número de critérios e subcritérios determinantes para a priorização faz com que a avaliação se torne mais completa e eficiente.

Recomenda-se ainda pesquisas futuras com o uso de ferramentas multicritérios para priorização de matérias-primas para as outras rotas produtivas e ainda a priorização de localidades para implantação das unidades industriais de produção de HEFA, bem como de unidades de outras rotas produtivas. Ainda em relação aos estudos de priorização de unidades industriais de produção de HEFA, sugere-se a realização de avaliação logística, sob a ótica de modelo de negócio, a partir da comparação da viabilidade de instalação de plantas de pequeno e grande porte, distribuídas de forma descentralizada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP), 2014. Legislação ANP. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

AHMAD, Farah B., *et al.* A multi-criteria analysis approach for *ranking* and selection of microorganisms for the production of oils for biodiesel production. **Bioresource technology**, v. 190, p. 264-273, 2015.

ALDRICH, H.; FIOL, C. Fools rush in? The institutional context of industry creation. **Academy of management review**, v. 19, n. 4, p. 645-670, 1994.

ALIANÇA BRASILEIRA PARA BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO. Formada a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação. Disponível em: <<http://www.abraba.com.br/Documents/press-releases/048-Ins-VAC-Abraba-P-10.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2016.

ALMEIDA, F. H. L. Desenvolvimento, acúmulo de óleo e armazenamento de coco Macaúba. Universidade Estadual de Montes Claros. Montes Claros – MG, 2014.

ALMEIDA, M. E., *et al.* Lipídeos séricos e morfologia hepática de ratos alimentados com diferentes fontes lipídicas (óleo de soja, gordura de peixe e porco, margarina e manteiga). **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 143-152, Feb. 2011 .

ALVES, C., *et al.* Techno- economic assessment of biorefinery technologies for aviation biofuels supply chains in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n.1, p. 67-91, 2017.

AMARAL, F. Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart]. 2007.

ANDERSON, S., *et al.* Aviation renewable fuels: technical status and challenges for commercialisation. **The Aeronautical Journal**, v. 116, n. 1185, p. 1103-1122, 2012.

ANDRADE, Tiago Manuel Simões. **Comparação de metodologias para análise de ciclo de vida de biodiesel**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2012.

ANTONIASSI, R; FREITAS, S. Árvore do conhecimento: Tecnologia de Alimentos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.Embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000gc8yujq302wx5ok01dx9lcxpd47zs.html>. Acesso em: 20 mai. 2017.

AOUN, W. B. et al. The importance of land use change in the environmental balance of biofuels. **OCL**, v. 20, n. 5, p. 505, 2013.

ARANDA, D. G. A diferença entre o HBio e o Biodiesel, 2006. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=26155>>. Acesso em 24 nov. 2016.

ARAUJO, H. F. A.; NÓBREGA, M. L. C. Empreendimentos agroindustriais, ações coletivas de povos e comunidades tradicionais, conflitos territoriais e socioambientais. **VI Congresso Ibero americano de Estudios Territoriales y Ambientales**. São Paulo, 2014.

ARAÚJO, K. M. *et al.* Estudo comparativo técnico e econômico de diferentes óleos vegetais brasileiros para produção de biocombustível. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

ARAÚJO, L. *et al.* Mulheres quebradeiras de coco babaçu e movimentos sociais. **P2P E INOVAÇÃO**, v. 3, n. 2, p. 161-176, 2017.

ARCHER, M.; SZKLO, A. Can increasing gasoline supply in the United States affect ethanol production in Brazil?. **Renewable Energy**, v. 95, p. 586-596, 2016.

ARRÚA, M. A. M. **Características agronômicas e teor de óleo de dois híbridos de canola semeados em diferentes épocas em Marechal Cândido Rondon-PR**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon-PR, 2013.

ASSAD, et al. Análise de Riscos Climáticos para Competitividade Agrícola e Conservação dos Recursos Naturais. In: FALEIRO, G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Embrapa Cerrados; Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2007. 1198 p.

ASTM International. ASTM D4054-17, Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives, West Conshohocken, 2017.

ASTM International. ASTM D7566-18, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, West Conshohocken, 2018.

ATABANI, A. E. *et al.* Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 211-245, 2013.

AVELAR, R. C. **Características fitotécnicas do pinhão-mansão, visando à colheita mecanizada**. 2009. 109 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

AVILA, A. A. **Análise das potencialidades e barreiras referentes ao desenvolvimento e à implementação do biodiesel a partir do óleo de palma na Colômbia**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

AZÓCAR, L. *et al.* Biotechnological processes for biodiesel production using alternative oils. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 88, n. 3, p. 621-636, 2010.

BAGLIVI, A. *et al.* Valuing crop diversity in biodiesel production plans. **Energy**, v. 93, p. 2351-2362, 2015.

BAILIS, R.; BAKA, J. Greenhouse gas emissions and land use change from *Jatropha curcas*-based jet fuel in Brazil. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 22, p. 8684-8691, 2010.

BALAFOUTIS, A. T., *et al.* Sunflower oil fuel for diesel engines: An experimental investigation and optimum engine setting evaluation using a multi-criteria decision making approach. **International journal of green energy**, v. 11, n. 6, p. 642-673, 2014.

BALIN, A.; BARAÇLI, H. A fuzzy multi-criteria decision making methodology based upon the interval type-2 fuzzy sets for evaluating renewable energy alternatives in Turkey. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 23, n. 5, p. 742-763, 2017.

BANA E COSTA, C. A. *et al.* O método MACBETH e aplicação no Brasil. **Engevista**, v. 15, n. 1, p. 3-27, 2013.

BAPTISTA, M. A. P. *et al.* **Um modelo multicritério para avaliar o sistema de qualidade de um ambiente de produção**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

BAROUTIAN, S. *et al.* Blended aviation biofuel from esterified *Jatropha curcas* and waste vegetable oils. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, n. 6, p. 911-916, 2013.

BARROS, T. D; JARDINE, J. G. Girassol. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2016b. Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.Embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3jaupb6fn.html>>. Acesso em 20 nov. 2016.

BARROS, T. D; JARDINE, J. G. Mamona. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2016c. Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.Embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3kht4d7j.html>>. Acesso em 20 nov. 2016.

BARROS, T. D; JARDINE, J. G. Soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2016a. Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.Embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3vtdl7vi.html>>. Acesso em 20 nov. 2016.

BAXTER, L. Modular FTL as Offshore Associated Gas Solution. Deep Offshore Technology International, Amsterdam, 2010.

BERGMANN, J. C. *et al.* Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 411-420, 2013.

BEZERRA, O. B. *et al.* **Localização de postos de coleta para apoio ao escoamento de produtos extrativistas-um estudo de caso aplicado ao babaçu.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

BLACKSHAW, Robert, *et al.* Alternative oilseed crops for biodiesel feedstock on the Canadian prairies. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 91, n. 5, p. 889-896, 2011.

BLAKEY, S.; RYE, L.; WILSON, C. Aviation gas turbine alternative fuels: A review. **Proceedings of the combustion institute**, v. 33, n. 2, p. 2863-2885, 2011.

BLAKEY, S.; RYE, L.; WILSON, C. Aviation gas turbine alternative fuels: A review. **Proceedings of the combustion institute**, v. 33, n. 2, p. 2863-2885, 2011.

BOEING, EMBRAER, FAPESP, UNICAMP. **Plano de voo para biocombustíveis no Brasil: Plano de ação.** Brasil, 2013.

BORCHARDT, M., *et al.* Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 2, p. 341-353, 2008.

BORTOLETTO, G. M. *et al.* Extração de óleo de amendoim para produção de biodiesel. São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=2425&numeroEdicao=17>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

BOUCHER, D.; ROQUEMORE, S.; FITZHUGH, E.. Brazil's success in reducing deforestation. **Tropical Conservation Science**, v. 6, n. 3, p. 426-445, 2013.

BRANCO, M. D. O mercado brasileiro para óleo de palma (azeite de dendê) equatoriano. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.investexportbrasil.gov.br/sites/default/files/publicacoes/PSCI/PSCIEcuadorOleoP.pdf>>. Acesso em 20 nov. 2016.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 63, de 5 dezembro de 2014. Estabelece as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos e do Querosene de Aviação B-X (QAV B-X). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 08 dez. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 37, de 1º de dezembro de 2009. Estabelece a especificação do querosene de aviação, destinado ao consumo em turbinas de aeronaves. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 02 dez. 2009.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 17, de 26 de julho de 2006. Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de distribuição de combustíveis de aviação e a sua regulamentação. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 27 jul. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011a. Poder Executivo, Brasília, DF, 17 set. 2011.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 27 dez. 2017.

BRASIL. Lei nº 19.485, de 13 de janeiro de 2011. Institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas - Pró- Macaúba. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011b. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 jan. 2011.

BRASIL. Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997b. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 26 abr. 1997. Seção 1.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 07 ago. 1997.

BRASIL. Projeto de Lei nº 506/2013. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional do Bioquerosene. Poder Executivo, Brasília, DF, 05 dez. 2013. Disponível em: <<http://www.senado.leg.br/atividade/rotinas/materia/getPDF.asp?t=142379&tp=1>>. Acesso em: 24 ago. 2015

BRAUN-UNKHOFF, M.; RIEDEL, U. Alternative fuels in aviation. **CEAS Aeronautical Journal**, v. 6, n. 1, p. 83-93, 2015.

BRAZ, D., et al. **Produção de combustível de aviação em biorrefinarias anexas a fábricas kraft de celulose de eucalipto: avaliação técnico-econômica, de ciclo de vida e tomada de decisão por múltiplos critérios**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 2018.

BRITES, C. **Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reuso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília, 2008.

BUCHHOLZ, T.; LUZADIS, V. A.; VOLK, T. A. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. S86-S98, 2009.

BURRITT, R.; SCHALTEGGER, S. Measuring the (un-) sustainability of industrial biomass production and use. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 3, n. 2, p. 109-133, 2012.

CAIXETA, G. Estudo de cenário de produção de biodiesel. **Rio de Janeiro–RJ. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado**, 2009.

CANTARELLA, H. *et al.* Potential feedstock for renewable aviation fuel in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 52-63, 2015.

CARDOSO, A. C. **Caracterização básica de spray de mistura ternária diesel-etanol-óleo vegetal**. Universidade de Brasília, 2016.

CARDOSO, A. C. D.; MANESCHY, M. C.; MATLABA, V. J. Produção de óleo de palma no nordeste do Estado do Pará, Brasil: desafios e subsídios para o desenvolvimento sustentável. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 2014.

CARDOSO, A., *et al.* Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 573-580, 2017.

CARGNIN, A. C. *et al.* **Potencial da macaubeira como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel**. Embrapa Cerrados, 2008.

CARNEIRO, I. S. M. **Características agronômicas, adaptabilidade e estabilidade de linhagens de mamona no estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical. Instituto Agronômico, Campinas, SP, 2015.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. Aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu (*Attalea spp.*). ISPN, 2012, 68. Brasília, DF, 2012.

CARVALHO, I. R. *et al.* Demanda hídrica das culturas de interesse agronômico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia**, 2013.

CASTANHEIRA, É. G.; FREIRE, F. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. **Journal of Cleaner Production**, 54, 49–60, 2013.

CASTRO, J. **Aplicação do método de análise multicritério para selecionar políticas públicas de incentivo à redução da informalidade no Polo de confecções do agreste**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Economia. Universidade Federal do Pernambuco, 2013.

CAVALCANTE, A. N.; CHAVES, M. H.; ARAÚJO, C. M. Obtenção e caracterização de biodiesel do óleo degomado e in natura de *Orbignya speciosa*. **9º Simpósio Nacional de Biocombustíveis**. Teresina, 2016.

CERNE, 2017. Óleo de palma no Brasil e suas potencialidades para as indústrias. Disponível em: <<http://cerne.org.br/oleo-de-palma-no-brasil-e-suas-potencialidades-para-as-industrias/>>. Acesso em: 26 out. 2018.

CHANG, W.; HWANG, J.; WU, W. Environmental impact and sustainability study on biofuels for transportation applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 277-288, 2017.

CHIARAMONTI, D. *et al.* Sustainable bio kerosene: Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels. **Applied Energy**, v. 136, p. 767-774, 2014.

CHIAVENATO, I. **Administração de novos tempos**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. **Energy**, v. 42, n. 1, p. 510-521, 2012.

CIARLI, T.; COAD, A.; RAFOLS, I. Quantitative analysis of technology futures: A review of techniques, uses and characteristics. **Science and Public Policy**, v. 43, n. 5, p. 630-645, 2016.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. **Making hard decisions with DecisionTools**. Cengage Learning, 2013

COBULOGLU, H. I.; BÜYÜKTAHTAKIN, İ. E. A stochastic multi-criteria decision analysis for sustainable biomass crop selection. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 15, p. 6065-6074, 2015.

COITINHO, M. **Influência da incerteza no processo de decisão: priorização de projetos de melhoria**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

COLLARES, D. Embrapa busca viabilizar o cultivo da Macaúba em sistemas sustentáveis, 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://www.Embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6438362/Embrapa-busca-viabilizar-o-cultivo-da-macauba-em-sistemas-sustentaveis>>. Acesso em 22 nov. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Título 84 – Normas específicas de macaúba – extrativista – (*) safra 2016/2017. Comunicado CONAB/moc n.º 014, de 15/07/2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/moc/titulos/T84s2016-2017.pdf>> Acesso em 04 dez. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Preços Agropecuários. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/detalhe.php?a=1409&t=2>>. Acesso em 26 mai. de 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Proposta de Preços Mínimos – v.1 - (2015). - Brasília: Conab, 2015- v. Trimestral. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em 6 abr. de 2017.

CONNELLY, E. B. *et al.* Risk Analysis of Biofuels Industry for Aviation with Scenario- Based Expert Elicitation. **Systems Engineering**, v. 18, n. 2, p. 178-191, 2015.

CORREIA, Maria de Jesus Semedo. **Avaliação do potencial de *Jatropha curcas* L. para produção de biodiesel (Santiago-Cabo Verde)**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

CORTEZ, L. A. B *et al.* Perspectives for Sustainable Aviation Biofuels in Brazil. **International Journal of Aerospace Engineering**, v. 2015, 2015

COSTA, M. Avaliação das propriedades do óleo de mamona na produção de biocombustível. 2004.

COSTA, T. L. Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona. **PhD diss. Federal University of Campina Grande, Department of Agricultural Engineering**, 2006.

CREFBio. Centro de Referência da Cadeia de Biocombustíveis para Agricultura Familiar, 2017. Disponível em: <<http://biomercado.com.br/conteudo.php?id=8#>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

CREMONEZ, P. A. *et al.* Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415-428, 2015a.

CREMONEZ, P. A. *et al.* Biofuels in Brazilian aviation: Current scenario and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1063-1072, 2015b.

CRESTANA, S. Matérias-primas para produção do biodiesel: priorizando alternativas, 2005. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.Embrapa.br/Repositorio/matprima1_000gevvbauw02wx5ok0dnrsvx8drsue9.pdf>. Acesso em 01 jan. 2017.

CURVELO, F. M. **Uma imersão no tabuleiro da baiana: o estudo do óleo de palma bruto (*Elaeis guineensis*)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2010.

DA SILVA CÉSAR, A. *et al.* The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1213-1220, 2015.

DA SILVA, C.; DA COSTA, R. Práticas Tradicionais e Experiências Agroecológicas no Sudeste Paraense: Um Estudo a Partir das Mulheres Quebradeiras de Coco Babaçu. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

DE ALBUQUERQUE, U. P. Uso de recursos vegetais da caatinga: o caso do agreste do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil). **Interciencia**, v. 27, n. 7, p. 336-348, 2002.

DE ALENCAR PAGEÚ, A. *et al.* Organização produtiva do extrativismo da Macaúba (*Acrocomia intumescens* Drude) no distrito Arajara na Área de Proteção Ambiental Chapada do Araripe–Barbalha, Ceará. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

DE ARAÚJO, L. G.; SOUSA, K. C. I. Pinhão-manso para produção de biodiesel. **Revista Anhangüera**, v.9 n.1, p.95-119, 2008.

DE ARAÚJO, M., *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, v. 80, p. 57-67, 2019.

