

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Herbert Carneiro Rangel

DISCUSSÕES SOBRE A BIOMASSA BRASILEIRA E PREVISÃO DE DEMANDA
DE BIODIESEL NO BRASIL POR ARIMA E REDE NEURAL ARTIFICIAL

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Setembro 2019

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Herbert Carneiro Rangel

DISCUSSÕES SOBRE A BIOMASSA BRASILEIRA E PREVISÃO DE DEMANDA
DE BIODIESEL NO BRASIL POR ARIMA E REDE NEURAL ARTIFICIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da
Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como parte das
exigências para obtenção do GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, D.Sc.
Coorientador: Prof. Milton Erthal Júnior, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Setembro 2019

Catlogação na Fonte

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 002/2020

Rangel, Herbert Carneiro.

Discussões sobre a biomassa brasileira e previsão de demanda de biodiesel no Brasil por arima e rede neural artificial. / Herbert Carneiro Rangel. – 2019.

114 f.

Orientador: Cláudio Luiz Melo de Souza.

Coorientador: Milton Erthal Júnior.

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

1. Bionergia. 2. Biocombustível. I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 620.91

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogirolamo CRB 7^a-6723

DISCUSSÕES SOBRE A BIOMASSA BRASILEIRA E PREVISÃO DE DEMANDA
DE BIODIESEL NO BRASIL POR ARIMA E REDE NEURAL ARTIFICIAL

Herbert Carneiro Rangel

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da
Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como parte das
exigências para obtenção do GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovado em 23/09/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Cláudio Luiz Melo de Souza, D.Sc. - Orientador
Universidade Candido Mendes - UCAM

Prof. Milton Erthal Júnior, D.Sc. – Coorientador
Universidade Candido Mendes – UCAM

Prof. Aldo Shimoya, D.Sc.
Universidade Candido Mendes – UCAM

Prof. Niraldo José Ponciano, D.Sc.
Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Setembro 2019

DEDICATÓRIA

À minha amada esposa Ana Paula que muito me incentivou, e aos meus filhos Herbert e Gabriel, pelo apoio, paciência e incentivo em todas as etapas desse fabuloso empreendimento acadêmico e de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à DEUS, aos meus pais Amaro Bellarmino Rangel e Helvia Carneiro Rangel pela educação a mim transmitida e pelos bons exemplos, na qual me asseguram ser o que sou.

Ao meu orientador, Professor Cláudio Luiz Melo de Souza pela paciência, compreensão, sabedoria e dedicação durante esta caminhada.

Aos professores do mestrado pelo constante incentivo à pesquisa.

À Universidade Candido Mendes - UCAM pelo profissionalismo institucional.

A todos os amigos do mestrado, pelas horas de estudo e união, em especial aos fiéis companheiros de jornada.

Aos funcionários da UCAM de um modo geral, pois todos são muito gentis.

RESUMO

Os combustíveis fósseis são os principais geradores de energia primária no mundo bem como são responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa no meio ambiente. Assim, a bioenergia tem relevante importância nesse contexto com o papel de ajudar a redução destes gases. Com o objetivo de contribuir com esse assunto, foi realizado um estudo sobre a bioenergia brasileira e as transformações da biomassa e um levantamento bibliométrico de publicações científicas relacionadas aos temas biomassa, biodiesel e bioenergias no Brasil, tomando como fonte de dados as bases Scopus e Web of Science. Para finalizar, realizado estudo sobre a produção e demanda de biodiesel no Brasil entre 2006 e 2018, utilizando os principais modelos quantitativos com métodos baseados em séries temporais analisadas por modelos tipo *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA), usados no planejamento estratégico da produção, estudando-se curvas de previsão, elegendo-se por parcimônia, o método da média móvel simples por apresentar menores valores de desvio médio absoluto e tendência de viés estatístico entre dados observados e estimados. Adicionalmente foi utilizada uma arquitetura de rede neural artificial (RNA) para testar os resultados observados e validação de modelos quantitativos.

Palavras-chave: Bioenergia. Biocombustível. Curvas de Demanda.

ABSTRACT

Fossil fuels are the main primary energy generators in the world and are responsible for much of the greenhouse gas emissions in the environment. Thus, bioenergy is relevant in this context with the role of helping to reduce these gases. In order to contribute to this subject, a study was conducted on Brazilian bioenergy and biomass transformations and a bibliometric survey of scientific publications related to biomass, biodiesel and bioenergy in Brazil, based on Scopus and Web databases. of Science. Finally, a study on the production and demand of biodiesel in Brazil between 2006 and 2018, using the main quantitative models with time series methods analyzed by Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) models, used in the strategic production planning, studying prediction curves, choosing by parsimony, the simple moving average method for presenting lower values of absolute mean deviation and tendency of statistical bias between observed and estimated data. Additionally, an artificial neural network (RNA) architecture was used to test the observed results and to validate quantitative models