DE AZEREDO, G. A. *et al.* Conservação de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em função do beneficiamento, embalagem e ambiente de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 35, n. 1, p. 37-44, 2007.

DE CARVALHO LOPES, D. *et al.* Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. **Energy Economics**, v. 40, p. 819-824, 2013.

DE GORTER, H., JUST, D. The social costs and benefits of biofuels: the intersection of environmental, energy and agricultural policy. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 32, n. 1, p. 4–32.

DE JONG, S. *et al.* The feasibility of short- term production strategies for renewable jet fuels—a comprehensive techno- economic comparison. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 9, n. 6, p. 778-800, 2015.

DE JONG, S., *et al.* Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production. **Biotechnology for biofuels**, v. 10, n. 1, p. 64, 2017.

DE LIMA, J. A. *et al.* AMENDOIM FORRAGEIRO (*Arachis pintoii* Krapov. & Gregory). Lavras, 2003. Disponível em: <<http://www.editora.ufla.br/index.php/component/phocadownload/category/56-boletins-de-extensao?download=1081:boletinsextensao>>. Acesso em 16 mai. 2017.

DE OLIVEIRA, A. D. *et al.* Biodiesel do óleo de pinhão manso degomado por esterificação. Congresso brasileiro de mamona & Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. Inclusão Social e Energia: Anais. Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 36-40.

DE OLIVEIRA, F. N. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de girassol avaliadas por condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 42, n. 3, p. 10-1590/S1983-40632012000300007, 2012.

DE OLIVEIRA, T., *et al.* Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land use policy**, v. 63, p. 394-400, 2017.

DE REZENDE, D.; DE ANDRADE, M.; PASA, V.. Processo alternativo de desacidificação do óleo da polpa da macaúba (*acrocomia aculeata*) visando acoplamento em usinas de

produção de biodiesel. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 3, p. 061-080, 2016.

DEANE, J. P.; PYE, S. Europe's ambition for biofuels in aviation-A strategic review of challenges and opportunities. **Energy strategy reviews**, v. 20, p. 1-5, 2018.

DEL GATTO, A. *et al.* A comparative study of oilseed crops (*Brassica napus* L. subsp. *oleifera* and *Brassica carinata* A. Braun) in the biodiesel production chain and their adaptability to different Italian areas. **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 98-107, 2015.

DEMIRBAS, A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: a review. **Applied Energy**, v. 86, n. 1, p. 108–S117, 2009.

DE SOUZA, L. M.; MENDES, P. A.; ARANDA, D. A. Assessing the current scenario of the Brazilian biojet market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 98, n. C, p. 426-438, 2018.

DETTMER, T. *et al.* Technical applications of *Jatropha* oil —environmental effectiveness of renewable resources. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 10, p. 1376-1386, 2015.

DETTMER, T. *et al.* Technical applications of *Jatropha* oil —environmental effectiveness of renewable resources. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 10, p. 1376-1386, 2015.

DÍAZ, H. J. N. **Produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos a partir do óleo da polpa de macaúba com álcoois em condições supercríticas: estudo da cinética de reação e dos custos de manufatura em escala industrial**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

DINH, L. T. T; GUO, Y.; MANNAN, M. S. Sustainability evaluation of biodiesel production using multicriteria decision-making. **Environmental progress & sustainable energy**, v. 28, n. 1, p. 38-46, 2009. Disponível em: <www.culturasregionais.ufba.br/Apostila%20Culturas%20-%20algodão%2026p.1.doc>. Acesso em 23 nov. 2016.

DO AMARAL FILHO, J. **A economia política do babaçu: um estudo da organização da extrato-indústria do babaçu no Maranhão e suas tendências**. Serviço de Impr. e Obras Gráficas do Estado, 1989.

DO NASCIMENTO ANATER, M. *et al.* Redução de gases de efeito estufa pelos projetos de crédito de carbono no setor energético brasileiro. **HOLOS**, v. 1, p. 310-326, 2016.

DUNPHY. Key Facts Combustion, biofuel and zero net carbon. [S.I.], 2007. Disponível em: <http://www.dunphy.co.uk/docs/company/biofuels_booklet.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

DUTRA, A. S.; MEDEIROS FILHO, S. Teste de deterioração controlada na determinação do vigor em sementes de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 19-23, 2008.

DUTRA, A., *et al.* Agronomic performance and profitability of castor bean ('*Ricinus communis*' L.) and peanut ('*Arachis hypogaea*'L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 2, p. 120, 2015.

DUTRA, R. C. D *et al.* A evolução dos preços do diesel e do biodiesel no brasil: consequências econômicas da alteração da mistura obrigatória. In: **Rio Oil & Gas 2014-Expo and Conference, Rio de Janeiro, Brazil**. 2014.

EDESEYI, M., *et al.* Rethinking sustainable biofuel marketing to titivate commercial interests. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 781-792, 2015.

EL HOUR, S.; AOUANE, M.; CHAOUCH, A. The COP 22 in Marrakech \hat{A} \hat{A} \hat{A} Morocco and Climate Change: The Challenge of Environmental Protection. **Environmental Science: An Indian Journal**, v. 12, n. 10, 2016.

ELGOWAINY, A., *et al.* **Life-cycle analysis of alternative aviation fuels in GREET**. Argonne National Laboratory, 2012.

EMBRAPA, 2018a. BRLUC Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/forms/BRLUC.php>>. Acesso em 20 out. 2018.

EMBRAPA, 2018b. **RenovaBio irá vincular CBios a sustentabilidade no uso da terra**. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33448696/artigo---renovabio-ira-vincular-cbios-a-sustentabilidade-no-uso-da-terra>>. Acesso em 20 out. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/land-use-change>>. Acesso em 22 out. 2018.

FARGIONE, J., *et al.* Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1235-1238, 2008.

FARIA, A. S. **Detecção automática de desmatamentos no bioma cerrado: desafios para o monitoramento sistemático**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais (PRPG). Universidade Federal de Goiás, 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). Pernambuco cria plataforma de bioquerosene de aviação, 2015. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/FreeComponent21893content280843.shtml>>. Acesso em 18 jul. 2018.

FEROLDI, M. *et al.* Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **REMOA**. v. 13, n.5, dez. 2014, p.3800-3808

FERREIRA, A. F. A. Tomada de decisão: os aspectos do processo decisório e o uso da racionalidade na busca pelo sucesso nas decisões. **Encontro de Ensino, pesquisa e extensão da Faculdade Senac**, v. 2, 2010.

FERREIRA, J. Cobertura vegetal, teor de óleo e produtividade de linhagens interespecíficas de amendoim no sudoeste de Goiás. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2015. Disponível em: < <https://ppgeconomia.ufba.br/agricultura-moderna-brasileira-e-aprofundamento-da-dependencia-partir-dos-anos-1990-o-caso-do> >. Acesso em: 26 out. 2017

FERREIRA, W. J. *et al.* Biodiesel de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) em países emergentes: alternativa para o desenvolvimento regional. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 1, 2013.

FIORESE, G., *et al.* Advanced biofuels: Future perspectives from an expert elicitation survey. **Energy Policy**, v. 56, p. 293-311, 2013.

FIRAT, A.; WOON, W.; MADNICK, S. Technological forecasting—A review. Composite Information Systems Laboratory (CISL), Massachusetts Institute of Technology, 2008.

FONSECA, H.; GUTIERREZ, L. E. Composição em ácidos graxos de óleos vegetais e gorduras animais. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 31, p. 485-490, 1974.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Revista Nº 31 - 2014. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/416.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

FREIRE, R.; NARAIN, N.; SANTOS, R. Aspectos nutricionais de amendoim e seus derivados. In: Santos, R.C. (Ed.). O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande. Embrapa Algodão. 2005. pp.389–420.

FRITSCHÉ, U.; IRIARTE, L. Sustainability criteria and indicators for the bio-based economy in Europe: State of discussion and way forward. **Energies**, v. 7, n. 11, p. 6825-6836, 2014.

FUENTES, P. H. A. *et al.* Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento. 2011.

GALLO, L. A. LCB-208 Lipídios, 2017. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/luagallos/lipideos.html>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

GALVANI, F.; SANTOS, J. F. 085-Extração mecânica da polpa da bocaiúva voltada para a fabricação de alimentos em comunidades extrativistas de Miranda, MS. **Cadernos de Agroecologia**, v. 5, n. 1, 2011.

GARBIN, R.; HENKES, J. A SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 67-104, 2018.

GEGG, P.; BUDD, L.; ISON, S. The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints. **Journal of Air Transport Management**, v. 39, p. 34-40, 2014.

GENOVESE, A.; UDAETA, M. E. M.; GALVAO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

GERMAN, L.; SCHONEVELD, G.; PACHECO, P. The social and environmental impacts of biofuel feedstock cultivation: evidence from multi-site research in the forest frontier. **Ecology and Society**, v. 16, n. 3, 2011.

GIBBS, H. K., et al. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v. 347, p. 377–378, 2015.

GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP. 22ª Reunião Ordinária da Câmara Setorial do Açúcar e do Álcool. Brasília, 6 de dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Acucar_e_alcool/22RO/App_parceria_global_GBEP.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP. The Global Bioenergy Partnership (GBEP) sustainability indicators for bioenergy. Disponível em: <<http://www.globalbioenergy.org>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

GNANSOUNOU, E., et al. Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances. **Bioresource technology**, v. 100, n. 21, p. 4919-4930, 2009.

GODINHO, J. M.; MIRANDA, Luiz Miguel. Aplicação de Método de Análise Multicritério na Escolha de Traçado de Linhas de Ônibus de Transporte Público Utilizando Sistema de Informação Geográfica. **E&S Engineering and Science**, v. 1, n. 1, p. 89-102, 2014.

GOLLNOW, F., et al. Scenarios of land-use change in a deforestation corridor in the Brazilian Amazon: combining two scales of analysis. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 143-159, 2018.

GORT, M.; KLEPPER, Steven. Time paths in the diffusion of product innovations. **The economic journal**, v. 92, p. 630-653, 1982.

HAEGEMAN, K., *et al.* Quantitative and qualitative approaches in Future-oriented Technology Analysis (FTA): From combination to integration?. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 3, p. 386-397, 2013.

HALL, J. *et al.* Managing technological and social uncertainties of innovation: the evolution of Brazilian energy and agriculture. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 7, p. 1147-1157, 2011.

HALL, J. K.; MARTIN, M. Disruptive technologies, stakeholders and the innovation value-added chain: a framework for evaluating radical technology development. **R&D Management**, v. 35, n. 3, p. 273-284, 2005.

HALL, J.; BACHOR, J.; MATOS, S. Developing and diffusing new technologies: strategies for legitimization. **California management review**, v. 56, n.3, p. 98-117, 2014.

HALL, J.; MATOS, S.; MARTIN, M. Innovation pathways at the base of the pyramid: Establishing technological legitimacy through social attributes. **Technovation**, v. 34, n. 5, p. 284-294, 2014.

HALOG, A., MANIK, Y. Advancing integrated systems modelling framework for life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, v. 3, n. 12, p. 469–499, 2011.

HAN, J., et al. Life-cycle analysis of bio-based aviation fuels. **Bioresource technology**, v. 150, p. 447-456, 2013.

HANSEN, D.; SILVA, S. A cultura do algodoeiro. AGR 207 - Culturas Regionais. Disponível em: <<http://www.culturasregionais.ufba.br/Apostila%20Culturas%20-%20algod%C3%A3o%2026p.1.doc>>. Acesso em 22 fev. 2017

HARI, T. K.; YAAKOB, Z.; BINITHA, N. Aviation biofuel from renewable resources: routes, opportunities and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1234-1244, 2015.

HEMIGHAUS G, *et al.* Alternative jet fuels, a supplement to Chevron's aviation fuels technical review. **Chevron Corporation**, 2006.

HENDRICKS, R; BUSHNELL, D. Particulate Emissions Hazards Associated with Fueling Heat Engines. **International Journal of Rotating Machinery**, v. 2011, 2011.

HILEMAN, J. I.; STRATTON, R. W. Alternative jet fuel feasibility. **Transport Policy**, v. 34, p. 52-62, 2014.

HONÓRIO, T. *et al.* Qualidade fisiológica das sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) durante o armazenamento em três ambientes. 2012.

HUGUES, P.; ASSOUMOU, E; MAIZI, N. Assessing GHG mitigation and associated cost of French biofuel sector: Insights from a TIMES model. **Energy**, v. 113, p. 288-300, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2017. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201702.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201702.pdf)>. Acesso em 14 abr. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal Culturas temporárias e permanentes volume 40 2013 Brasil ISSN 0101-3963 Prod. agric. munic. Rio de Janeiro, v. 40, p.1-102, 2013

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI), 2018. Patentes. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Alternative Fuels: Questions and Answers, 2016. Disponível em: <<http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AltFuel-InUse.aspx>>. Acesso em 20 fev. 2017.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Initiatives and Projects, 2018. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Lists/Initiatives%20and%20Projects/projects.aspx>>. Acesso em 19 jul. 2018.

INTERNATIONAL SUSTAINABILITY AND CARBON CERTIFICATION. [S.I.], 2012. ISCC System. Disponível em: <International Sustainability & Carbon Certification: http://www.isccsystem.org/about_iscc/objectives/index_eng.html>. Acesso em: 22 ago. 2015.

ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert systems with applications**, v. 38, n. 11, p. 14336-14345, 2011.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. International Standard 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. First edition, 2006.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 14040: Life cycle assessment: principles and framework, environmental management. Geneva: International Organization for Standardization, 2006a.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 14044: Life cycle assessment: Requirements and guidelines, environmental management. Geneva: International Organization for Standardization, 2006b.

IZATT, R. Metal Sustainability: Global Challenges, Consequences, and Prospects. **John Wiley & Sons**, 2016.

JAEGER, W.; EGELKRAUT, T. Biofuel economics in a setting of multiple objectives and unintended consequences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 9, p. 4320-4333, 2011.

JAIN, S. *Jathropha curcas* oil: a future source of biodiesel. India Institute of Technology Roorkee. Roorkee, 2002. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/books/0013653965881163810f4>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Informática Pública**, v. 11, n. 1, p. 69 – 87, 2009.

JENSEN, E. *et al.* Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuel and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 329-364, 2012.

JUNIOR, E. *et al.* Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 261-267, 2013.

KAMALI, F., *et al.* Towards social sustainability: Screening potential social and governance issues for biojet fuel supply chains in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 50-61, 2018.

KARAHALIOS, H. The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 52, p. 172-184, 2017.

KHANG, Dinh Sy, *et al.* Multi-criteria approach to assess stakeholders' preferences for selection of biodiesel feedstock in Vietnam. **International Journal of Business and Systems Research**, v. 10, p. 306-331, 2016.

KNORR, M. Quarenta anos de expansão da soja no Brasil, 1975-2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 33, 2017.

KOIZUMI, T. Biofuels and food security. In: **Biofuels and Food Security**. Springer, Cham, p. 103-121, 2014.

KOUSOULIDOU, M.; LONZA, L. Biofuels in aviation: Fuel demand and CO₂ emissions evolution in Europe toward 2030. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 46, p. 166-181, 2016.

KRUEGER, T., *et al.* The role of expert opinion in environmental modelling. **Environmental Modelling & Software**, v. 36, p. 4-18, 2012.

KRUGER, J. S. *et al.* Bleaching and Hydroprocessing of Algal Biomass-Derived Lipids to Produce Renewable Diesel Fuel. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 10, p. 10946-10953, 2017.

KUMAR, R.; SINGAL, S. K. Penstock material selection in small hydropower plants using MADM methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 240-255, 2015.

LANGE, M. **A mudança de estoque de carbono por transformação da terra e seu uso no inventário de ciclo de vida de produtos de origem renovável: estudo de caso da possível expansão da palma de óleo na Amazônia Legal Brasileira**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LAVIOLA, B. G. Disponibilidade e Oportunidade de Diversificação de Matérias Primas Biodiesel. In: Seminário Nacional de Avaliação do Selo Combustível Social – MDA. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/oleaginosas-e-biodiesel/disponibilidade-de-materias-primas-e-oportunidades-de-diversificacao-Embrapa.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2016.

LAVIOLA, B. G. *et al.* Pinhão-manso na Embrapa Agroenergia. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2015.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B., *et al.* Parental selection in diallel crosses of *Jatropha curcas* using mixed models. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.

LAVIOLA, B.; CAPDEVILLE, G. Matérias-primas oleaginosas para a produção de bioquerosene – oportunidades e desafios, 2015. Disponível em: <<https://www.Embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3344909/artigo-materias-primas-oleaginosas-para-a-producao-de-bioquerosene--oportunidades-e-desafios>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

LI, X.; MUPONDWA, E. Life cycle assessment of camelina oil derived biodiesel and jet fuel in the Canadian Prairies. **Science of the Total Environment**, v. 481, p. 17-26, 2014.

LINS, M., *et al.* Performance assessment of alternative energy resources in Brazilian power sector using data envelopment analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n.1, p. 898-903, 2012.

LIU, G.; YAN, B.; CHEN, G. Technical review on jet fuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 59-70, 2013.

LJUNGBERG, L. Responsible products: selecting design and materials. **Design Management Review**, v. 16, n. 3, p. 64-73, 2005.

LØKEN, E. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, p. 1584-1595, 2007.

LOKESH, K., *et al.* Life cycle greenhouse gas analysis of biojet fuels with a technical investigation into their impact on jet engine performance. **Biomass and Bioenergy**, v. 77, p. 26-44, 2015.

LORENZI, G. M. A. *Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart.-Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável*. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

LÜDEKE-FREUND, F. *et al.* Sustainable plant oil production for aviation fuels: assessment challenge and consequences for new feedstock concepts. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 3, n. 2, p. 186-217, 2012.

MAJUMDAR, A.; SARKAR, B.; MAJUMDAR, P.K. Determination of quality value of cotton fibre using hybrid AHP-TOPSIS method of multi-criteria decision-making. **Journal of the Textile Institute**, v. 96, n. 5, p. 303-309, 2005.

MANNINEN, K., *et al.* The applicability of the renewable energy directive calculation to assess the sustainability of biogas production. **Energy policy**, v. 56, p. 549-557, 2013.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário Estatístico da Agroenergia 2014. Brasília, DF, 2014. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-publicacoes-agroenergia/anuário-estatístico-da-agroenergia-2014.pdf/view>> Acesso em: 10abr. 2017.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Registro Nacional de Cultivares – RNC. Brasília, DF, [2017]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

MARANHÃO, D. O. **O mercado de amêndoas de babaçu no estado**. 2015. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.

MARCH, J. G. **Primer on decision making: How decisions happen**. Simon and Schuster, 1994.

MARCHIORI JR, O. *et al.* Qualidade e produtividade de sementes de canola (*Brassica napus*) após aplicação de dessecantes em pré-colheita. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 253-261, 2002.

MARRS, G.; ZAMORA-CRISTALES, R.; SESSIONS, J. Forest biomass feedstock cost sensitivity to grinding parameters for bio-jet fuel production. **Renewable Energy**, v. 99, p. 1082-1091, 2016.

MARTIM, E; FONSECA, F. C. POLICARPO, C. XVI Seminário de iniciação científica e X mostra de pesquisa. Curitiba, 2009.

MARTINS, F. *et al.* **Monitoramento do crescimento da macaúba utilizando imagens aéreas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 2014.

MARTINS, M. Custo de produção e preço de venda do óleo de pinhão manso. Pinhão-manso News, 2012. Disponível em: <<http://biogur.blogspot.com.br/2012/04/custo-de-producao-e-preco-de-venda-do.html>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

MATSUURA, M., et al., 2018. RenovaCalcMD: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/Consultas_publicas/2018/n10/CP10-2018_Nota-Tecnica-Renova-Calc.pdf>. Acesso em 22 out. 2018.

MCCARTHY, G. Renewable Fuel Standard Program: Standards for 2017 and Biomass-Based Diesel Volume for 2018. **Federal Register**, 2016.

MELANDER, L.; TELL, F. Uncertainty in collaborative NPD: Effects on the selection of technology and supplier. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 31, p. 103-119, 2014.

MELGAREJO. A. *et al.* Características agronômicas e teor de óleo da canola em função da época de semeadura. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 2014, vol.18, n.9, pp.934-938. ISSN 1415-4366. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p934-938>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

MELO FILHO, P. A.; DOS SANTOS, R. C. A cultura do amendoim no Nordeste: situação atual e perspectivas. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 7, p. 192-208, 2013.

MELO, M. A. M. F. *et al.* Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais Visando a Produção de Biodiesel. 2014.

MENDES, P. A. S. **Priorização dos fatores determinantes da sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel**. Rio de Janeiro, 2012. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012, 238 p.

MENESES, J. M. L. **Análise e estimativa da produtividade da cultura da mamona para produção de biodiesel em função do período chuvoso no estado do Ceará**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

MESQUITA, B. A. As relações de produção e o extrativismo do babaçu nos Estados do Maranhão, Piauí, Pará e Tocantins. **Economia do babaçu: levantamento preliminar de dados**. São Luís: MIQCB, 2001.

MICHAÏLOS S, PARKER D, WEBB C. A multicriteria comparison of utilizing sugar cane bagasse for methanol to gasoline and butanol production, **Biomass and Bioenergy**, 95 (2016) 436-448.

MINAS GERAIS. Plataforma Mineira de Bioquerosene, 2014. Disponível em: <<http://www.sede.mg.gov.br/pt/transparencia/page/1877-plataforma-mineira-de-bioquerosene>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2018. Portal Periódico da CAPES. Disponível em: <<https://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Instrumentos do Renovabio. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/instrumentos>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Política Nacional de Biocombustíveis Lei nº 13.576/17. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/oleaginosas-e-biodiesel/2018/33a-ro/apresentacao-renovabio-camara-setorial-biodiesel.pdf>>. Acesso em :19 jul. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caracterização das oleaginosas para produção de biodiesel. 2006. STCP Engenharia de Projetos Ltda. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_5.pdf>. Acesso em 04 dez. 2016

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caracterização das oleaginosas para produção de biodiesel. 2006. STCP Engenharia de Projetos Ltda. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_5.pdf>. Acesso em 04 dez. 2016

MOHDALY, A. *et al.* Effect of Refining Process on the Quality Characteristics of Soybean and Cotton seed Oils. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 6, n. 1, p. 207-222, 2017.

MÖHLER, B. C. **Avaliação das características de secagem dos grãos de soja**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

MONTEIRO, J. M. G. **Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. 2007. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

MORAES, M. A. *et al.* Jet biofuels in Brazil: Sustainability challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 716-726, 2014.

MORAIS, R. P. *et al.* Aspectos fisiográficos da paisagem em São João Da Baliza–RR e sua favorabilidade na plantação da palma de óleo para a produção de biodiesel. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 6, p. 42-50, 2016.

MOREIRA, J.; DE SOUSA, T. Macaúba: oportunidades e desafios. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 2009.

MOREIRA, M.; GURGEL, A.; SEABRA, J. Life cycle greenhouse gas emissions of sugar cane renewable jet fuel. **Environmental science & technology**, v. 48, n. 24, p. 14756-14763, 2014.

MORTON, D. C., et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 103.39: 14637-14641, 2006.

MOTA, D. **Refinação de óleos vegetais e fracionamento contínuo de óleo de Palma**. 2016. Tese de Doutorado.

MUNASINGHE, M. **Environmental economics and sustainable development**. World Bank Publications, 1993.

MUSSOI, F. L. R. **Modelo de decisão integrado para a priorização multiestágio de projetos de distribuição considerando a qualidade da energia elétrica**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

NAIR, S.; PAULOSE, H. Emergence of green business models: the case of algae biofuel for aviation. **Energy Policy**, v. 65, p. 175-184, 2014.

NASCIMENTO, U. M., *et al.* Otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de coco babaçu com aquecimento por microondas. **Eclet. Quím.**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 37-48, Dec. 2009.

NASS, L.; PEREIRA, P.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop science**, v. 47, n. 6, p. 2228-2237, 2007.

NETO M. Babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.). Matérias-Primas Para Biocombustíveis. 2008. Disponível em: <<http://materiaprimas.blogspot.com.br/2008/07/babau-orbignya-phalerata-mart.html>>. Acesso em 24 abr. 2017.

NETO, A. J. S. *et al.* Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for non-destructive estimation of water and chlorophyll status in sunflower leaves. **Biosystems Engineering**, v. 155, p. 124-133, 2017.

NEULING, U.; KALTSCHMITT, M. Conversion routes for production of biokerosene — status and assessment. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 5, n. 4, p. 367-385, 2015.

NOBRE, D. A. C. *et al.* Macaúba: palmeira de extração sustentável para biocombustível. In: **Colloquium Agrariae**. 2014.

NOH, H.; BENITO, A.; ALONSO, G. Study of the current incentive rules and mechanisms to promote biofuel use in the EU and their possible application to the civil aviation sector. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 46, p. 298-316, 2016.

NOVAES, R., *et al.* Estimating 20- year land- use change and derived CO 2 emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global change biology**, v. 23, n. 9, p. 3716-3728, 2017.

NWOKOAGBARA, E.; OLALEYE, A.; WANG, M. Biodiesel from microalgae: The use of multi-criteria decision analysis for strain selection. **Fuel**, v. 159, p. 241-249, 2015.

ODOH, C. K. *et al.* Assessment of mold contamination and physicochemical properties of crude palm oil sold in Jos, Nigeria. **Food Science & Nutrition**, v. 5, n. 2, p. 310-316, 2017.

OLIVEIRA, W. *et al.* **Utilizando integrais fuzzy em tomada de decisão multicritério**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

PÁDUA, M. S. **Germinação in vitro, indução e caracterização de massas pró-embriogênicas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. 2012. 120f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal), Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG.

PAES-DE-SOUZA, M. *et al.* Potencial para o Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Babaçu no Médio e Baixo Rio Madeira–Porto Velho/Ro. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 3, n. 2, p. 75-87, 2011.

PALANOV, N. Life-cycle assessment of Photovoltaic systems - Analysis of environmental impact from the production of PV system including solar panels produced by Gaia Solar. Sweden: Lund University, 2014.

PARENTE, E. Brazil: A Major Player in Alternate Fuels. **Business & Commercial Aviation**. Sep 2007, Vol. 101 Issue 3, p86-86. 1p. 2 Color Photographs.

PAULINO, J., *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011, 15.1: 37-46.

PENHA, M. N. C, *et al.* Extração e caracterização físico-química do óleo de pinhão manso (*Jatropha Curcas*). **60ª Reunião Anual da SBPC. [S.I]**, 2013.

PEREIRA, G. S. **A dimensão socioambiental do cultivo de dendê para a produção de biodiesel na Amazônia**. Tese de Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, L. G., *et al.* Economic and environmental assessment of n-butanol production in an integrated first and second generation sugarcane biorefinery: Fermentative versus catalytic routes. **Applied Energy**, v.160, p.120-131, 2015.

PEREIRA, L.; MACLEAN, H.; SAVILLE, B. Financial analyses of potential biojet fuel production technologies. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 4, p. 665-681, 2017.

PETCU, A. C. *et al.* Experiments regarding the combustion of camelina oil/kerosene mixtures on a burner. **Energy for Sustainable Development**, v. 33, p. 149-154, 2016.

PETROBRAS, 2016. Parque experimental de plantas-piloto do Cenpes desenvolve pesquisas estratégicas. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/parque-experimental-de-plantas-piloto-do-cenpes-desenvolve-pesquisas-estrategicas.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

PETROU, E. C.; PAPPIS, C. P. Biofuels: a survey on pros and cons. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 2, p. 1055-1066, 2009.

PHILLIPS, J. G.; HEIDRICK, T. R.; POTTER, I. Technology futures analysis methodologies for sustainable energy technologies. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v. 4, n. 2, p. 171-190, 2007.

PIGHINELLI, A. L. M. T. *et al.* **Extração mecânica de óleos de amendoim e de girassol para a produção de biodiesel via catálise básica**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas, 2007.

PINOTTI, R. N; DO AMARAL, J. G. C. Informações econômicas da mamona como biocombustível. *Pesquisa & Tecnologia*, vol. 10, n. 1, 2013. Disponível em

<<http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2013/janeiro-junho-1/1349-informacoes-economicas-da-mamona-como-biocombustivel/file.html>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

POMPELLI, M. *et al.* Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2011.

POPP, J. *et al.* The effect of bioenergy expansion: food, energy, and environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 559-578, 2014.

PORTAL AGROPECUÁRIO AGROLINK. Cotações. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/cotacoes/>>. Acesso em 26 mai. de 20.

PORTAL MACAÚBA. Cerratinga. Espécie de vários biomas. [S.I.], [entre 2010 e 2016]. Disponível em: <<http://www.cerratinga.org.br/macauaba/>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

PRZYBYLSKI, R.; MAG, T.; ESKIN, N.A.M.; MCDONALD, B.E. Canola Oil. In: Shahidi, Fereidoon *et al.* **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 6. ed. Wiley: Hoboken, 2005. V. 2.Cap. 2, p. 61-122.

RAFIAANI, P., *et al.* Social sustainability assessments in the biobased economy: Towards a systemic approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1839-1853, 2018.

Ramírez, P. K. S. Análise de métodos de alocação utilizados em avaliação do ciclo de vida. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

RAMOS, L. P., *et al.* Tecnologias de Produção de Biodiesel Rev. Virtual Quim., 2011, 3 (5), 385-405. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/52/Tecnologiasdeproducaodebiodiesel.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

RANUCCI, C., *et al.* Potential alternative aviation fuel from jatropha (*Jatropha curcas L.*), babassu (*Orbignya phalerata*) and palm kernel (*Elaeis guineensis*) as blends with Jet-A1 kerosene. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 860-869, 2018.

REDA, S. Y. *et al.* Avaliação Termo analítica do Isobutirato Acetato de Sacarose como Antioxidante em Biodiesel. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 157-164, 2010.

REIJNDERS, L.; HUIJBREGTS, M. A. J. Biogenic greenhouse gas emissions linked to the life cycles of biodiesel derived from European rapeseed and Brazilian soybeans. **Journal of Cleaner Production**, 16.18: 1943-1948, 2008.

REITZIG, M.; PURANAM, P. Value appropriation as an organizational capability: The case of IP protection through patents. **Strategic Management Journal**, v. 30, n. 7, p. 765-789, 2009.

RESTREPO-GARCÉS, A.; MANOTAS-DUQUE, D.; LOZANO, C. Multicriteria Hybrid Method-ROA, for the choice of generation of renewable sources: case study in shopping centers. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 25, n. 3, 2017.

RICO, J. A. P.; SAUER, I. L. A review of Brazilian biodiesel experiences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 513-529, 2015.

RIOS, H. C. S.; PEREIRA, I. R. O.; DE ABREU, E. S. Avaliação da oxidação de óleos, gorduras e azeites comestíveis em processo de fritura. **Ciência & Saúde**, v. 6, n. 2, p. 118-126, 2013.

ROBERTS, K. The world's first transatlantic commercial passenger flight using biojet fuel derived from *Jatropha Curcus* oil seed feedstock was completed in early August 2011.(Biofuel briefs). **Chemistry & Industry**. Issue 16, p10-10. 1/3p.

RODRIGUES, F. R. *et al.* Avaliação das características físico-químicas de óleo de mamona bruto obtido por prensa pistão-cilindro com acionamento hidráulico. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). 2016.

ROLDAN, F.; MIYAKE, D. Mudanças de forecast na indústria automobilística: iniciativas para a estruturação dos processos de tomada de decisão e processamento da informação. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 3, p. 413-427, 2004.

ROSA, M. F. *et al.* Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais–II SIGERA. Foz do Iguaçu, PR**, v. 1, 2011.

ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOFUELS. 2010. Versão: 2.0. Disponível em: <<http://www.scsglobalservices.com/files/standards/10-11-12%20RSB-STD-01-001-PCs%20Version%202.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2015.

RYE, L.; BLAKEY, S.; WILSON, C. Sustainability of supply or the planet: a review of potential drop-in alternative aviation fuels. **Energy & Environmental Science**, v. 3, n. 1, p. 17-27, 2010.

RYE, L.; BLAKEY, S.; WILSON, C. Sustainability of supply or the planet: a review of potential drop-in alternative aviation fuels. **Energy & Environmental Science**, v. 3, n. 1, p. 17-27, 2010.

SAATY, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. New York: **McGraw-Hill**, 1980.

SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. São Paulo: **McGraw-Hill Pub. Co.**, 1991. 367 p.

SAATY, T.; VARGAS, L. The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. **Social Choice and Welfare**, v. 38, n. 3, p. 481-496, 2012.

SAMBANTHAMURTHI, R.; SUNDRAM, K.; TAN, Y. A. Chemistry and biochemistry of palm oil. **Progress in Lipid Research**, v.39, n.6, p.507-558. 2000.

SANTOS, C., *et al.* Integrated 1st and 2nd generation sugarcane bio-refinery for jet fuel production in Brazil: Techno-economic and greenhouse gas emissions assessment. **Renewable Energy**, v. 129, p. 733-747, 2018.

SANTOS, M. J., *et al.* Scenarios for the future Brazilian power sector based on a multi-criteria assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 938-950, 2017.

SANTOS, R. **Estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de petróleo sintético offshore a partir de rejeito rico em CO₂** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo, 2013).

SAVY FILHO, A. Mamoneira: técnicas de cultivo. **O Agrônomo, Campinas**, v. 53, n. 1, p. 16-17, 2001.

SCAPOLO, F.; PORTER, A. L. New methodological developments in FTA. In: **Future-oriented technology analysis**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 149-162, 2008.

SEARCHINGER, T., *et al.* Fixing a critical climate accounting error. **Science**, v. 326, n. 5952, p. 527-528, 2009.

SHAARANI, S. *et al.* Monitoring development and ripeness of oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by MRI and bulk NMR. **International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan)**, 2010.

SHARIF, M. Technological innovation governance for winning the future. **Technological forecasting and social change**, v. 79, n.3, p. 595-604, 2012.

SHONNARD, D., *et al.* A review of environmental life cycle assessments of liquid transportation biofuels in the Pan American region. **Environmental management**, v. 56, n. 6, p. 1356-1376, 2015.

SIEVERDING, H., *et al.* Life-cycle assessment of oilseeds for biojet production using localized cold-press extraction. **Journal of environmental quality**, v. 45, n. 3, p. 967-976, 2016.

SILVA, A. **Análise comparativa de estudos de avaliação do ciclo de vida da madeira**. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2014.

SILVA, D. M. R. Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais. Rio de Janeiro, v. 128, 2007.

SILVA, I. **Uso de processos combinados para aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de Macaúba.** 2009.

SILVA, J. C. MACAÚBA Fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Viçosa - Minas Gerais, 2007.**

SILVA, L.; CARDOSO, C.; PASA, V. Synthesis and characterization of esters from different alcohols using Macauba almond oil to substitute diesel oil and jet fuel. **Fuel**, v. 166, p. 453-460, 2016.

SILVA, L.; RAO, T. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 01, p. 128-131, 2006.

SILVA, M. **Biodiesel e produção familiar de dendê no município de Velença-Bahia.** Universidade Federal da Bahia, 2006.

SILVEIRA, V.; GONZÁLEZ, J.; FONSECA, E. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, 47.4, 2017.

SILVESTRE, B. A hard nut to crack! Implementing supply chain sustainability in an emerging economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 171-181, 2015.

SIMÃO, A. H.; MANTOVANI, E.; SIMÃO, F. Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira, p. 233-302, 2004.

SIMS, R., *et al.* Integration of renewable energy into present and future energy systems. **IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation**, 2011.

SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 496-511, 2017.

SIRADZE, M, *et al.* Improvement of the Process of Cottonseed Oil Refining. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 7, n. 2, 29-31, 2017.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

SMITH, P. M., *et al.* Drivers and barriers to the adoption and diffusion of Sustainable Jet Fuel (SJF) in the US Pacific Northwest. **Journal of Air Transport Management**, v. 58, p. 113-124, 2017.

SOUSA, L. A. **Hidrotratamento de Óleo de Girassol e Ácidos Graxos Empregando Carbeto de Molibdênio Suportado em Alumina**. 2013. Tese de Doutorado. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SOUZA, L.; TONETTI, O.; DAVIDE, A. Determinação do teor de água em sementes de mamona (*Ricinus communis L.*) pelos métodos de estufa e forno microondas. **II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**, 2005

SPINELLI, V. *et al.* Estimates of genetic parameters with selection with in and between half-sibfamilies of *Jatropha curcas L.* **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 355-361, 2015.

SPINELLI, V. M; DIAS, L. A. D; ROCHA, R. B; RESENDE, M. D. V. Yield performance of half-sibfamilies of physic nut (*Jatropha curcas L.*). **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, 2014 Mar, Vol.14 (1), pp.49-53

SPINELLI, V. M; DIAS, L. A. D; ROCHA, R. B; RESENDE, M. D. V. Yield performance of half-sibfamilies of physic nut (*Jatropha curcas L.*). **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, 2014 Mar, Vol.14 (1), pp.49-53

STACHIW, R. *et al.* Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. **Acta Amaz.**, Manaus , v. 46, n. 1, p. 81-90, Mar. 2016 .

STATTMAN, S.; HOSPES, O.; MOL, A. Governing biofuels in Brazil: A comparison of ethanol and biodiesel policies. **Energy Policy**, v. 61, p. 22-30, 2013.

STEINER, J., *et al.* A feedstock readiness level tool to complement the aviation industry fuel readiness level tool. **BioEnergy Research**, v. 5, n. 2, p. 492-503, 2012.

STRATTON, R. W.; WONG, H. M.; HILEMAN, J. I. **Life cycle greenhouse gas emissions from alternative jet fuels (Version 1.2)**. Report No. PARTNER-COE-2010-001. A PARTNER Project 28 report, 2010.

STRATTON, R.; WONG, H.; HILEMAN, J. Quantifying variability in life cycle greenhouse gas inventories of alternative middle distillate transportation fuels. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 10, p. 4637-4644, 2011.

TEC TECNOLOGIA EM CALOR. Tabela de calor específico inferior. Disponível em: <<http://www.teccalor.com.br/PDF/TabelaPoderCalorifico.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2017.

TEECE, D. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research policy**, v. 15, n. 6, p. 285-305, 1986.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no Brasil. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2002, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100032&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 03 jan. 2017

TELKAMP, R. How biofuels could take off. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 3, n. 2, p. 235-243, 2012.

TELLO-GAMARRA, J. *et al.* AS NOVAS TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO. **XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Gestão da Tecnologia**. Outubro, 2015. Disponível em: <<http://www.altec2015.org/anais/altec/papers/1006.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

TOLÊDO, D. *et al.* Análise técnica, econômica e ambiental de macaúba e de pinhão-manso como alternativas de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel. 2010.

TOMM, G. O., *et al.* **Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 27 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 118). Disponível em: <http://www.cnpt.Embrapa.br/biblio/do/p_do118.htm>. Acesso em: 03 jan. 2017.

TRIVEDI, P., *et al.* Energy return on investment for alternative jet fuels. **Applied Energy**, v. 141, p. 167-174, 2015.

UBRABIO. Ubrabio lança a Plataforma Brasileira do Bioquerosene na Rio+20. Disponível em: <http://www.ubrablo.com.br/1891/noticias/ubrabiolancaaplataformabrasileiradobioquerosenenario20_166714/>. Acesso em: 12 set. 2015.

UKAEW, S. *et al.* Estimation of soil carbon change from rotation cropping of rapeseed with wheat in the hydrotreated renewable jet life cycle. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 5, p. 608-622, 2015.

UKAEW, S., *et al.* Application of the roundtable on sustainable biofuels method to regional differences in nitrous oxide emissions for the rapeseed hydrotreated renewable jet life cycle. **Journal of cleaner production**, v. 83, p. 220-227, 2014.

UKAEW, S., *et al.* Full chain life cycle assessment of greenhouse gases and energy demand for canola-derived jet fuel in North Dakota, United States. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 4, n. 5, p. 2771-2779, 2016.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE (USPTO), 2018. Patentes. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

VAN EIJCK, J., *et al.* Global experience with jatropha cultivation for bioenergy: an assessment of socio-economic and environmental aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 869-889, 2014.

VECCHIATO, R. Environmental uncertainty, foresight and strategic decision-making: An integrated study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 3, p. 436-447, 2012.

VELÁZQUEZ, R. *et al.* Novos combustíveis para a aviação: um estudo de caso. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 12, n. 1, p. 77-93, 2012. Disponível em: <<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/issue/view/337>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R. Ácidos graxos naturais: importancia e ocorrencia em alimentos. **Química Nova**, v. 19, p. 4, 1996.

VIEIRA, A. C. *et al.* Winterização do óleo de soja associado à degomagem para produção de biodiesel. Congresso brasileiro de mamona, **4 & Simpósio Internacional De Oleaginosas Energéticas**, p. 1978. João Pessoa, 2010. Disponível em: <<http://docslide.net/documents/anais-completo.html>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

VILAS BOAS, C. L. de. **Método Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as Decisões Relacionadas ao Uso Múltiplo de Reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP)**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. Anais. João Pessoa: ABRH, 2005.

VIRGÍLIO, A. Agricultura moderna brasileira e aprofundamento da dependência a partir dos anos 1990: o caso do agronegócio da soja. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/25817>>. Acesso em 15 jul. 2017.

WANG, W.; TAO, L. Bio-jet fuel conversion technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 801-822, 2016.

WARDLE D. Global sale of green air travel supported using biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 7, p. 64–71, 2003.

WEHRMANN, M. E. S. F.; VIANNA, JN de S.; DUARTE, Laura MG. Biodiesel de soja: política energética, contribuição das oleaginosas e sustentabilidade. **III Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, Brasília**, p. 23-26, 2006.

WICKE, B., *et al.* Indirect land use change: review of existing models and strategies for mitigation. **Biofuels**, v. 3, n. 1, p. 87-100, 2012.

WONG, H. **Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from alternative jet fuels**. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology, 2008.

WU, S.; WEE, H.; LEE, S. Technical innovation vs. sustainability—A case study from the Taiwanese automobile industry. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 48, p. 20-30, 2016.

XUE, Shuai, *et al.* Biodiesel potential of nonfood plant resources from Tsinling and Zhongtiao mountains of China. **BioEnergy Research**, v. 6, n. 3, p. 1104-1117, 2013.

YAN, S. *et al.* Oil transesterification over calcium oxides modified with lanthanum. **Applied Catalysis A: General**, v. 360, n. 2, p. 163-170, 2009.

ZEMANEK, D. **Greenhouse gas life cycle assessment of canola-derived HEFA biojet fuel in Western Canada**. Tese de Doutorado, Queen's Graduate, 2018.

ZHAO, J. Development of China's biofuel industry and policy making in comparison with international practices. **Science Bulletin**, v. 60, n. 11, p. 1049-1054, 2015.

ZHAO, X.; WEI, L.; JULSON, J. First stage of bio-jet fuel production: non-food sunflower oil extraction using cold press method. **AIMS Energy**, v. 2, n. 2, p. 193-209, 2014.

ZIOLKOWSKA, Jadwiga R. Evaluating sustainability of biofuels feedstocks: A multi-objective framework for supporting decision making. **Biomass and Bioenergy**, v. 59, p. 425-440, 2013.

ANEXO I – Questionário do método AHP

QUESTIONÁRIO PARA PONDERAR OS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS DETERMINANTES PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIOQAV PELO PROCESSO HEFA

Convido-o (a), a participar, como voluntário (a), de uma pesquisa para o estabelecimento de pesos aos critérios e subcritérios determinantes para seleção de oleaginosas para produção de bioquerosene de aviação a partir do processo HEFA. Esta pesquisa faz parte de um projeto de doutorado onde serão mapeadas as oleaginosas mais promissoras, por região do país, à produção deste biocombustível.

INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO DE DOUTORADO

Título:

O mercado brasileiro de bioquerosene de aviação: mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA.

Objetivo geral:

Determinar, por meio da análise multicritério, as oleaginosas mais promissoras para produção de bioquerosene de aviação a partir do processo HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) nas diferentes regiões do Brasil.

Doutoranda:

Lorena Mendes de Souza
(61) 3426-5190 e (21) 99421-7363.
lmsouza@anp.gov.br

Orientadores:

Dr. Donato Alexandre Gomes Aranda
(21) 2562-7657
donato@eq.ufrj.br

Dr. Pietro Adamo Sampaio Mendes
(21) 2112-8661
pmendes@anp.gov.br

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA ENVOLVIDA NESTE QUESTIONÁRIO:

A pesquisa envolve a aplicação deste questionário a especialistas que conhecem, trabalham ou tenham trabalhado com o bioquerosene de aviação.

O objetivo é estabelecer pesos aos critérios e subcritérios (Tabela 1) determinantes para a seleção de oleaginosas a serem utilizadas no processo HEFA.

Os pesos serão estabelecidos a partir da avaliação das respostas dos especialistas pelo método multicritério AHP (Método multicritério de Análise Hierárquica). O método permite determinar, a partir da experiência de especialistas em um determinado assunto, a importância relativa dos critérios avaliados.

Tabela 1 – Critérios e subcritérios a serem avaliados no questionário

Critérios	Subcritérios
Econômico	Custo do óleo
	Custo da oleaginosa
Ambiental	Uso da terra - produtividade da oleaginosa
	Uso da terra – rendimento em óleo
	Exigências hídricas
Social	Dependência do extrativismo
	Dependência alimentar
Escala de Produção	Produção agrícola anual
	Área plantada
	Teor de óleo
	Período de colheita (sazonalidade)
	Cultivares registrados
Qualidade do óleo e oleaginosa	Poder Calorífico Inferior do óleo
	Acidez do óleo
	Umidade do óleo
	Teor de ácidos graxos saturados no óleo
	Umidade da oleaginosa

GARANTIA DE SIGILO

A pesquisadora garante que o nome e instituição dos especialistas que responderem este questionário não serão apresentados no projeto de doutorado, garantindo sigilo destas informações. A resposta do questionário será utilizada apenas para aplicação do método AHP.

Após aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra, da pesquisadora responsável. Em caso de recusa em responder este questionário ou retirada do consentimento, não haverá nenhuma penalização.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO

Eu, _____, abaixo assinado, concordo em participar da pesquisa para o estabelecimento de pesos aos critérios e subcritérios determinantes para seleção de oleaginosas para o processo HEFA.

Como sujeito, fui devidamente informado e esclarecido pela pesquisadora Lorena Mendes de Souza sobre a pesquisa e os procedimentos nela envolvidos. Foi-me garantido o sigilo das informações e que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

_____, ____ de _____ de _____

Assinatura: _____

EXEMPLO DE PREENCHIMENTO DO FORMULÁRIO DE COMPARAÇÕES PAREADAS

Exemplo 1: Ao avaliar 3 critérios:

- Comparando A e B, acredito que A possui importância muito grande em relação ao critério B;
- Comparando A e C, acredito que o critério A possui importância grande em relação ao critério C;
- Comparando B e C, acredito que o critério C possui pequena importância em relação ao critério B;

Devo marcar da seguinte forma:

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta
Critério A		x							Critério B
Critério A			x						Critério C
Critério B						x			Critério C

Exemplo 2: Ao avaliar 3 critérios:

- Comparando A e B, acredito que B possui importância muito grande em relação ao critério A;

- Comparando A e C, acredito que o critério A possui mesma importância em relação ao critério C;
- Comparando B e C, acredito que o critério B possui importância muito grande em relação ao critério C;

Devo marcar da seguinte forma:

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Critério A								x		Critério B
Critério A					x					Critério C
Critério B		x								Critério C

Formulário a ser preenchido

Bloco 1: Identificação

Nome	
Área	<input type="checkbox"/> Governo <input type="checkbox"/> ONG <input type="checkbox"/> Empresa <input type="checkbox"/> Instituição de Pesquisa
Tempo de experiência com BioQAV	

Bloco 2: Qual critério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Econômico										Ambiental
Econômico										Social
Econômico										Escala de Produção
Econômico										Qualidade do óleo e oleaginosa
Ambiental										Social
Ambiental										Escala de Produção

Ambiental										Qualidade do óleo e oleaginosa
Social										Escala de Produção
Social										Qualidade do óleo e oleaginosa
Escala de Produção										Qualidade do óleo e oleaginosa

Bloco 3: Em relação ao critério econômico, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Custo do óleo										Custo da oleaginosa

Bloco 4: Em relação ao critério “Ambiental”, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Uso da terra – produtividade da oleaginosa										Uso da terra – rendimento em óleo
Uso da terra – produtividade da oleaginosa										Exigências hídricas
Uso da terra – rendimento em óleo										Exigências hídricas

Bloco 5: Em relação ao critério “Social”, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Dependência do extrativismo										Dependência alimentar
Bloco 6: Em relação ao critério “Escala de Produção”, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA										
	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Produção agrícola anual										Área plantada
Produção agrícola anual										Teor de óleo
Produção agrícola anual										Período de colheita (sazonalidade)
Produção agrícola anual										Cultivares registrados
Área plantada										Teor de óleo
Área plantada										Período de colheita (sazonalidade)
Área plantada										Cultivares registrados
Teor de óleo										Período de colheita (sazonalidade)
Teor de óleo										Cultivares registrados
Período de colheita (sazonalidade)										Cultivares registrados
Bloco 7: Em relação ao critério “Qualidade do óleo e oleaginosa”, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA										
	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Poder Calorífico Inferior do óleo										Acidez do óleo

Poder Calorífico Inferior do óleo										Umidade do óleo
Poder Calorífico Inferior do óleo										Teor de ácidos graxos saturados no óleo
Poder Calorífico Inferior do óleo										Umidade da oleaginosa
Acidez do óleo										Umidade do óleo
Acidez do óleo										Teor de ácidos graxos saturados no óleo
Acidez do óleo										Umidade da oleaginosa
Umidade do óleo										Teor de ácidos graxos saturados no óleo
Umidade do óleo										Umidade da oleaginosa
Teor de ácidos graxos saturados no óleo										Umidade da oleaginosa

ANEXO II – Adendo ao formulário AHP

QUESTIONÁRIO PARA PONDERAR OS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS DETERMINANTES PARA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIOQAV PELO PROCESSO HEFA

Agradeço por terem respondido o questionário para ponderação de critérios para seleção de oleaginosas para produção de bioquerosene de aviação a partir do processo HEFA.