Keywords: Bioenergy. Biofuel. Demand Curves.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS FONTES DE BIOMASSAS, PROCESSOS DE CONVERSÃO E ENERGÉTICOS PRODUZIDOS	24
FIGURA 2 - PROCESSO BÁSICO DE TRANSFORMAÇÃO DE ÓLEOS EM BIODIESEL	26
FIGURA 3 - CICLO RANKINE.....	27
FIGURA 4 - RESULTADO DA BIBLIOMETRIA USANDO BIOMASS SEM O TERMO BRAZIL NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE (2018)	42
FIGURA 5 - RESULTADO DA BIBLIOMETRIA USANDO BIOMASS COM O TERMO BRAZIL NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE (2018).....	42
FIGURA 6 - RESULTADO DA BIBLIOMETRIA USANDO BIODIESEL SEM O TERMO BRAZIL NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE (2018).....	42
FIGURA 7 - RESULTADO DA BIBLIOMETRIA USANDO BIODIESEL COM O TERMO BRAZIL NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE (2018)	43
FIGURA 8 - SÉRIE TEMPORAL DAS PUBLICAÇÕES SOBRE BIOMASSA E BIOENERGIA.....	44
FIGURA 9 - SÉRIE TEMPORAL DAS PUBLICAÇÕES SOBRE BIODIESEL E BIOENERGIA.....	44
FIGURA 10 - ÁREA DE ESTUDO E OS DOCUMENTOS PUBLICADOS SOBRE OS TEMAS BIODIESEL E BIOMASSA NA BASE SCOPUS	46
FIGURA 11 - ÁREA DE ESTUDO E OS DOCUMENTOS PUBLICADOS SOBRE OS TEMAS BIODIESEL E BIOMASSA NA BASE WOS.....	47
FIGURA 12 - INSTITUIÇÕES E OS NÚMEROS DE PUBLICAÇÕES CITADAS SOBRE OS TEMAS BIODIESEL E BIOMASSA NA BASE SCOPUS	47
FIGURA 13 - INSTITUIÇÕES E OS NÚMEROS DE PUBLICAÇÕES CITADAS SOBRE OS TEMAS NA BASE WOS	48
FIGURA 14 - PAÍSES E OS DOCUMENTOS PUBLICADOS SOBRE OS TEMAS BIOMASSA E BIODIESEL NA BASE SCOPUS.....	48
FIGURA 15 - PAÍSES E OS DOCUMENTOS PUBLICADOS SOBRE OS TEMAS BIOMASSA E BIODIESEL NA BASE WOS	49
FIGURA 16 - CONSUMO BRASILEIRO DE ENERGIA FINAL POR FONTE, 2018	73
FIGURA 17 - FASES DO PROCESSO DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	79
FIGURA 18 - ARQUITETURA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	84
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO E CAPACIDADE PRODUTIVA DE BIODIESEL (B100) POR REGIÃO DA FEDERAÇÃO, SEGUNDO O BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL.....	86
FIGURA 20 - PREÇOS DE BIODIESEL (B100) E DIESEL PARA VENDA A PARTIR DO PRODUTOR	92
FIGURA 21 -TENDÊNCIA DE VIÉS PARA A PREVISÃO DE DEMANDA DE BIODIESEL	98
FIGURA 22 - DESVIO MÉDIO PADRÃO PARA A PREVISÃO DE DEMANDA DE BIODIESEL.....	99
FIGURA 23: PRODUÇÃO DE BIODIESEL B100 - RESULTADO E TESTE DA REDE NEURAL.....	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO (%) DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA.....	22
TABELA 2 - PRINCIPAIS ATOS LEGAIS PROMOVIDOS NO ÂMBITO DA REFORMA DO SETOR ELÉTRICO COM USO O USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	28
TABELA 3 - PRINCIPAIS ATOS LEGAIS PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	30
TABELA 4 - REGISTRO DE PUBLICAÇÕES NA BASE SCOPUS (B1) E WEB OF SCIENCE (B2). .	41
TABELA 5 - NÚMERO DE REGISTROS NA BASE SCOPUS E WOS.....	51
TABELA 6 - CONTRIBUIÇÃO MUNDIAL DAS FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA EM 2006 E 2016	71
TABELA 7 - VARIAÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA PRIMÁRIA NO BRASIL EM 2016 E 2017.....	72
TABELA 8 - CONSUMO DAS FONTES FINAIS DE ENERGIA NO BRASIL ENTRE 2016/2017.....	74
TABELA 9 - PROPRIEDADES COMPLEMENTARES ATRIBUÍDAS AO BIODIESEL EM COMPARAÇÃO AO DIESEL MINERAL	76
TABELA 10 - ESPECIFICAÇÕES DE ALGUNS ÓLEOS VEGETAIS "IN NATURA" E DO ÓLEO DIESEL.....	87
TABELA 11 - PRODUÇÃO ANUAL DE BIODIESEL POR MATÉRIA-PRIMA, DECÊNIO 2006/2016 .	90
TABELA 12 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIODIESEL POR REGIÃO DA FEDERAÇÃO DE 2006/2016.....	93
TABELA 13 - DEMANDA BRASILEIRA DE ÓLEO DIESEL POR REGIÃO DA FEDERAÇÃO DE 2006/2016.....	94
TABELA 14 - PROJEÇÃO MENSAL DA DEMANDA BRASILEIRA DE BIODIESEL (MIL m ³) PARA 2019, PELO MÉTODO DA MÉDIA MÓVEL SIMPLES	101

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DE UM ESTUDO SISTÊMICO.....	39
QUADRO 2 - ARTIGOS SELECIONADOS DA BASE SCOPUS SOBRE O TEMA BIOMASSA	52
QUADRO 3 - ARTIGOS SELECIONADOS DA BASE WEB OF SCIENCE SOBRE O TEMA BIODIESEL	53

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - MÉDIA MÓVEL SIMPLES	79
EQUAÇÃO 2 - PONDERAÇÃO DA MÉDIA ARITMÉTICA	79
EQUAÇÃO 3 - ERRO SIMPLES	80
EQUAÇÃO 4 - DESVIO MÉDIO ABSOLUTO	80
EQUAÇÃO 5 - DESVIO PADRÃO DOS ERROS DE PREVISÃO	81
EQUAÇÃO 6 - TENDÊNCIA DE VIÉS	81
EQUAÇÃO 7 - EQUAÇÃO MÉDIA MÓVEL PONDERADA	82
EQUAÇÃO 8 - EQUAÇÃO DE PREVISÃO PARA O PERÍODO	82
EQUAÇÃO 9 - EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR	82
EQUAÇÃO 10 – MODELO DE REGRESSÃO LINEAR.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
ANP	AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO
APROBIO	ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL
ARIMA	AUTO REGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE
BEN	BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL
BNDS	BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL
BTL	BIOMASSS TO LIQUID
BOE	BARRIS DE ÓLEO EQUIVALENTE
CEI	COMISSÃO ECONÔMICA INTERMINISTERIAL
CIDE	CONTRIBUIÇÃO DE INTERVENÇÃO NO DOMÍNIO ECONÔMICO
CNPE	CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA
COFINS	CONTRIBUIÇÃO PARA FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL
COP	CONFERÊNCIA DAS PARTES
COOPERBIO	COOPERATIVA MISTA DE PRODUÇÃO, INDUSTRIALIZAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL
CO ₂	DIÓXIDO DE CARBONO – GÁS CARBÔNICO
DEM	DEMANDA MENSAL
Dluc	DIRECT LAND USE CHANGE
DMA	DESVIO MÉDIO ABSOLUTO
EIA	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL
EPE	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
GEE	GASES DO EFEITO ESTUFA
GTI	GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL
IEA	INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
ICMS	IMPOSTO SOBRE OPERAÇÕES RELATIVO À CIRCULAÇÃO DE MERCADORIA
IPCC	INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
MAE	MERCADO ATACADISTA DE ENERGIA
MAPA	MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIAE ABASTECIMENTO
MDA	MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO
MDL	MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO
MME	MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
Mtep	MIL TONELADAS EQUIVALENTE DE PETRÓLEO
Mtoe	MIL TONELADAS DE ÓLEO EQUIVALENTE
OCDE	ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
OVEG	PROGRAMA NACIONAL DE ÓLEOS VEGETAIS
PASEP	PROGRAMA DE FORMAÇÃO DO PATRIMÔNIO DO SERVIDOR
PDE	PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA

PIS	PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO SOCIAL
PNPB	PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIOCOMBUSTÍVEL
PRE	PREVISÃO ESTIMADA PELO MÉTODO
PROINFA	PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS
PTG	POWER TO GAS
REFAP VEM	REFINARIA ALBERTO PASQUALINI SOCIEDDE ANÔNIMA
RENOVABIO	POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEL
RNA	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS
SIAE	SISTEMA INTEGRADO DE ALIMENTO E ENERGIA
SIN	SISTEMA INTEGRADO NACIONAL
Tg	TERA GRAMA
WF	WATER FOOTPRINT
WOS	WEB OF SCIENCE

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	SUSTENTABILIDADE DA BIOENERGIA BRASILEIRA E ROTAS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOMASSAS	19
2.1	– INTRODUÇÃO	19
2.2	BIOMASSA, BIOENERGIA E ROTAS DE TRANSFORMAÇÕES.....	19
2.3	MARCOS LEGAIS.....	27
2.3.1	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE BIOMASSAS	27
2.3.2	PRODUÇÃO DE BIODIESEL.....	29
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
2.5	REFERÊNCIAS.....	33
3	BIBLIOMETRIA SOBRE BIOMASSA, BIODIESEL E SUSTENTABILIDADE NO BRASIL.....	37
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.3.1	CARACTERÍSTICAS E VIABILIDADES DA BIOMASSA BRASILEIRA.....	53
3.3.2	DISCUSSÕES SOBRE O BIODIESEL BRASILEIRO	59
3.4	CONCLUSÕES	63
3.5	REFERÊNCIAS.....	64
4	DEMANDA DE BIODIESEL NO BRASIL: PRIMEIRO DECÊNIO	69
4.1	INTRODUÇÃO	69
4.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	70
4.2.1	PANORAMA ENERGÉTICO GLOBAL E BRASILEIRO.....	70
4.2.2	BIODIESEL NO BRASIL E SEUS MARCOS LEGAIS	75
4.3	METODOLOGIA	78
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.4.1	PRODUÇÃO DE	85
	BIODIESEL E MATÉRIA-PRIMA	85
4.4.1.1	PRODUÇÃO	85

4.4.1.2 MATÉRIA-PRIMA.....	88
4.4.1.3 PREÇOS E LEILÕES DE BIODIESEL	91
4.4.1.4 PRODUÇÃO E DEMANDA.....	92
4.5 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDAS.....	95
4.6 RESULTADO DO TREINAMENTO E TESTE DA REDE NEURAL.....	102
4.7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
4.8 LISTA DE ANEXOS.....	107
4.8.1 ANEXO 1	107
4.8.2 ANEXO 2	108
4.8.3 ANEXO 3	109
4.8.4 ANEXO 4	110
4.8.5 ANEXO 5	111
4.9 REFERÊNCIAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento das sociedades no campo social e econômico requer oferta de energia e grande parte desta provém de combustíveis fósseis. Este tipo de fonte de energia tem trazido preocupações para a sociedade mundial em função dos malefícios do uso dos combustíveis fósseis, principais fontes de energia primária do mundo e somado a isso, as pressões mundiais para a preservação ambiental e diminuição dos gases de efeito estufa (GEEs). Esses são os motivos principais para que governos mundiais busquem maior produção e consumo de energias renováveis, inclusive da biomassa (GOLDEMBERG, 2009; CARBONARI, 2012, MARAFON, et al., 2017).

A diversificação da matriz energética é fundamental pois requer menor dependência do petróleo com suas variações cambiais e da energia hidrelétrica, que cada vez mais, sofre com sazonalidades. A utilização da bioenergia pode ser realizada por aproveitamento das várias fontes de biomassas já disponíveis e pouco aproveitada, bem como pelo incentivo à produção de novas fontes de matéria-prima para a geração de bioenergia em cadeias produtivas bem estruturadas (PHILIPPI; DOS REIS, 2016).

Os biocombustíveis brasileiros abriram caminhos para a bioenergia em geral, que vem crescendo nas últimas décadas, principalmente com a criação de novas legislações para o setor, quanto à produção, logística reversa, distribuição, incentivos tributários fiscais, incentivo ao associativismo, as inovações tecnológicas de conversão energética (pirólise, biodigestão anaeróbica, gaseificação, hidrólise enzimática, torrefação, dentre outros), melhoramento genético de culturas, principalmente gramíneas como o capim-elefante e o sorgo biomassa, e florestas energéticas de eucaliptos e pinus, dentre tantas iniciativas (RUIZ, 2015; MARAFON et al., 2017; ROCHA et al., 2017, PEDROSO et al., 2018).