Considerando a importância de se avaliar a redução das emissões de carbono dentro do critério ambiental, convido-o a responder o quadro de comparação pareada do critério ambiental, considerando tal parâmetro.

INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO DE DOUTORADO

Título:

O mercado de bioquerosene de aviação no Brasil: mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA.

Objetivo geral:

Determinar, por meio da análise multicritério, as oleaginosas mais promissoras para produção de bioquerosene de aviação a partir do processo HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) nas diferentes regiões do Brasil.

Doutoranda:

Lorena Mendes de Souza
(61) 3426-5190 e (21) 99421-7363.
lmsouza@anp.gov.br

Orientadores:

Dr. Donato Alexandre Gomes Aranda
(21) 2562-7657
donato@eq.ufrrj.br

Dr. Pietro Adamo Sampaio Mendes
(21) 2112-8661
pmendes@anp.gov.br

Formulário a ser preenchido

Bloco 1: Identificação

Nome	
Instituição	

Bloco 2: Em relação ao critério “Ambiental”, qual subcritério tem maior importância para seleção de oleaginosas para o processo HEFA

	Importância absoluta	Importância muito grande	Importância grande	Importância pequena	Mesma Importância	Importância pequena	Importância grande	Importância muito grande	Importância absoluta	
Uso da terra – produtividade da oleaginosa										Uso da terra – rendimento em óleo
Uso da terra – produtividade da oleaginosa										Exigências hídricas
Uso da terra – produtividade da oleaginosa										Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) com base em LCA
Uso da terra – rendimento em óleo										Exigências hídricas
Uso da terra – rendimento em óleo										Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) com base em LCA
Exigências hídricas										Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) com base em LCA

ANEXO III - Aplicação do método AHP

Exemplo de aplicação a partir das respostas obtidas no formulário de um especialista em bioquerosene de aviação

Comparação pareada dos critérios

Matriz de Julgamento (J)

	Econômico	Ambiental	Social	Escala de Produção	Qualidade do óleo e oleaginosa
Econômico	1	5	7	1	7
Ambiental	0.2	1	5	0.33333333	3
Social	0.142857143	0.2	1	0.2	0.33333333
Escala de Produção	1	3	5	1	5
Qualidade do óleo e oleaginosa	0.142857143	0.33333333	3	0.2	1

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Econômico	Ambiental	Social	Escala de Produção	Qualidade do óleo e oleaginosa	Autovetor	Autovetor normalizado (W)
Econômico	0.402298851	0.524475524	0.333333333	0.365853659	0.428571429	2.054532795	41.09
Ambiental	0.08045977	0.104895105	0.238095238	0.12195122	0.183673469	0.729074802	14.58
Social	0.057471264	0.020979021	0.047619048	0.073170732	0.020408163	0.219648228	4.39
Escala de Produção	0.402298851	0.314685315	0.238095238	0.365853659	0.306122449	1.627055511	32.54
Qualidade do óleo e oleaginosa	0.057471264	0.034965035	0.142857143	0.073170732	0.06122449	0.369688664	7.39
						SOMA	100.00

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ - Máximo Autovalor	Índice de consistência (IC)	Razão de Consistência (RC)
229.0464112	5.57417267	5.296777315	0.074194329	0.066244936
77.79280658	5.335036018			
22.1521706	5.042647239			

176.3099434	5.41806786
37.81148138	5.113962787

Comparação pareada dos subcritérios referente ao critério econômico

Matriz de Julgamento (J)

	Custo do óleo	Custo da oleaginosa
Custo do óleo	1	5
Custo da oleaginosa	0.2	1

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Custo do óleo	Custo da oleaginosa	Autovetor	Autovetor normalizado (W)
Custo do óleo	0.833333333	0.833333333	1.666666667	83.33
Custo da oleaginosa	0.166666667	0.166666667	0.333333333	16.67
			SOMA	100

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ -Máximo Autovalor	Índice de consistência (IC)	Razão de Consistência (RC)
166.666667	2	2	0	0
33.3333333	2			

Comparação pareada dos subcritérios referente ao critério ambiental

Matriz de Julgamento (J)

	Produtiv. da oleaginosa	Rendimento em óleo	Exigências hídricas
Produtiv. da oleaginosa	1	1	5

Rendimento em óleo	1	1	5
Exigências hídricas	0.2	0.2	1

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Produtiv. da oleaginosa	Rendimento em óleo	Exigências hídricas	Autovetor	Autovetor normalizado (W)
Produtiv. da oleaginosa	0.454545455	0.454545455	0.454545455	1.363636364	45.45
Rendimento em óleo	0.454545455	0.454545455	0.454545455	1.363636364	45.45
Exigências hídricas	0.090909091	0.090909091	0.090909091	0.272727273	9.09
				SOMA	100.00

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ Máximo Autovalor	- Índice de consistência (IC)	de Razão de Consistência (RC)
136.3636364	3	3	2.22045E-16	3.82836E-16
136.3636364	3			
27.27272727	3			

Comparação pareada dos subcritérios referente ao critério social

Matriz de Julgamento (J)

	Dependência extrativismo	Dependência Alimentar
Dependência extrativismo	1	0.2

Dependência Alimentar	5	1
-----------------------	---	---

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Dependência extrativismo	Dependência Alimentar	Autovetor	Autovetor normalizado (W)
Dependência extrativismo	0.16666667	0.16666667	0.33333333	16.67
Dependência Alimentar	0.83333333	0.83333333	1.66666667	83.33
			SOMA	100.00

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ Autovalor	-Máximo	Índice de consistência (IC)	Razão de Consistência (RC)	de
33.33333333	2	2		0	0	
166.6666667	2					

Comparação pareada dos subcritérios referente ao critério escala de produção

Matriz de Julgamento (J)

	Produção agrícola anual	Área plantada	Teor de óleo	Período de colheita (sazon.)	Cultivares registrados
Produção agrícola anual	1	1	5	7	5
Área plantada	1	1	5	5	7
Teor de óleo	0.2	0.2	1	5	5
Período de colheita (sazon.)	0.142857143	0.2	0.2	1	1
Cultivares registrados	0.2	0.14285714	0.2	1	1

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Produção agrícola anual	Área plantada	Teor de óleo	Período de colheita (sazon.)	Cultivares registrados	Autovetor	Autovetor normalizado (W)
Produção agrícola anual	0.393258427	0.39325843	0.438596491	0.368421053	0.263157895	1.856692293	37.13
Área plantada	0.393258427	0.39325843	0.438596491	0.263157895	0.368421053	1.856692293	37.13
Teor de óleo	0.078651685	0.07865169	0.087719298	0.263157895	0.263157895	0.771338459	15.43
Período de colheita (sazon.)	0.056179775	0.07865169	0.01754386	0.052631579	0.052631579	0.257638478	5.15
Cultivares registrados	0.078651685	0.05617978	0.01754386	0.052631579	0.052631579	0.257638478	5.15
						SOMA	100.00

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ Máximo Autovalor	- Índice de consistência (IC)	de Razão de Consistência (RC)
213.2347723	5.742329334	5.38537103	0.096342759	0.08602032
213.2347723	5.742329334			
81.80800315	5.302990033			
26.12249725	5.069603235			
26.12249725	5.069603235			

Comparação pareada dos subcritérios referente ao critério qualidade do óleo/oleaginosa

Matriz de Julgamento (J)

	Poder Calorífico Inferior	Acidez do óleo	Umidade do óleo	Teor de ác. graxos saturados	Umidade da oleaginosa
Poder Calorífico Inferior	1	3	3	0.333333333	3

Acidez do óleo	0.33333333	1	1	0.33333333	1
Umidade do óleo	0.33333333	1	1	0.33333333	1
Teor de ác. graxos saturados	3	3	1	1	3
Umidade da oleaginosa	0.33333333	1	1	0.33333333	1

Matriz de Julgamento Normalizada (Jn)

	Produção agrícola anual	Área plantada	Teor de óleo	Período de colheita (sazon.)	Cultivares registrados	Autovetor	: Autovetor normalizado (W)
Produção agrícola anual	0.2	0.33333333	0.428571429	0.142857143	0.333333333	1.438095238	28.76
Área plantada	0.06666667	0.11111111	0.142857143	0.142857143	0.111111111	0.574603175	11.49
Teor de óleo	0.06666667	0.11111111	0.142857143	0.142857143	0.111111111	0.574603175	11.49
Período de colheita (sazon.)	0.6	0.33333333	0.142857143	0.428571429	0.333333333	1.838095238	36.76
Cultivares registrados	0.06666667	0.11111111	0.142857143	0.142857143	0.111111111	0.574603175	11.49
						SOMA	100.00

Teste de consistência de Saaty

J*W	Autovalor	$\lambda_{\text{máx}}$ -Máximo Autovalor	Índice de consistência (IC)	Razão de Consistência (RC)
144.4444444	5.02207506	5.05182768	0.012956919	0.011568678
56.31746032	4.90055249			
56.31746032	4.90055249			
203.4920635	5.53540587			
56.31746032	4.90055249			

ANEXO IV - Aplicação do método TOPSIS no Capítulo 3

Aplicação do TOPSIS – Região Norte

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17	
MP3	8550	2750	15000	0,6	1000	1	1	0	0	66	12	1	7770	1,54	0,03	83,3	13,3	
MP6	3444	440	24000	4	1750	1	1	0	0	43,45	4	1	8529	57,45	0,8	20,35	34,75	
MP8	3752	350	19009	4	2500	0,5	1	1042,86	54,86	21,5	12	32	8330	12,3	0,58	47,77	30	
MP10	2578	996,5	2655	0,56	650	0	1	3969,7	1514,11	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5	
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0347	0,0563	0,0649	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0579	0,0532	0,0438	0,0604	0,0389	

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP3	0,4666	0,6062	0,2473	0,0655	0,1695	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,4372	0,3871	0,0006	0,2372	0,0211	0,0179	0,5027	0,1519
MP6	0,1880	0,0970	0,3956	0,4367	0,2966	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,2878	0,1290	0,0006	0,2604	0,7870	0,4762	0,1228	0,3969
MP8	0,2048	0,0772	0,3133	0,4367	0,4237	0,0000	0,2500	0,2080	0,0350	0,1424	0,3871	0,0187	0,2543	0,1685	0,3452	0,2883	0,3427
MP10	0,1407	0,2197	0,0438	0,0611	0,1102	0,0000	0,2500	0,7920	0,9650	0,1325	0,0968	0,9801	0,2481	0,0234	0,1607	0,0863	0,1085

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP3	0,1057	0,0334	0,0086	0,0037	0,0110	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0273	0,0140	0,0000	0,0137	0,0011	0,0008	0,0304	0,0059
MP6	0,0426	0,0053	0,0137	0,0246	0,0193	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0180	0,0047	0,0000	0,0151	0,0419	0,0208	0,0074	0,0154
MP8	0,0464	0,0043	0,0109	0,0246	0,0275	0,0000	0,0137	0,0096	0,0016	0,0089	0,0140	0,0005	0,0147	0,0090	0,0151	0,0174	0,0133
MP10	0,0319	0,0121	0,0015	0,0034	0,0072	0,0000	0,0137	0,0364	0,0430	0,0083	0,0035	0,0287	0,0144	0,0012	0,0070	0,0052	0,0042
Valor desejado	0,0319	0,0043	0,0137	0,0246	0,0072	0,0000	0,0137	0,0364	0,0430	0,0273	0,0140	0,0287	0,0151	0,0011	0,0008	0,0304	0,0042
Valor indesejado	0,1057	0,0334	0,0015	0,0034	0,0275	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0083	0,0035	0,0000	0,0137	0,0419	0,0208	0,0052	0,0154

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP3	-0,0738	- 0,0291	0,0052	0,0209	- 0,0039	0,0000	0,0000	0,0364	0,0430	0,0000	0,0000	0,0286	0,0013	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0017
MP6	-0,0107	- 0,0011	0,0000	0,0000	- 0,0121	0,0000	0,0000	0,0364	0,0430	0,0093	0,0093	0,0286	0,0000	-0,0408	-0,0201	0,0230	-0,0112
MP8	-0,0145	0,0000	0,0029	0,0000	- 0,0204	0,0000	0,0000	0,0269	0,0414	0,0184	0,0000	0,0281	0,0004	-0,0078	-0,0143	0,0130	-0,0091
MP10	0,0000	- 0,0079	0,0122	0,0212	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0190	0,0105	0,0000	0,0007	-0,0001	-0,0063	0,0252	0,0000

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP3	0,0000	0,0000	0,0071	0,0002	- 0,0165	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0190	0,0105	0,0000	0,0000	-0,0408	-0,0201	0,0252	-0,0095
MP6	-0,0631	- 0,0281	0,0122	0,0212	- 0,0083	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0097	0,0012	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000	0,0022	0,0000
MP8	-0,0593	- 0,0291	0,0094	0,0212	0,0000	0,0000	0,0000	0,0096	0,0016	0,0006	0,0105	0,0005	0,0010	-0,0329	-0,0057	0,0122	-0,0021
MP10	-0,0738	- 0,0213	0,0000	0,0000	- 0,0204	0,0000	0,0000	0,0364	0,0430	0,0000	0,0000	0,0286	0,0006	-0,0406	-0,0138	0,0000	-0,0112

Si+	Si-	Ci+
0,1038	0,0599	0,3657
0,0845	0,0744	0,4681
0,0687	0,0799	0,5376
0,0425	0,1108	0,7229

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP3	Babaçu	4
MP6	Macaúba	3
MP8	Palma	2

Aplicação do TOPSIS – Região Nordeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	5910	1150	2348	0,361	575	0	1	827	352,3	19	3	176	8050	6,11	0,2	29	10,45
MP3	8550	2750	15000	0,6	1000	1	1	0	0	66	12	1	7770	1,54	0,03	83,3	13,3
MP6	3444	650	24000	4	1750	1	1	0	0	43,45	4	1	8529	57,45	0,8	20,35	34,75
MP7	7300	2244	541	0,75	700	0	0	21,3	48,42	45	3	39	8000	12,33	0,41	2,95	6,47
MP8	3752	350	3793	4	2500	0,5	1	203,97	53,77	21,5	12	32	8330	12,34	0,58	47,77	30
MP9	2875	420	6000	1,5	600	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8
MP10	2500	970,6	1775	0,56	650	0	1	5100,18	2784,02	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0347	0,0563	0,0649	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0579	0,0532	0,0438	0,0604	0,0389