Dentre as diferentes tecnologias de conversão energética da biomassa, o Biodiesel tem particular importância para o Brasil, contribuindo para redução da poluição essencialmente para o setor de transporte de cargas, distribuição de renda cooperativada entre pequenos agricultores, movimentação de recursos no setor agroindustrial e da pesquisa agrícola, ainda que em contra senso, sua utilização

demanda ocupação de áreas agricultáveis de importantes biomas brasileiros, subsídios governamentais, marcos legais regulamentares de rigoroso controle econômico, dentre outros importantes temas aqui discutidos nesse trabalho (ANP 2012).

1.2 JUSTIFICATIVA

O aquecimento global tem forçado as sociedades a modificar seu posicionamento em relação ao meio ambiente. O desenvolvimento dos países e das sociedades passa pela dependência por grande quantidade de energia e esta é proveniente, na sua maioria, por meio de fontes fósseis. A busca por fontes de energias renováveis tem crescido, principalmente devido aos novos paradigmas de sustentabilidade socioambiental mundial.

A biomassa apresenta relevante papel nesse contexto, por causa da sua abundância no planeta e devido ao grande potencial para a sua produção. Dela são extraídos os biocombustíveis líquidos, sólidos ou gasosos e estes serão os futuros substitutos dos combustíveis fósseis.

As biomassas são consideradas renováveis, pois ao serem formadas pela fotossíntese, sequestram o carbono do meio ambiente e liberam o oxigênio. Quando queimadas liberam novamente o CO₂. Essa linha de raciocínio é válida, ainda que não esteja tão linearizada, mas assim pode ser resumida. O caso do biodiesel brasileiro foi utilizado nesse estudo para o entendimento de que, ainda que necessário na atual conjuntura brasileira apresenta sérias críticas e necessidades de correções que distorcem essa linearidade de raciocínio.

Este trabalho foi pautado então no estudo das biomassas, suas transformações em biocombustíveis e estudo específico do biodiesel e sua demanda de consumo brasileiro por métodos tradicionais de ARIMA e via RNAs.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste artigo é contribuir para o debate nacional sobre o setor de geração de bioenergia de forma sustentável, compilando e descrevendo informações sobre os tipos e transformações da biomassa em energia, os principais tratamentos e tecnologias utilizadas, redução de custos operacionais, principais marcos legais, previsão de demanda de biodiesel e outros aspectos relevantes para a expansão da produção de bioenergia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as realidades e perspectivas da participação da biomassa na matriz energética brasileira, estudando as características das diversas biomassas, suas transformações em bioenergias, bem como os marcos legais que envolvem o tema;

- Analisar as contribuições científicas sobre uso das biomassas para a produção de energia por meio de um levantamento bibliométrico relacionadas ao tema;

- Analisar as relações entre conformidades ambientais e a matriz energética brasileira, dando enfoque à demanda de biodiesel brasileiro analisando a série temporal por meio de modelos de ARIMA e RNA.

1.3.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em capítulos, sendo estes apresentados a seguir:

➤ Capítulo 1 – Introdução

Esta seção informa ao leitor quanto a necessidade do estudo em questão e os fundamentos que originaram o tema proposto na dissertação.

➤ Capítulo 2 – Sustentabilidade da bioenergia brasileira e rotas de conversão energética de biomassas

Este capítulo inicia a efetivação dos objetivos da pesquisa, apresentando o relevante papel no uso das biomassas e a produção de bioenergias pelas transformações das biomassas em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, bem como elencar os principais marcos legais do biodiesel brasileiro.

➤ Capítulo 3 – Estudo sistêmico sobre biomassa, biodiesel e sustentabilidade no Brasil

Este capítulo apresenta um mapeamento da pesquisa científica sobre os estudos da biomassa e das bioenergias produzidas por meio de suas transformações. Utilizando o método bibliométrico, várias características de publicação foram obtidas, tais como ano de publicação, autores, afiliação institucional, tópicos de conhecimento, principais periódicos e seus assuntos. Estes resultados não só forneceram uma melhor compreensão da pesquisa, bem como influenciaram no direcionamento desta.

➤ Capítulo 4 – Demanda de biodiesel no Brasil: Primeiro decênio

Este capítulo introduz o biodiesel como uma das formas de transformações da biomassa, informa sobre os produtos utilizados e os métodos para sua obtenção, seus principais marcos legais, os leilões utilizados para as compras deste combustível e apresenta estudo de demanda de um período de 2006 a 2018, analisando modelos de previsão baseadas em séries temporais utilizando modelos tipo ARIMA e RNAs.

2 SUSTENTABILIDADE DA BIOENERGIA BRASILEIRA E ROTAS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOMASSAS

2.1 – INTRODUÇÃO

Seguindo diretrizes internacionais, o Brasil tem realizado esforços públicos e privados para a adoção de fontes renováveis de energia em vários setores produtivos a fim de diversificar a sua matriz energética. O uso e produção de biomassa para fins energéticos é uma potencial proposta para que o setor agroindustrial brasileiro alcance maior grau de sustentabilidade. Além de mitigar as emissões de GEEs do setor, a diversificação da matriz é fundamental para a segurança energética nacional, que requer menor dependência do petróleo com suas variações cambiais e da energia hidrelétrica, que cada vez mais, é atingida por períodos prolongados de estiagens. A utilização da bioenergia brasileira pode ser realizada, inicialmente, por meio do aproveitamento das várias fontes de biomassa já disponíveis e pouco aproveitadas, bem como pelo incentivo à produção de novas fontes de matéria-prima para a geração de bioenergia em cadeias produtivas bem estruturadas (PHILIPPI; DOS REIS, 2016).

Os biocombustíveis brasileiros abriram caminhos para a bioenergia em geral, que vem crescendo nas últimas décadas, com a criação de novas legislações para o setor, no que diz respeito à produção, logística reversa, distribuição, incentivos tributários fiscais, incentivo ao associativismo, as inovações tecnológicas de conversão energética (pirólise, biodigestão anaeróbica, gaseificação, hidrólise enzimática, torrefação, dentre outras), melhoramento genético de culturas, principalmente gramíneas como o capim-elefante e o sorgo biomassa, e florestas energéticas de eucaliptos e pinus, dentre tantas iniciativas (RUIZ, 2015; MARAFON et al., 2017; ROCHA et al., 2017, PEDROSO et al., 2018)

2.2 BIOMASSA, BIOENERGIA E ROTAS DE TRANSFORMAÇÕES

A busca pela sustentabilidade é presente no mundo atual e há uma necessidade urgente de uma mudança na matriz de geração de energia no mundo. Diversas são as tecnologias que aparecem como alternativas para a mudança nessa

matriz. Nela, a biomassa entra como uma fonte renovável e importante para substituição do uso dos combustíveis fósseis e derivados (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Biomassa é a matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia, originados a partir da matéria orgânica de vegetais e animais, que podem ser utilizados para produção de bioenergia. Dentre as vantagens de seu uso na produção de bioenergia poderiam elencar-se o baixo custo, o fato de ser renovável, de permitir o reaproveitamento de resíduos e de ser bem menos poluente que as outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. (BERMANN, 2008).

A biomassa vegetal é renovada através do ciclo do carbono. Uma vez queimada, ela libera CO₂ na atmosfera. A fotossíntese das plantas transforma o CO₂ em carboidratos e libera o O₂. Desta forma, a atmosfera é pouca alterada com o uso da biomassa, desde que seja realizada de forma controlada e não predatória (BNDS, 2010).

Segundo Ventura Filho (2013) nos próximos dez anos, o planejamento energético do Ministério das Minas e Energia (MME), considerando os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2021, indica uma taxa média de crescimento do consumo de eletricidade da ordem de 4,9% ao ano, em cenário de PIB de 4,7% ao ano. Sendo assim, há necessidade de mudança na matriz de geração de energia com o uso de energia renovável. Segundo dados publicados em março de 2017, do Ministério das Minas e Energias, a biomassa registrou uso de 8,8 % em 2016, de toda energia necessária para movimentação da economia nacional. Destaque para o bagaço da cana de açúcar que corresponde a 78% desta biomassa. Isso mostra a importância que a biomassa tem na matriz atual para produção de energia.

A bioenergia é o nome dado para a energia obtida através da biomassa. Esta energia pode ser usada para se gerar calor, eletricidade ou combustível para motores de combustão em geral. Também é considerada a energia quimicamente armazenada na biomassa, ou seja, pode ser interpretada como energia solar aprisionada por se originar nos processos de fotossínteses. As principais fontes de bioenergia são provenientes de matérias primas renováveis, como madeira, produtos agrícolas e dejetos orgânicos. Dentre os combustíveis bioenergéticos destaca-se o etanol, o metanol, o biodiesel, entre outros. Estes representam uma fonte alternativa de combustível, perante aos combustíveis fósseis, constituindo-se assim, atualmente, um importante segmento das denominadas energias renováveis, com fração cada vez

mais representativa entre as matrizes energéticas em todo o mundo (LEMOS; STRADIOTO, 2012).

A utilização da biomassa para geração de bioenergia pode ser feita na sua forma bruta ou por diferentes rotas de transformação. Madeira de reflorestamento, produtos e resíduos agrícolas que antes não eram aproveitados e sim descartados e queimados, como é o caso da casca de arroz, de café, bagaço da cana, resíduos florestais como eucalipto e pinus, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás de aterros sanitários e biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível em diferentes rotas de transformação (PACHECO, 2006).

A biomassa é o elemento principal de diversos novos tipos de combustíveis e fontes de energia como o *Biomass-to-Liquids* (BTL), o biodiesel, o bio-óleo e o biogás. O BTL consiste em um combustível líquido obtido através da pirólise rápida, que consiste em uma reação química de decomposição por meio de calor. Esse método é responsável pela transformação da biomassa em gás e, em seguida, através de um processo químico, transformado em líquido, dando origem ao biocombustível denominado BTL (BOERRIGTER, 2006).

A mais abundante fonte renovável de recurso biológico da natureza é a da biomassa que pode ser explorada via a biomassa sacarina, a biomassa lignocelulósica e a biomassa amilácea, bem como as oleaginosas. A biomassa sacarina é proveniente de vegetais sacarosos e tubérculos, tais como a cana de açúcar e a beterraba açucareira (MANOCHIO, 2014). A biomassa lignocelulósica é o nome dado para um conjunto de macromoléculas orgânicas complexas constituídas muitas vezes de pectinas, ligninas, hemicelulose e celuloses, as quais podem estar ligadas ou não entre si (VASSILIEV, et al., 2010). Estão presentes na madeira, bagaço de cana, resíduos agrícolas, gramíneas, resíduos de celulose (TABELA 1). A biomassa amilácea é proveniente de culturas amiláceas como exemplo o milho, a mandioca e a batata. As biomassas oleaginosas são as usadas para produção de biodiesel e os principais exemplos são soja, algodão e pinhão-manso, dentre outras (SANTOS, 2012).

Ao se estudar o uso de biomassas para energia há necessidade de se conhecer as suas propriedades energéticas. Uma das propriedades é retratada em forma de poder calorífico, que representa a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da biomassa. Segundo Brand (2010), o

poder calorífico é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética dos combustíveis de biomassa (TABELA 1).

Tabela 1. Composição (%) da biomassa lignocelulósica e seu poder calorífico.

Biomassa	Celulose	Hemicelulose	Lignina	PCS (MJ/Kg)
Palha de Cana	40-44	30-32	22-25	17,7
Bagaço de Cana	32-48	19-24	23-32	18,8
Madeira Dura	43-47	25-35	16-24	19,1
Madeira Mole	40-44	25-29	25-31	20,5
Palha de Arroz	43	26	16	13,4
Talo de Milho	35	25	35	18,3
Espiga de Milho	45	35	15	17,5

Fonte: Adaptado pelo autor, conforme Gómez, et al. (2008), Quirino, et al. (2005).