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,1721	0,1347	0,0439	0,0307	0,0740	0,0000	0,2000	0,1344	0,1088	0,0759	0,0612	0,0915	0,1417	0,0573	0,0752	0,1330	0,0939
MP3	0,2490	0,3222	0,2806	0,0510	0,1286	0,2857	0,2000	0,0000	0,0000	0,2635	0,2449	0,0005	0,1367	0,0144	0,0113	0,3822	0,1195
MP6	0,1003	0,0762	0,4490	0,3398	0,2251	0,2857	0,2000	0,0000	0,0000	0,1735	0,0816	0,0005	0,1501	0,5389	0,3008	0,0934	0,3123
MP7	0,2126	0,2629	0,0101	0,0637	0,0900	0,0000	0,0000	0,0035	0,0150	0,1797	0,0612	0,0203	0,1408	0,1157	0,1541	0,0135	0,0581
MP8	0,1093	0,0410	0,0710	0,3398	0,3215	0,1429	0,2000	0,0332	0,0166	0,0858	0,2449	0,0166	0,1466	0,1158	0,2180	0,2192	0,2696
MP9	0,0837	0,0492	0,1122	0,1274	0,0772	0,2857	0,0000	0,0000	0,0000	0,1417	0,2449	0,0005	0,1412	0,1418	0,1391	0,0931	0,0611
MP10	0,0728	0,1137	0,0332	0,0476	0,0836	0,0000	0,2000	0,8290	0,8597	0,0799	0,0612	0,8701	0,1430	0,0160	0,1015	0,0656	0,0854

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,0390	0,0074	0,0015	0,0017	0,0048	0,0000	0,0109	0,0062	0,0048	0,0047	0,0022	0,0027	0,0082	0,0030	0,0033	0,0080	0,0037
MP3	0,0564	0,0178	0,0097	0,0029	0,0084	0,0100	0,0109	0,0000	0,0000	0,0165	0,0089	0,0000	0,0079	0,0008	0,0005	0,0231	0,0047

MP6	0,0227	0,0042	0,0156	0,0191	0,0146	0,0100	0,0109	0,0000	0,0000	0,0108	0,0030	0,0000	0,0087	0,0287	0,0132	0,0056	0,0122
MP7	0,0482	0,0145	0,0004	0,0036	0,0058	0,0000	0,0000	0,0002	0,0007	0,0112	0,0022	0,0006	0,0081	0,0062	0,0067	0,0008	0,0023
MP8	0,0248	0,0023	0,0025	0,0191	0,0209	0,0050	0,0109	0,0015	0,0007	0,0054	0,0089	0,0005	0,0085	0,0062	0,0095	0,0132	0,0105
MP9	0,0190	0,0027	0,0039	0,0072	0,0050	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0089	0,0089	0,0000	0,0082	0,0075	0,0061	0,0056	0,0024
MP10	0,0165	0,0063	0,0012	0,0027	0,0054	0,0000	0,0109	0,0381	0,0383	0,0050	0,0022	0,0254	0,0083	0,0009	0,0044	0,0040	0,0033
Valor desejado	0,0165	0,0023	0,0156	0,0191	0,0048	0,0000	0,0000	0,0381	0,0383	0,0165	0,0089	0,0254	0,0087	0,0008	0,0005	0,0231	0,0023
Valor indesejado	0,0564	0,0178	0,0004	0,0017	0,0209	0,0100	0,0109	0,0000	0,0000	0,0047	0,0022	0,0000	0,0079	0,0287	0,0132	0,0008	0,0122

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0225	-0,0052	0,0141	0,0174	0,0000	0,0000	-0,0109	0,0320	0,0334	0,0117	0,0066	0,0228	0,0005	-0,0023	-0,0028	0,0151	-0,0014
MP3	-0,0399	-0,0155	0,0058	0,0163	-0,0035	-0,0100	-0,0109	0,0381	0,0383	0,0000	0,0000	0,0254	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0024
MP6	-0,0062	-0,0019	0,0000	0,0000	-0,0098	-0,0100	-0,0109	0,0381	0,0383	0,0056	0,0059	0,0254	0,0000	-0,0279	-0,0127	0,0175	-0,0099
MP7	-0,0317	-0,0122	0,0152	0,0156	-0,0010	0,0000	0,0000	0,0380	0,0376	0,0052	0,0066	0,0249	0,0005	-0,0054	-0,0063	0,0223	0,0000
MP8	-0,0083	0,0000	0,0131	0,0000	-0,0161	-0,0050	-0,0109	0,0366	0,0375	0,0111	0,0000	0,0250	0,0002	-0,0054	-0,0091	0,0099	-0,0082
MP9	-0,0025	-0,0005	0,0117	0,0120	-0,0002	-0,0100	0,0000	0,0381	0,0383	0,0076	0,0000	0,0254	0,0005	-0,0068	-0,0056	0,0175	-0,0001
MP10	0,0000	-0,0040	0,0144	0,0165	-0,0006	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0115	0,0066	0,0000	0,0004	-0,0001	-0,0039	0,0191	-0,0011

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0174	-0,0103	0,0012	0,0000	-0,0161	-0,0100	0,0000	0,0062	0,0048	0,0000	0,0000	0,0027	0,0003	-0,0256	-0,0099	0,0072	-0,0085
MP3	0,0000	0,0000	0,0094	0,0011	-0,0125	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0117	0,0066	0,0000	0,0000	-0,0279	-0,0127	0,0223	-0,0075
MP6	-0,0337	-0,0136	0,0152	0,0174	-0,0063	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0061	0,0007	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0048	0,0000
MP7	-0,0082	-0,0033	0,0000	0,0019	-0,0150	-0,0100	-0,0109	0,0002	0,0007	0,0065	0,0000	0,0006	0,0002	-0,0225	-0,0064	0,0000	-0,0099
MP8	-0,0317	-0,0155	0,0021	0,0174	0,0000	-0,0050	0,0000	0,0015	0,0007	0,0006	0,0066	0,0005	0,0006	-0,0225	-0,0036	0,0124	-0,0017
MP9	-0,0374	-0,0150	0,0035	0,0055	-0,0159	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0041	0,0066	0,0000	0,0003	-0,0211	-0,0071	0,0048	-0,0098
MP10	-0,0399	-0,0115	0,0008	0,0010	-0,0154	-0,0100	0,0000	0,0381	0,0383	0,0002	0,0000	0,0254	0,0004	-0,0278	-0,0087	0,0031	-0,0088

Si+	Si-	Ci+
0,0651	0,0414	0,3890
0,0771	0,0438	0,3625
0,0730	0,0442	0,3771

0,0758	0,0349	0,3153
0,0665	0,0480	0,4192
0,0663	0,0521	0,4403
0,0343	0,0811	0,7028

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP1	Algodão	4
MP3	Babaçu	6
MP6	Macaúba	5
MP7	Mamona	7
MP8	Palma	3
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Sul

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17	
MP1	5910	929,59	1473	0,361	575	0	1	1,3	0,9	19	3	176	8050	6,11	0,2	29	10,45	
MP4	6710	1101	1400	0,57	406	0	1	58,1	41,5	40	3	26	7528	2,29	0,01	6	6,97	
MP5	6480	1093	1462	0,66	600	0	1	7,09	5,48	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,7	
MP10	2800	1027,5	3046	0,56	650	0	1	35170	11574	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5	
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0347	0,0563	0,0649	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0579	0,0532	0,0438	0,0604	0,0389	

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,2699	0,2239	0,1996	0,1678	0,2577	0,0000	0,2500	0,0000	0,0001	0,1557	0,2500	0,0822	0,2543	0,5938	0,3846	0,4809	0,3204
MP4	0,3064	0,2652	0,1897	0,2650	0,1820	0,0000	0,2500	0,0016	0,0036	0,3279	0,2500	0,0121	0,2378	0,2225	0,0192	0,0995	0,2137
MP5	0,2959	0,2633	0,1981	0,3068	0,2689	0,0000	0,2500	0,0002	0,0005	0,3525	0,2500	0,1238	0,2512	0,0175	0,0769	0,1824	0,1747
MP10	0,1279	0,2475	0,4127	0,2603	0,2913	0,0000	0,2500	0,9981	0,9959	0,1639	0,2500	0,7819	0,2567	0,1662	0,5192	0,2371	0,2912

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,0611	0,0123	0,0069	0,0095	0,0167	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0097	0,0091	0,0024	0,0147	0,0316	0,0168	0,0291	0,0125
MP4	0,0694	0,0146	0,0066	0,0149	0,0118	0,0000	0,0137	0,0001	0,0002	0,0205	0,0091	0,0004	0,0138	0,0118	0,0008	0,0060	0,0083
MP5	0,0670	0,0145	0,0069	0,0173	0,0175	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0220	0,0091	0,0036	0,0145	0,0009	0,0034	0,0110	0,0068
MP10	0,0290	0,0136	0,0143	0,0147	0,0189	0,0000	0,0137	0,0459	0,0443	0,0102	0,0091	0,0229	0,0149	0,0088	0,0227	0,0143	0,0113
Valor desejado	0,0290	0,0123	0,0143	0,0173	0,0118	0,0000	0,0137	0,0459	0,0443	0,0220	0,0091	0,0229	0,0149	0,0009	0,0008	0,0291	0,0068
Valor indesejado	0,0694	0,0146	0,0066	0,0095	0,0189	0,0000	0,0137	0,0000	0,0000	0,0097	0,0091	0,0004	0,0138	0,0316	0,0227	0,0060	0,0125

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0322	0,0000	0,0074	0,0078	-0,0049	0,0000	0,0000	0,0459	0,0443	0,0123	0,0000	0,0205	0,0001	-0,0307	-0,0160	0,0000	-0,0057
MP4	-0,0404	-0,0023	0,0077	0,0024	0,0000	0,0000	0,0000	0,0458	0,0442	0,0015	0,0000	0,0225	0,0011	-0,0109	0,0000	0,0231	-0,0015
MP5	-0,0381	-0,0022	0,0075	0,0000	-0,0056	0,0000	0,0000	0,0459	0,0443	0,0000	0,0000	0,0192	0,0003	0,0000	-0,0025	0,0180	0,0000
MP10	0,0000	-0,0013	0,0000	0,0026	-0,0071	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0118	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0079	-0,0219	0,0147	-0,0045

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0083	-0,0023	0,0003	0,0000	-0,0022	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	-0,0059	0,0231	0,0000
MP4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0055	-0,0071	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0108	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0198	-0,0219	0,0000	-0,0042
MP5	-0,0024	-0,0001	0,0003	0,0078	-0,0015	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0123	0,0000	0,0033	0,0008	-0,0307	-0,0194	0,0050	-0,0057
MP10	-0,0404	-0,0010	0,0077	0,0052	0,0000	0,0000	0,0000	0,0459	0,0443	0,0005	0,0000	0,0225	0,0011	-0,0228	0,0000	0,0083	-0,0011

Si+	Si-	Ci+
0,0839	0,0255	0,2329
0,0832	0,0329	0,2834

0,0795	0,0400	0,3351
0,0313	0,0830	0,7265

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP1	Algodão	4
MP4	Colza	3
MP5	Girassol	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Sudeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	5910	865	2069	0,361	575	0	1	58,1	28,1	19	3	176	8050	6,11	0,2	29	10,45
MP2	12960	685,73	3030	0,78	648	0	1	418,37	118,78	45	3	29	8000	2	0,06	20	7
MP5	6480	1050,5	1041	0,66	600	0	1	8,49	8,15	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,8
MP6	3444	230	24000	4	1750	1	1	0	0	43,25	4	1	8529	57,45	0,8	20,35	34,75
MP7	7300	2244	1151	0,75	700	0	0	0,24	0,23	45	3	39	8000	12,34	0,41	2,95	6,47
MP9	2875	420	6000	1,5	600	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8
MP10	2564	905,16	3224	0,56	650	0	1	7375	2300	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0347	0,0563	0,0649	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0579	0,0532	0,0438	0,0604	0,0389

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,1423	0,1351	0,0511	0,0419	0,1041	0,0000	0,2000	0,0074	0,0114	0,0758	0,0968	0,0805	0,1420	0,0644	0,0930	0,2460	0,1294
MP2	0,3120	0,1071	0,0748	0,0906	0,1173	0,0000	0,2000	0,0532	0,0484	0,1795	0,0968	0,0133	0,1412	0,0211	0,0279	0,1696	0,0867
MP5	0,1560	0,1641	0,0257	0,0766	0,1086	0,0000	0,2000	0,0011	0,0033	0,1715	0,0968	0,1213	0,1403	0,0019	0,0186	0,0933	0,0718
MP6	0,0829	0,0359	0,5924	0,4645	0,3169	0,5000	0,2000	0,0000	0,0000	0,1725	0,1290	0,0005	0,1505	0,6053	0,3721	0,1726	0,4302
MP7	0,1758	0,3506	0,0284	0,0871	0,1267	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,1795	0,0968	0,0178	0,1412	0,1300	0,1907	0,0250	0,0801
MP9	0,0692	0,0656	0,1481	0,1742	0,1086	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1416	0,3871	0,0005	0,1415	0,1593	0,1721	0,1722	0,0842

MP10	0,0617	0,1414	0,0796	0,0650	0,1177	0,0000	0,2000	0,9383	0,9368	0,0798	0,0968	0,7661	0,1434	0,0180	0,1256	0,1213	0,1176
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,0322	0,0074	0,0018	0,0024	0,0068	0,0000	0,0109	0,0003	0,0005	0,0047	0,0035	0,0024	0,0082	0,0034	0,0041	0,0149	0,0050
MP2	0,0707	0,0059	0,0026	0,0051	0,0076	0,0000	0,0109	0,0024	0,0022	0,0112	0,0035	0,0004	0,0082	0,0011	0,0012	0,0103	0,0034
MP5	0,0353	0,0090	0,0009	0,0043	0,0071	0,0000	0,0109	0,0000	0,0001	0,0107	0,0035	0,0035	0,0081	0,0001	0,0008	0,0056	0,0028
MP6	0,0188	0,0020	0,0206	0,0262	0,0206	0,0175	0,0109	0,0000	0,0000	0,0108	0,0047	0,0000	0,0087	0,0322	0,0163	0,0104	0,0167
MP7	0,0398	0,0193	0,0010	0,0049	0,0082	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0112	0,0035	0,0005	0,0082	0,0069	0,0083	0,0015	0,0031
MP9	0,0157	0,0036	0,0051	0,0098	0,0071	0,0175	0,0000	0,0000	0,0000	0,0088	0,0140	0,0000	0,0082	0,0085	0,0075	0,0104	0,0033
MP10	0,0140	0,0078	0,0028	0,0037	0,0076	0,0000	0,0109	0,0432	0,0417	0,0050	0,0035	0,0224	0,0083	0,0010	0,0055	0,0073	0,0046
Valor desejado	0,0140	0,0020	0,0206	0,0262	0,0068	0,0000	0,0000	0,0432	0,0417	0,0112	0,0140	0,0224	0,0087	0,0001	0,0008	0,0149	0,0028
Valor indesejado	0,0707	0,0193	0,0009	0,0024	0,0206	0,0175	0,0109	0,0000	0,0000	0,0047	0,0035	0,0000	0,0081	0,0322	0,0163	0,0015	0,0167

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0182	-0,0055	0,0188	0,0238	0,0000	0,0000	-0,0109	0,0428	0,0412	0,0065	0,0105	0,0201	0,0005	-0,0033	-0,0033	0,0000	-0,0022
MP2	-0,0567	-0,0039	0,0180	0,0211	-0,0009	0,0000	-0,0109	0,0407	0,0396	0,0000	0,0105	0,0220	0,0005	-0,0010	-0,0004	0,0046	-0,0006
MP5	-0,0214	-0,0071	0,0197	0,0219	-0,0003	0,0000	-0,0109	0,0431	0,0416	0,0005	0,0105	0,0189	0,0006	0,0000	0,0000	0,0092	0,0000
MP6	-0,0048	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0138	-0,0175	-0,0109	0,0432	0,0417	0,0004	0,0093	0,0224	0,0000	-0,0321	-0,0155	0,0044	-0,0140
MP7	-0,0258	-0,0173	0,0196	0,0213	-0,0015	0,0000	0,0000	0,0432	0,0417	0,0000	0,0105	0,0219	0,0005	-0,0068	-0,0075	0,0134	-0,0003
MP9	-0,0017	-0,0016	0,0154	0,0164	-0,0003	-0,0175	0,0000	0,0432	0,0417	0,0024	0,0000	0,0224	0,0005	-0,0084	-0,0067	0,0045	-0,0005
MP10	0,0000	-0,0058	0,0178	0,0225	-0,0009	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0062	0,0105	0,0000	0,0004	-0,0009	-0,0047	0,0075	-0,0018