Segundo Lal (2004), a queima de combustíveis fósseis representa aproximadamente 82% das emissões dos gases causadores do efeito estufa. Então, seja pela questão ambiental global, seja pela importância em reduzir a dependência externa de energia de outros países, o uso de biocombustíveis representa uma alternativa viável na substituição de combustíveis fósseis, e assim, há uma busca bem apropriada pela bioenergia proveniente de biomassas.

A biomassa tem destaque pela abundância, alta densidade energética, pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte, maturidade tecnológica tanto para plantio e colheita quanto para geração em bioenergia, maior competitividade econômica comparada às outras fontes de energias, além da vantagem da utilização na permuta dos combustíveis fósseis pelo combustível da biomassa entre equipamentos das indústrias. Dessa maneira, a substituição das formas de obtenção de energia não teria impacto tão grande nas indústrias (CASTRO; DANTAS, 2008).

Parte considerável de um vegetal não é amido nem açúcar, mas sim fibras que não são oxidadas na fermentação tradicional, como é o caso da cana-de-açúcar, que apresenta 2/3 de sua massa na forma de fibra não fermentável. Desta forma, grande porcentagem da massa desse tipo de substrato é desperdiçada em termos de geração de etanol (LEITE; CORTEZ, 2004). Porém pode ser utilizada na produção de etanol de segunda geração (2G), como exemplificado a seguir.

De acordo com Zheng, et al. (2009), há um grande esforço da comunidade científica para o desenvolvimento de novos processos economicamente viáveis para o aproveitamento do componente lignocelulósico da biomassa. Como exemplo o caso dos resíduos agrícolas (palha e bagaço de cana-de-açúcar, palha de trigo e resíduos

de milho) e resíduos florestais (pó e restos de madeira), assim como o capim-elefante para produção de etanol combustível (etanol de segunda geração).

A oferta de biomassa no Brasil tem um potencial enorme devido à extensão do país bem como sua característica tropical, área agricultável, incidência solar, clima e agroindústria consolidada. O Brasil possui destaque na produção de biocombustível, especificamente o biodiesel e etanol, porém, há ainda potencial não utilizado de produção de bioenergias proveniente de biomassas, com alto potencial para uso na produção de energia elétrica. Conforme dados do Balanço Energético Nacional 2017, as fontes de energia elétrica no Brasil são representadas por 81,7% de renováveis e a biomassa atende com 8,8 % em 2016, sendo basicamente utilizadas lenha, óleos vegetais e carvão vegetal.

Conforme Zhang (2008), um bilhão de toneladas de biomassa seca produz entre 80-130 bilhões de galões de etanol celulósico. Porém, é necessário utilizar de forma eficaz todas as frações das matérias-primas, especialmente, a celulose, hemicelulose e lignina, para obter sistemas que sejam sustentáveis e economicamente viáveis.

De acordo com Ripoli (2000), uma tonelada de palha equivale a algo entre 1,28 bpe (barris de petróleo equivalentes). Conseqüentemente, a não utilização dessa biomassa é um grande desperdício energético.

A crescente demanda energética, principalmente de combustíveis para a indústria, associada aos problemas relacionados a uso de combustíveis fósseis e ao meio ambiente, tem direcionado o foco para muitos estudos relacionados a uso de bioenergia e principalmente para os biocombustíveis. Os biocombustíveis apresentam as vantagens de serem obtidos a partir de biomassas abundantes e baratas, redução da emissão de CO₂, uma vez que a produção da biomassa reduz a quantidade deste gás e os biocombustíveis são também biodegradáveis (BRASIL, 2018).

Outro ponto de destaque é a produção do biocombustível denominado biodiesel que são provenientes das plantas oleaginosas tais como soja, milho, algodão, dendê, palma, mamona, dentre outras, bem como também gordura animal. As matérias primas possuem características diferentes em relação à disponibilidade, produção dos óleos, absorção do CO₂ da atmosfera, custos e produção (BRASIL, 2016).

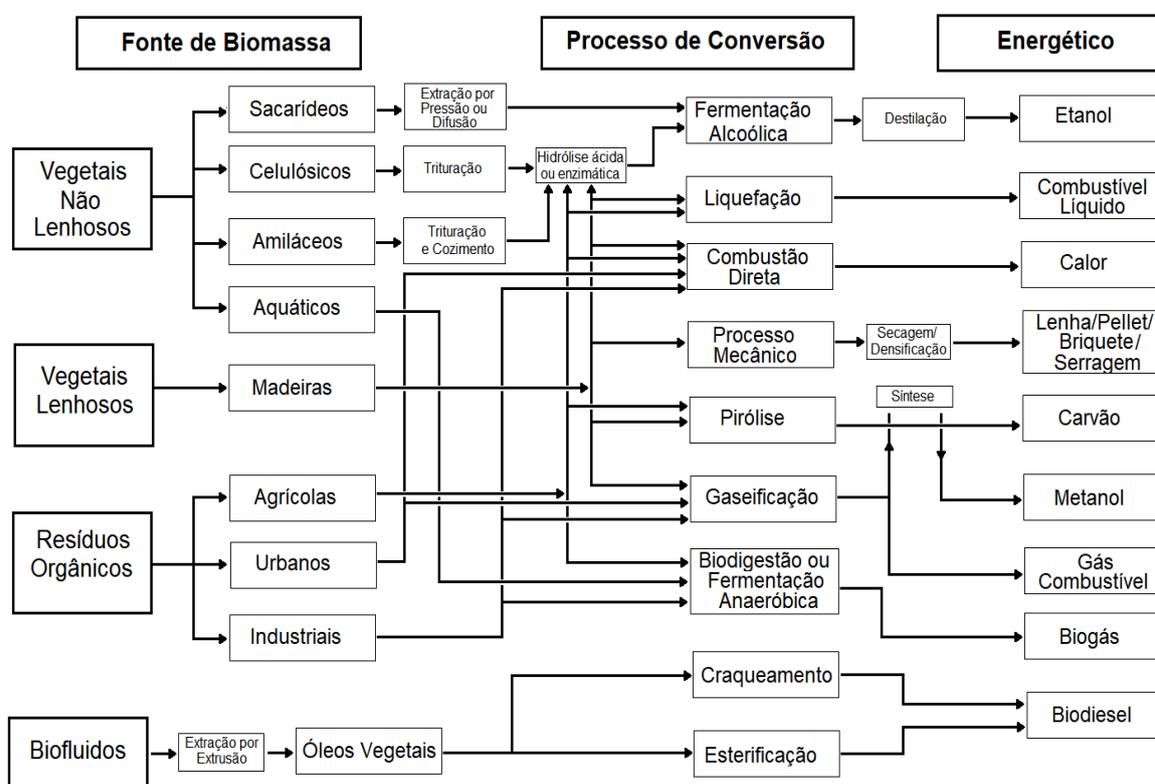
Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP, 2012) o biodiesel tem por definição um composto de ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias

graxas, de gorduras de origem vegetal (oleaginosas) ou animal. O biodiesel apresenta uma vantagem enorme em relação ao diesel derivado de petróleo em virtude da importância para a indústria, para o setor agrícola, setor econômico do país, valorização de mão de obra rural e de profissionais na área química e vantagens para o meio ambiente e principalmente para a saúde humana. Durante sua reação de combustão a quantidade de dióxido de carbono liberada pela queima é menor em relação aos combustíveis fósseis. Porém, o biodiesel também possui algumas desvantagens que precisam ser minimizadas para a sua produção.

As principais são a dificuldade de produção, adaptações mecânicas em equipamentos para sua utilização, custo de produção maior que os combustíveis normais, profissionais especializados, equipamentos sofisticados, além da questão da segurança na manipulação dos solventes para sua produção, pois envolvem o uso do metanol e bases fortes, bem como no tratamento dos rejeitos (AHMAD, et al, 2010).

As formas de transformação das biomassas em bioenergias envolvem processos químicos, físicos, biológicos e térmicos, conforme pode ser verificado no fluxograma a seguir (FIGURA 1).

Figura 1 – Fluxograma das Fontes de Biomassas, Processos de Conversão e Energéticos Produzidos



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme o Balanço Energético Nacional (BEN/MME, 1982).

Quanto à tipologia existem dois grandes grupos de biomassa, o primeiro refere-se à biomassa tradicional, composta pela lenha e resíduos naturais. O segundo grupo, chamado de biomassa moderna, é aquela produzida em processos tecnológicos, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e pellets, cogeração termelétrica e cultivos energéticos, a exemplo das florestas plantadas e gramíneas geneticamente melhoradas para esse fim (BERMANN, 2008).

Os seus principais usos como insumo energético são: produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais), biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores a combustão) e geração de energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformados em energia mediante diferentes processos de conversão (MARAFFON, et al., 2016).

A produção do biocombustível proveniente da biomassa açucarada passa por um processo de fermentação com leveduras num meio aquoso açucarado onde as leveduras transformam o açúcar em etanol. Os açúcares já estão disponíveis na biomassa como é o caso da cana de açúcar e da beterraba. O processo de obtenção do açúcar da cana se dá através da extração do caldo da cana de açúcar por meio de moagem. No caso da beterraba a extração do açúcar se dá através da lavagem com água quente da beterraba cortada em fatia bem finas. Estas são tecnologias muito conhecidas e dominadas há muitos anos (MANOCHIO, 2014).

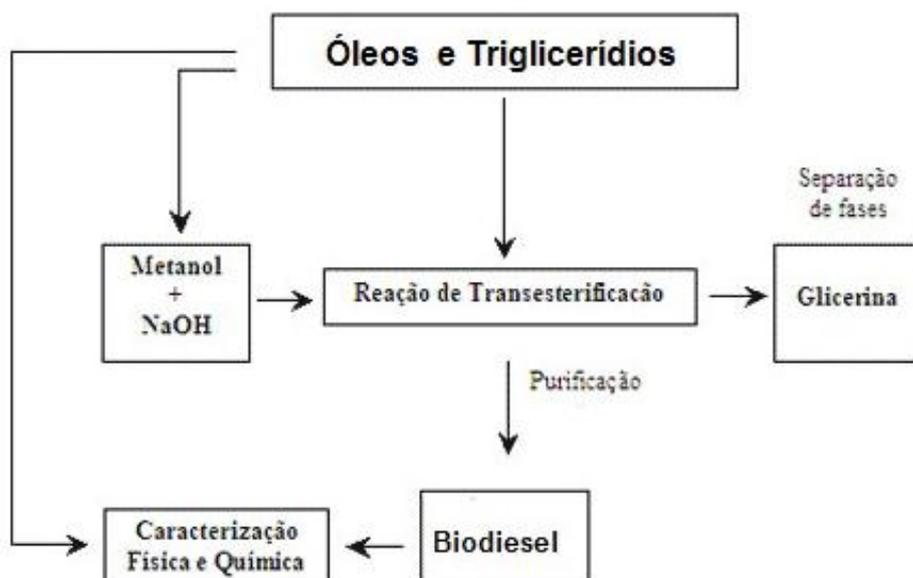
A produção do biocombustível proveniente da biomassa lignocelulósica passa por um processo físico-químico e biológico de fracionamento dos componentes químicos para transformação em açúcares mais simples para posterior fermentação. É necessário desmontar a parede celular para transformar a celulose, hemicelulose e lignina em açúcares, isto é, glicose, através de hidrólises com ácidos, bases ou enzimas, dentre outros tratamentos, uma vez que a estrutura lignocelulósica é muito resistente a bioconversão. As tecnologias atuais são caras e desfavoráveis, neste momento. Uma vez se obtendo açúcares fermentáveis, o processo de obtenção do etanol é semelhante ao processo da biomassa açucarada (SILVA, 2014).

A produção do biocombustível proveniente da biomassa amilácea também passa por um processo de moagem, cozimentos e de hidrólise do amido para transformação em cadeias menores de açúcares fermentáveis. Esse processo está também muito dominado pois muitos países no mundo produzem etanol de milho.