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0384	-0,0119	0,0009	0,0000	-0,0138	-0,0175	0,0000	0,0003	0,0005	0,0000	0,0000	0,0023	0,0001	-0,0288	-0,0122	0,0134	-0,0117
MP2	0,0000	-0,0134	0,0017	0,0027	-0,0130	-0,0175	0,0000	0,0024	0,0022	0,0065	0,0000	0,0004	0,0001	-0,0311	-0,0151	0,0087	-0,0134
MP5	-0,0353	-0,0103	0,0000	0,0020	-0,0135	-0,0175	0,0000	0,0000	0,0001	0,0060	0,0000	0,0035	0,0000	-0,0321	-0,0155	0,0041	-0,0140
MP6	-0,0519	-0,0173	0,0197	0,0238	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0060	0,0012	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0089	0,0000
MP7	-0,0309	0,0000	0,0001	0,0025	-0,0123	-0,0175	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0065	0,0000	0,0005	0,0001	-0,0253	-0,0079	0,0000	-0,0136
MP9	-0,0550	-0,0157	0,0043	0,0075	-0,0135	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0041	0,0105	0,0000	0,0001	-0,0237	-0,0088	0,0089	-0,0135
MP10	-0,0567	-0,0115	0,0019	0,0013	-0,0129	-0,0175	0,0000	0,0432	0,0417	0,0002	0,0000	0,0224	0,0002	-0,0312	-0,0108	0,0058	-0,0122

Si+	Si-	Ci+
0,0743	0,0584	0,4404
0,0892	0,0465	0,3428
0,0750	0,0581	0,4365
0,0795	0,0638	0,4452
0,0792	0,0497	0,3853
0,0712	0,0684	0,4900
0,0348	0,0959	0,7339

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP1	Algodão	4
MP2	Amendoim	7
MP5	Girassol	5
MP6	Macaúba	3
MP7	Mamona	6
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Centro-Oeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	5910	773,77	2329	0,361	575	0	1	1707	733	19	3	176	8050	6,11	0,2	29	10,45
MP5	6480	1008	1298	0,66	600	0	1	61,49	48,71	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,8
MP6	3444	440	24000	4	1750	1	1	0	0	43,45	4	1	8529	57,45	0,8	20,35	34,75
MP7	7300	2244	1000	0,75	700	0	0	0,55	0,55	45	3	39	8000	12,34	0,41	2,95	6,47
MP8	3752	350	10000	4	2500	0,5	1	0	0	21,5	12	32	8330	12,3	0,58	47,77	30
MP9	2875	420	6000	1,5	600	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8

MP10	2450	863,3	2964	0,56	650	0	1	44137	14981	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0347	0,0563	0,0649	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0579	0,0532	0,0438	0,0604	0,0389

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,1835	0,1269	0,0489	0,0305	0,0780	0,0000	0,2000	0,0372	0,0465	0,0835	0,0750	0,0804	0,1412	0,0581	0,0749	0,1991	0,1007
MP5	0,2012	0,1653	0,0273	0,0558	0,0814	0,0000	0,2000	0,0013	0,0031	0,1891	0,0750	0,1211	0,1395	0,0017	0,0150	0,0755	0,0559
MP6	0,1069	0,0721	0,5043	0,3381	0,2373	0,4000	0,2000	0,0000	0,0000	0,1910	0,1000	0,0005	0,1496	0,5461	0,2996	0,1397	0,3349
MP7	0,2266	0,3679	0,0210	0,0634	0,0949	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1978	0,0750	0,0178	0,1403	0,1173	0,1536	0,0203	0,0623
MP8	0,1165	0,0574	0,2101	0,3381	0,3390	0,2000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0945	0,3000	0,0146	0,1461	0,1169	0,2172	0,3279	0,2891
MP9	0,0893	0,0689	0,1261	0,1268	0,0814	0,4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1561	0,3000	0,0005	0,1407	0,1437	0,1386	0,1394	0,0655
MP10	0,0761	0,1415	0,0623	0,0473	0,0881	0,0000	0,2000	0,9615	0,9504	0,0879	0,0750	0,7651	0,1425	0,0163	0,1011	0,0982	0,0915

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	0,0416	0,0070	0,0017	0,0017	0,0051	0,0000	0,0109	0,0017	0,0021	0,0052	0,0027	0,0024	0,0082	0,0031	0,0033	0,0120	0,0039
MP5	0,0456	0,0091	0,0009	0,0031	0,0053	0,0000	0,0109	0,0001	0,0001	0,0118	0,0027	0,0035	0,0081	0,0001	0,0007	0,0046	0,0022
MP6	0,0242	0,0040	0,0175	0,0190	0,0154	0,0140	0,0109	0,0000	0,0000	0,0119	0,0036	0,0000	0,0087	0,0291	0,0131	0,0084	0,0130
MP7	0,0513	0,0203	0,0007	0,0036	0,0062	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0124	0,0027	0,0005	0,0081	0,0062	0,0067	0,0012	0,0024
MP8	0,0264	0,0032	0,0073	0,0190	0,0220	0,0070	0,0109	0,0000	0,0000	0,0059	0,0109	0,0004	0,0085	0,0062	0,0095	0,0198	0,0113
MP9	0,0202	0,0038	0,0044	0,0071	0,0053	0,0140	0,0000	0,0000	0,0000	0,0098	0,0109	0,0000	0,0081	0,0076	0,0061	0,0084	0,0026
MP10	0,0172	0,0078	0,0022	0,0027	0,0057	0,0000	0,0109	0,0442	0,0423	0,0055	0,0027	0,0224	0,0083	0,0009	0,0044	0,0059	0,0036

Valor desejado	0,0172	0,0032	0,0175	0,0190	0,0051	0,0000	0,0000	0,0442	0,0423	0,0124	0,0109	0,0224	0,0087	0,0001	0,0007	0,0198	0,0022
Valor indesejado	0,0513	0,0203	0,0007	0,0017	0,0220	0,0140	0,0109	0,0000	0,0000	0,0052	0,0027	0,0000	0,0081	0,0291	0,0131	0,0012	0,0130

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0243	-0,0038	0,0158	0,0173	0,0000	0,0000	-0,0109	0,0425	0,0402	0,0071	0,0081	0,0200	0,0005	-0,0030	-0,0026	0,0078	-0,0017
MP5	-0,0283	-0,0059	0,0166	0,0159	-0,0002	0,0000	-0,0109	0,0442	0,0422	0,0005	0,0081	0,0188	0,0006	0,0000	0,0000	0,0153	0,0000
MP6	-0,0070	-0,0008	0,0000	0,0000	-0,0103	-0,0140	-0,0109	0,0442	0,0423	0,0004	0,0072	0,0224	0,0000	-0,0290	-0,0125	0,0114	-0,0109
MP7	-0,0341	-0,0171	0,0168	0,0155	-0,0011	0,0000	0,0000	0,0442	0,0423	0,0000	0,0081	0,0219	0,0005	-0,0061	-0,0061	0,0186	-0,0003

MP8	-0,0092	0,0000	0,0102	0,0000	-0,0169	-0,0070	-0,0109	0,0442	0,0423	0,0065	0,0000	0,0219	0,0002	-0,0061	-0,0089	0,0000	-0,0091
MP9	-0,0030	-0,0006	0,0131	0,0119	-0,0002	-0,0140	0,0000	0,0442	0,0423	0,0026	0,0000	0,0224	0,0005	-0,0076	-0,0054	0,0114	-0,0004
MP10	0,0000	-0,0046	0,0154	0,0164	-0,0007	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0069	0,0081	0,0000	0,0004	-0,0008	-0,0038	0,0139	-0,0014

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP1	-0,0098	-0,0133	0,0010	0,0000	-0,0169	-0,0140	0,0000	0,0017	0,0021	0,0000	0,0000	0,0023	0,0001	-0,0260	-0,0098	0,0108	-0,0091
MP5	-0,0058	-0,0112	0,0002	0,0014	-0,0167	-0,0140	0,0000	0,0001	0,0001	0,0066	0,0000	0,0035	0,0000	-0,0290	-0,0125	0,0033	-0,0109
MP6	-0,0271	-0,0163	0,0168	0,0173	-0,0066	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0067	0,0009	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0072	0,0000
MP7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0019	-0,0158	-0,0140	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0071	0,0000	0,0005	0,0001	-0,0228	-0,0064	0,0000	-0,0106
MP8	-0,0249	-0,0171	0,0066	0,0173	0,0000	-0,0070	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0081	0,0004	0,0004	-0,0228	-0,0036	0,0186	-0,0018
MP9	-0,0311	-0,0165	0,0036	0,0054	-0,0167	0,0000	-0,0109	0,0000	0,0000	0,0045	0,0081	0,0000	0,0001	-0,0214	-0,0070	0,0072	-0,0105
MP10	-0,0341	-0,0125	0,0014	0,0009	-0,0163	-0,0140	0,0000	0,0442	0,0423	0,0003	0,0000	0,0224	0,0002	-0,0282	-0,0087	0,0047	-0,0095

Si+	Si-	Ci+
0,0728	0,0417	0,3641
0,0766	0,0426	0,3573
0,0775	0,0415	0,3488
0,0818	0,0360	0,3055
0,0715	0,0475	0,3992
0,0706	0,0494	0,4114
0,0311	0,0837	0,7290

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP1	Algodão	4
MP5	Girassol	5
MP6	Macaúba	6
MP7	Mamona	7
MP8	Palma	3
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

ANEXO V - Aplicação do método TOPSIS no Capítulo 4

Aplicação do TOPSIS – Região Norte

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	3752	350	19009	4	2500	29,7	0,5	1	1042,9	54,86	21,5	12	32	8330	12,3	0,58	47,77	30
MP10	2578	996,5	2655	0,56	650	39,5	0	1	3969,7	1514,1	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0300	0,0301	0,0544	0,0415	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0554	0,0482	0,0431	0,0656	0,0419

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,5927	0,2599	0,8774	0,8772	0,7937	0,4292	1,0000	0,5000	0,2080	0,0350	0,5181	0,8000	0,0188	0,5062	0,8779	0,6824	0,7696	0,7595
MP10	0,4073	0,7401	0,1226	0,1228	0,2063	0,5708	0,0000	0,5000	0,7920	0,9650	0,4819	0,2000	0,9812	0,4938	0,1221	0,3176	0,2304	0,2405

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,1342	0,0143	0,0264	0,0264	0,0432	0,0178	0,0350	0,0274	0,0096	0,0016	0,0324	0,0290	0,0005	0,0281	0,0423	0,0294	0,0505	0,0318
MP10	0,0922	0,0408	0,0037	0,0037	0,0112	0,0237	0,0000	0,0274	0,0364	0,0430	0,0301	0,0072	0,0287	0,0274	0,0059	0,0137	0,0151	0,0101
Valor desejado	0,0922	0,0143	0,0264	0,0264	0,0112	0,0178	0,0000	0,0274	0,0364	0,0430	0,0324	0,0290	0,0287	0,0281	0,0059	0,0137	0,0505	0,0101
Valor indesejado	0,1342	0,0408	0,0037	0,0037	0,0432	0,0237	0,0350	0,0274	0,0096	0,0016	0,0301	0,0072	0,0005	0,0274	0,0423	0,0294	0,0151	0,0318

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	-0,0420	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0319	0,0000	-0,0350	0,0000	0,0269	0,0414	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	-0,0365	-0,0157	0,0000	-0,0218
MP10	0,0000	-0,0265	0,0227	0,0227	0,0000	-0,0059	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0217	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0353	0,0000

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,0000	-0,0265	0,0227	0,0227	0,0000	-0,0059	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0217	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0353	0,0000
MP10	-0,0420	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0319	0,0000	-0,0350	0,0000	0,0269	0,0414	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	-0,0365	-0,0157	0,0000	-0,0218

Si+	Si-	Ci+
0,0964	0,0591	0,3801
0,0591	0,0964	0,6199

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP8	Palma	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Nordeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17	
MP8	3752	350	3793	4	2500	27,43	0,5	1	203,97	53,77	21,5	12	32	8330	12,34	0,58	47,77	30	
MP9	2875	420	6000	1,5	600	49,5	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8	
MP10	2500	970,6	1775	0,56	650	39,5	0	1	5100,18	2784,02	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5	
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0300	0,0301	0,0544	0,0415	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0554	0,0482	0,0431	0,0656	0,0419	

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,4111	0,2011	0,3279	0,6601	0,6667	0,2356	0,3333	0,5000	0,0385	0,0189	0,2792	0,4444	0,0187	0,3403	0,4230	0,4754	0,5799	0,6479
MP9	0,3150	0,2413	0,5187	0,2475	0,1600	0,4251	0,6667	0,0000	0,0000	0,0000	0,4610	0,4444	0,0006	0,3277	0,5183	0,3033	0,2464	0,1469
MP10	0,2739	0,5576	0,1534	0,0924	0,1733	0,3393	0,0000	0,5000	0,9615	0,9811	0,2597	0,1111	0,9807	0,3320	0,0586	0,2213	0,1736	0,2052

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,0931	0,0111	0,0098	0,0199	0,0362	0,0098	0,0117	0,0274	0,0018	0,0008	0,0175	0,0161	0,0005	0,0189	0,0204	0,0205	0,0380	0,0272
MP9	0,0713	0,0133	0,0156	0,0075	0,0087	0,0176	0,0233	0,0000	0,0000	0,0000	0,0288	0,0161	0,0000	0,0182	0,0250	0,0131	0,0162	0,0062
MP10	0,0620	0,0307	0,0046	0,0028	0,0094	0,0141	0,0000	0,0274	0,0442	0,0437	0,0162	0,0040	0,0287	0,0184	0,0028	0,0095	0,0114	0,0086
Valor desejado	0,0620	0,0111	0,0156	0,0199	0,0087	0,0098	0,0000	0,0000	0,0442	0,0437	0,0288	0,0161	0,0287	0,0189	0,0028	0,0095	0,0380	0,0062
Valor indesejado	0,0931	0,0307	0,0046	0,0028	0,0362	0,0176	0,0233	0,0274	0,0000	0,0000	0,0162	0,0040	0,0000	0,0182	0,0250	0,0205	0,0114	0,0272

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	-0,0311	0,0000	0,0057	0,0000	-0,0275	0,0000	-0,0117	-0,0274	0,0425	0,0428	0,0114	0,0000	0,0281	0,0000	-0,0176	-0,0110	0,0000	-0,0210
MP9	-0,0093	-0,0022	0,0000	0,0124	0,0000	-0,0079	-0,0233	0,0000	0,0442	0,0437	0,0000	0,0000	0,0287	0,0007	-0,0222	-0,0035	0,0219	0,0000
MP10	0,0000	-0,0196	0,0110	0,0171	-0,0007	-0,0043	0,0000	-0,0274	0,0000	0,0000	0,0126	0,0121	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0266	-0,0024

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP8	0,0000	-0,0196	0,0052	0,0171	0,0000	-0,0079	-0,0117	0,0000	0,0018	0,0008	0,0012	0,0121	0,0005	0,0007	-0,0046	0,0000	0,0266	0,0000

MP9	-0,0218	-	0,0110	0,0047	-	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0126	0,0121	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0074	0,0048	-0,0210		
MP10	-0,0311	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0268	-0,0036	-	0,0233	0,0000	0,0442	0,0437	0,0000	0,0000	0,0287	0,0002	-0,0222	-0,0110	0,0000	-0,0186

Si+	Si-	Ci+
0,0898	0,0423	0,3199
0,0808	0,0570	0,4138
0,0509	0,0888	0,6358

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP8	Palma	3
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Sul

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17	
MP4	6710	1101	1400	0,57	406	53,5	0	1	58,1	41,5	40	3	26	7528	2,29	0,01	6	6,97	
MP5	6480	1093	1462	0,66	600	42,7	0	1	7,09	5,48	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,7	
MP10	2800	1027,5	3046	0,56	650	39,5	0	1	35170	11574	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5	
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0300	0,0301	0,0544	0,0415	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0554	0,0482	0,0431	0,0656	0,0419	

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP4	0,4196	0,3418	0,2370	0,3184	0,2452	0,3943	0,0000	0,3333	0,0016	0,0036	0,3883	0,3333	0,0132	0,3189	0,5478	0,0313	0,1917	0,3144
MP5	0,4053	0,3393	0,2475	0,3687	0,3623	0,3147	0,0000	0,3333	0,0002	0,0005	0,4175	0,3333	0,1349	0,3368	0,0431	0,1250	0,3514	0,2571
MP10	0,1751	0,3190	0,5156	0,3128	0,3925	0,2911	0,0000	0,3333	0,9981	0,9960	0,1942	0,3333	0,8519	0,3442	0,4091	0,8438	0,4569	0,4285

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP4	0,0950	0,0188	0,0071	0,0096	0,0133	0,0163	0,0000	0,0182	0,0001	0,0002	0,0243	0,0121	0,0004	0,0177	0,0264	0,0013	0,0126	0,0132
MP5	0,0918	0,0187	0,0074	0,0111	0,0197	0,0130	0,0000	0,0182	0,0000	0,0000	0,0261	0,0121	0,0039	0,0187	0,0021	0,0054	0,0230	0,0108
MP10	0,0397	0,0176	0,0155	0,0094	0,0213	0,0121	0,0000	0,0182	0,0459	0,0443	0,0121	0,0121	0,0249	0,0191	0,0197	0,0364	0,0299	0,0180
Valor desejado	0,0397	0,0176	0,0155	0,0111	0,0133	0,0121	0,0000	0,0182	0,0459	0,0443	0,0261	0,0121	0,0249	0,0191	0,0021	0,0013	0,0299	0,0108
Valor indesejado	0,0950	0,0188	0,0071	0,0094	0,0213	0,0163	0,0000	0,0182	0,0000	0,0000	0,0121	0,0121	0,0004	0,0177	0,0264	0,0364	0,0126	0,0180

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP4	-0,0554	- 0,0013	0,0084	0,0015	0,0000	-0,0043	0,0000	0,0000	0,0459	0,0442	0,0018	0,0000	0,0245	0,0014	-0,0243	0,0000	0,0174	-0,0024
MP5	-0,0521	- 0,0011	0,0081	0,0000	- 0,0064	-0,0010	0,0000	0,0000	0,0459	0,0443	0,0000	0,0000	0,0210	0,0004	0,0000	-0,0040	0,0069	0,0000
MP10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	- 0,0080	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0140	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0177	-0,0350	0,0000	-0,0072

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	- 0,0080	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0121	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0350	0,0000	-0,0048
MP5	-0,0033	- 0,0001	0,0003	0,0017	- 0,0016	-0,0033	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0140	0,0000	0,0036	0,0010	-0,0243	-0,0310	0,0105	-0,0072
MP10	-0,0554	- 0,0013	0,0084	0,0000	0,0000	-0,0043	0,0000	0,0000	0,0459	0,0443	0,0000	0,0000	0,0245	0,0014	-0,0067	0,0000	0,0174	0,0000

Si+	Si-	Ci+
0,0934	0,0382	0,2905
0,0860	0,0442	0,3392
0,0430	0,0904	0,6776

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP4	Colza	3
MP5	Girassol	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Sudeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	6480	1050,5	1041	0,66	600	42,7	0	1	8,49	8,15	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,8
MP9	2875	420	6000	1,5	600	49,5	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8
MP10	2564	905,16	3224	0,56	650	39,5	0	1	7375	2300	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,030	0,030	0,054	0,0415	0,035	0,054	0,046	0,044	0,062	0,036	0,029	0,055	0,048	0,043	0,065	0,041

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,5437	0,4422	0,1014	0,2426	0,3243	0,3242	0,0000	0,5000	0,0011	0,0035	0,4365	0,1667	0,1369	0,3296	0,0106	0,0588	0,2412	0,2624
MP9	0,2412	0,1768	0,5845	0,5515	0,3243	0,3759	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3604	0,6667	0,0000	0,3329	0,8889	0,5441	0,4452	0,3077
MP10	0,2151	0,3810	0,3141	0,2059	0,3514	0,2999	0,0000	0,5000	0,9989	0,9965	0,2030	0,1667	0,8629	0,3372	0,1005	0,3971	0,3136	0,4299

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,1231	0,0244	0,0030	0,0073	0,0176	0,0134	0,0000	0,0274	0,0001	0,0002	0,0273	0,0060	0,0040	0,0183	0,0005	0,0025	0,0158	0,0110
MP9	0,0546	0,0097	0,0176	0,0166	0,0176	0,0156	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0225	0,0241	0,0000	0,0184	0,0429	0,0235	0,0292	0,0129
MP10	0,0487	0,0210	0,0094	0,0062	0,0191	0,0124	0,0000	0,0274	0,0460	0,0444	0,0127	0,0060	0,0252	0,0187	0,0048	0,0171	0,0206	0,0180
Valor desejado	0,0487	0,0097	0,0176	0,0166	0,0176	0,0124	0,0000	0,0000	0,0460	0,0444	0,0273	0,0241	0,0252	0,0187	0,0005	0,0025	0,0292	0,0110
Valor indesejado	0,1231	0,0244	0,0030	0,0062	0,0191	0,0156	0,0000	0,0274	0,0000	0,0000	0,0127	0,0060	0,0000	0,0183	0,0429	0,0235	0,0158	0,0180

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	-0,0744	-0,0146	0,0145	0,0093	0,0000	-0,0010	0,0000	-0,0274	0,0459	0,0442	0,0000	0,0181	0,0212	0,0004	0,0000	0,0000	0,0134	0,0000
MP9	-0,0059	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0031	0,0000	0,0000	0,0460	0,0444	0,0048	0,0000	0,0252	0,0002	-0,0424	-0,0209	0,0000	-0,0019
MP10	0,0000	-0,0113	0,0081	0,0104	-0,0015	0,0000	0,0000	-0,0274	0,0000	0,0000	0,0146	0,0181	0,0000	0,0000	-0,0043	-0,0146	0,0086	-0,0070

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	-0,0010	-0,0021	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0146	0,0000	0,0040	0,0000	-0,0429	-0,0205	0,0000	-0,0070

					5										4	9		0
MP9	-0,0685	-0,0146	0,0145	0,0104	-0,0015	0,0000	0,0000	-0,0274	0,0000	0,0000	0,0009	0,0181	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0134	-0,0051
MP10	-0,0744	-0,0034	0,0064	0,0000	0,0000	-0,0003	0,0000	0,0000	0,0460	0,0444	0,0000	0,0000	0,0252	0,0004	-0,0380	-0,0063	0,0047	0,0000

Si+	Si-	Ci+
0,1087	0,0502	0,3158
0,0838	0,0813	0,4924
0,0441	0,1087	0,7113

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP5	Girassol	3
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

Aplicação do TOPSIS – Região Centro-Oeste

Matriz de desempenho das oleaginosas (oleaginosas - linhas; subcritérios - colunas)

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	6480	1008	1298	0,66	600	42,7	0	1	61,49	48,71	43	3	265	7950	0,18	0,04	11	5,8
MP8	3752	350	10000	4	2500	29,7	0,5	1	0	0	21,5	12	32	8330	12,3	0,58	47,77	30
MP9	2875	420	6000	1,5	600	49,5	1	0	0	0	35,5	12	1	8021	15,12	0,37	20,3	6,8
MP10	2450	863,3	2964	0,56	650	39,5	0	1	44137	14981	20	3	1674	8125	1,71	0,27	14,3	9,5
Ideal	mín	mín	máx	máx	mín	mín	mín	mín	máx	máx	máx	máx	máx	máx	mín	mín	máx	mín
Pesos	0,2265	0,0551	0,0300	0,0301	0,0544	0,0415	0,0350	0,0547	0,0460	0,0445	0,0625	0,0362	0,0292	0,0554	0,0482	0,0431	0,0656	0,0419

Matriz Normalizada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,4165	0,3816	0,0641	0,0982	0,1379	0,2646	0,0000	0,3333	0,0014	0,0032	0,3583	0,1000	0,1344	0,2452	0,0061	0,0317	0,1178	0,1113
MP8	0,2412	0,1325	0,4935	0,5952	0,5747	0,1840	0,3333	0,3333	0,0000	0,0000	0,1792	0,4000	0,0162	0,2569	0,4197	0,4603	0,5116	0,5758
MP9	0,1848	0,1590	0,2961	0,2232	0,1379	0,3067	0,6667	0,0000	0,0000	0,0000	0,2958	0,4000	0,0005	0,2474	0,5159	0,2937	0,2174	0,1305
MP10	0,1575	0,3268	0,1463	0,0833	0,1494	0,2447	0,0000	0,3333	0,9986	0,9968	0,1667	0,1000	0,8489	0,2506	0,0583	0,2143	0,1532	0,1823

Matriz Normalizada com Pesos dos Subcritérios

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,0943	0,0210	0,0019	0,0030	0,0075	0,0110	0,0000	0,0182	0,0001	0,0001	0,0224	0,0036	0,0039	0,0136	0,0003	0,0014	0,0077	0,0047
MP8	0,0546	0,0073	0,0148	0,0179	0,0312	0,0076	0,0117	0,0182	0,0000	0,0000	0,0112	0,0145	0,0005	0,0142	0,0202	0,0198	0,0335	0,0241
MP9	0,0419	0,0088	0,0089	0,0067	0,0075	0,0127	0,0233	0,0000	0,0000	0,0000	0,0185	0,0145	0,0000	0,0137	0,0249	0,0127	0,0143	0,0055
MP10	0,0357	0,0180	0,0044	0,0025	0,0081	0,0101	0,0000	0,0182	0,0459	0,0444	0,0104	0,0036	0,0248	0,0139	0,0028	0,0092	0,0100	0,0076

Valor desejado	0,0357	0,0073	0,0148	0,0179	0,0075	0,0076	0,0000	0,0000	0,0459	0,0444	0,0224	0,0145	0,0248	0,0142	0,0003	0,0014	0,0335	0,0047
Valor indesejado	0,0943	0,0210	0,0019	0,0025	0,0312	0,0127	0,0233	0,0182	0,0000	0,0000	0,0104	0,0036	0,0000	0,0136	0,0249	0,0198	0,0077	0,0241

Distância da solução desejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC-GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	-0,0587	-0,0137	0,0129	0,0150	0,0000	-0,0033	0,0000	-0,0182	0,0459	0,0442	0,0000	0,0109	0,0209	0,0006	0,0000	0,0000	0,0258	0,0000
MP8	-0,0190	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0237	0,0000	-0,0117	-0,0182	0,0459	0,0444	0,0112	0,0000	0,0244	0,0000	-0,0199	-0,0185	0,0000	-0,0195
MP9	-0,0062	-0,0015	0,0059	0,0112	0,0000	-0,0051	-0,0233	0,0000	0,0459	0,0444	0,0039	0,0000	0,0248	0,0005	-0,0246	-0,0113	0,0193	-0,0008
MP10	0,0000	-0,0107	0,0104	0,0154	-0,0006	-0,0025	0,0000	-0,0182	0,0000	0,0000	0,0120	0,0109	0,0000	0,0004	-0,0025	-0,0079	0,0235	-0,0030

Distância da solução indesejada

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC- GEE (SC18)	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
MP5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	-0,0237	-0,0017	-0,0233	0,0000	0,0001	0,0001	0,0120	0,0000	0,0039	0,0000	-0,0246	-0,0185	0,0000	-0,0195
MP8	-0,0397	-0,0137	0,0129	0,0154	0,0000	-0,0051	-0,0117	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0109	0,0005	0,0006	-0,0046	0,0000	0,0258	0,0000
MP9	-0,0525	-0,0123	0,0070	0,0042	-0,0237	0,0000	0,0000	-0,0182	0,0000	0,0000	0,0081	0,0109	0,0000	0,0001	0,0000	-0,0072	0,0065	-0,0187
MP10	-0,0587	-0,0030	0,0025	0,0000	-0,0231	-0,0026	-0,0233	0,0000	0,0459	0,0444	0,0000	0,0000	0,0248	0,0003	-0,0221	-0,0106	0,0023	-0,0165

Si+	Si-	Ci+
0,0982	0,0509	0,3415
0,0855	0,0560	0,3959
0,0812	0,0670	0,4523
0,0411	0,1006	0,7097

Sigla	Matéria-prima	Rank
MP5	Girassol	4
MP8	Palma	3
MP9	Pinhão-Manso	2
MP10	Soja	1

**ANEXO VI – Artigo referente ao capítulo 2 desta Tese de Doutorado, intitulado
“Assessing the current scenario of the Brazilian biojet Market”, publicado na revista
*Renewable and Sustainable Energy Reviews***

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118306877>



Renewable and Sustainable Energy Reviews

Volume 98, December 2018, Pages 426-438



Assessing the current scenario of the Brazilian biojet market

Lorena Mendes de Souza ^{a, c}, ,  Pietro A.S. Mendes ^b, Donato A.G. Aranda ^c

Highlights

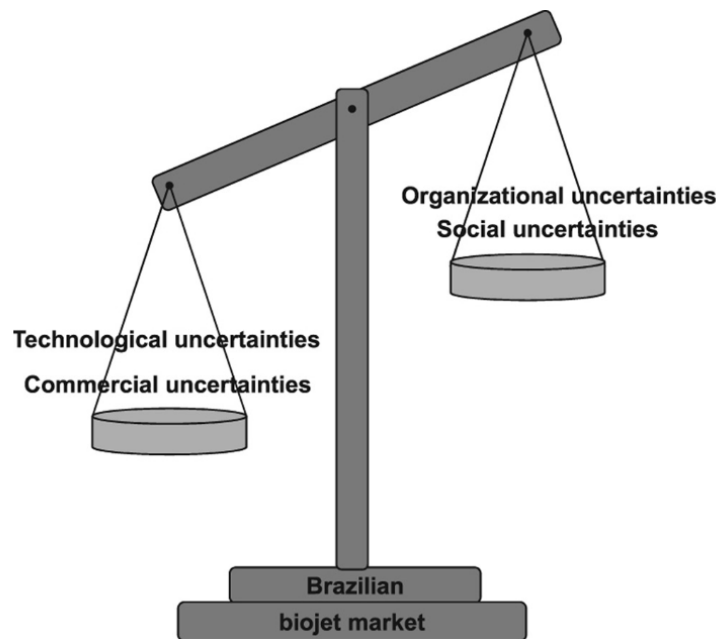
- The use of biojet can potentially reduce GHG emissions.
- Important initiatives are under way to promote the biojet market.
- There are uncertainties in the biojet market that need to be overcome.
- This study analyzes the uncertainties in the Brazilian biojet market.
- This study proposes recommendations to overcome the uncertainties.

Abstract

This study reviews the current scenario and the main uncertainties associated with the Brazilian biojet market. It also provides recommendations to mitigate the identified uncertainties. This study will enable the supply chain, research institutions, and **policymakers** to organize for better strategic action, identify research fields, and the need for R&D investment. As a global contribution, this assessment will share the Brazilian experience with other countries, thereby helping them to build a solid foundation for a new **biofuels** industry. Based on the evaluation, it is concluded that there are many technological and commercial uncertainties, such as lack of technical dominance in producing alternative **feedstocks** with higher energy density, lack of laboratory infrastructure for biojet certification, logistical issues, high cost of feedstocks and refining routes, and lack of public-private investment. On the other hand, organizational and social uncertainties are reduced. The following

recommendations are made to reduce the uncertainties: greater [operational planning](#) between stakeholders and the government, integration with national and international agencies, and improving Brazil's regulations. It is also suggested that the best regional feedstocks, productive routes, and locations for establishing productive facilities should be analyzed based on technical evaluation such as multicriteria analysis. Besides, the study suggests incentives and investments in storage and mixing facilities, and in laboratories that already have infrastructure for certifying aviation fuels.

Graphical abstract



Keywords

Biojet; Biojet market; Uncertainties