Uma vez obtido o açúcar fermentável, o processo é semelhante aos outros (MANOCHIO, 2014).

O biodiesel é um biocombustível obtido através da transesterificação de triglicerídeos (Figura 2). Transesterificação é uma reação química entre um éster e um álcool da qual resulta um novo éster e um novo álcool. Significa dizer que é um processo de reação entre as gorduras dos óleos e gorduras em geral com um álcool e um catalisador e assim, a reação química de transesterificação produz dois produtos, o glicerol e uns ésteres que é designado de biodiesel (LEMOS; STRADIOTO, 2012).

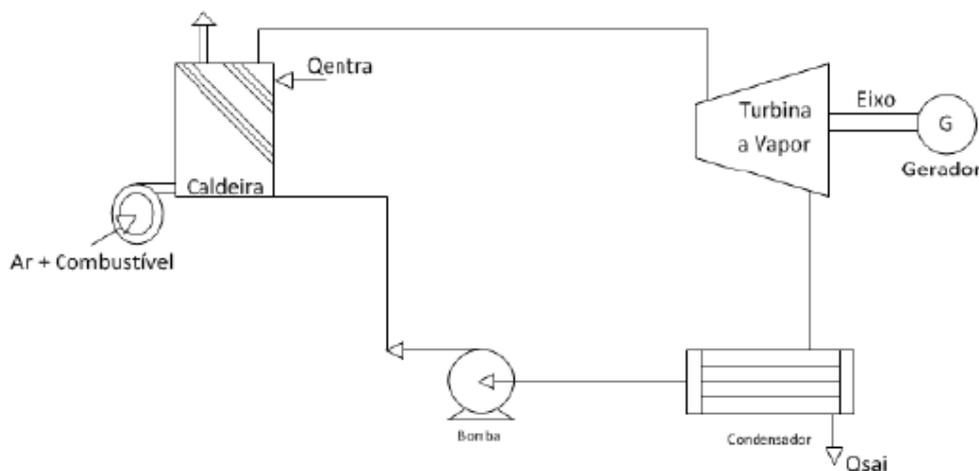
Figura 2 – Processo básico de transformação de óleos em biodiesel



Fonte: Adaptado pelo autor , conforme Lemos e Stradioto (2012).

Conforme citado anteriormente na Figura 1, diversos são os tipos de transformação da biomassa em biocombustíveis e este será utilizado em algum tipo de queima para gerar energia. Esta energia poderá ser utilizada em caldeiras ou turbinas com o objetivo de girar geradores elétricos e produzir energia elétrica. Na Figura 3, segue exemplo do uso da queima de uma biomassa ou biocombustível no ciclo Rankine para produção de energia elétrica. Ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico e funciona convertendo calor em trabalho.

Figura 3– Ciclo Rankine



Fonte: (POLIZELI, 2011)

2.3 MARCOS LEGAIS

2.3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE BIOMASSAS

Segundo Silva (2004), a eletricidade desempenha um papel chave no processo de desenvolvimento que a humanidade vem passando nesse último século. É um setor estratégico para cadeia produtiva e crescimento da economia mundial. Por ser muito importante e boa parte desta é proveniente do uso dos combustíveis fósseis, há uma corrida para que esta matriz seja alterada, principalmente pelo viés ambiental. A partir dos anos de 1970, devido às repercussões das crises energética, econômica e financeira vivenciada pelo país, perdeu fôlego o modelo de geração de energia daquela época em função dos impactos ambientais e exaustão do modelo. Surge então a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias alternativas para promover novas formas de geração de energias de forma sustentável.

No início dos anos 1990, surgiu assim um variado conjunto de instrumentos para a ampliação do processo crescente de elaboração e aprovação de um marco legal para o setor energético e surgimento de normas e leis que buscavam alterar o panorama energético nacional, acrescentando-se itens importantes ligados a produção de energia com uso de combustíveis renováveis (TABELA 2).

Tabela 2- Principais Atos Legais Promovidos no Âmbito da Reforma do Setor Elétrico com uso o uso de energias renováveis

LEI	ANO	CONTEÚDO
Decreto 915	1993	1- Autoriza a formação de consórcios por empresas interessadas na geração de energia elétrica a ser utilizada nas respectivas unidades consumidoras autoprodutores).
Lei 9.074	1995	1- Complementa a Lei 8.987 2- Institui o Produtor Independente de Energia Elétrica 3- Garante o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição 4- Cria a figura do consumidor livre
Lei 9.427	1996	1- Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
Lei 9.648	1998	1- Reestrutura a ELETROBRAS 2- Institui o Mercado Atacadista de Energia (MAE) 3- Cria o Operador Nacional do Sistema
Lei 9.991	2000	1- Estabelece critérios par a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.
Proinfra– Lei 10.438	2002	1- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas Energia Elétrica
Decreto de 23 de dezembro de 2003.	2003	1- Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia.
Programa Luz para todos (PLT)	2004	1- Com o objetivo de acabar com a exclusão da energia elétrica no país, garantindo o acesso à energia elétrica a 100% da população da zona rural.
1º Plano Nacional de Agroenergia	2006	1- Reúne ações estratégicas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a promoção, o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade brasileira”, e as diretrizes particularmente as constantes do documento Diretrizes de Política de Agroenergia
Plano Diretor da Embrapa Agroenergia	2008	1- Viabilizar soluções tecnológicas inovadoras para o desenvolvimento sustentável e equilíbrio do negócio da agroenergia do Brasil
Lei 12.305	2010	1- Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos
Lei 12.490	2011	1- Fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional, incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa
Aneel – Resolução normativa nº 482	2012	1- Estabelece as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica.
Lei 3529	2012	1- Institui a política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa, estabelece a obrigatoriedade de contratação dessa energia e dá outras providências.
Aneel – Resolução normativa nº 745	2016	1- Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, que estabelece procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos. 1- Estabelecer, na forma desta Resolução, os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e de distribuição, aplicáveis aos empreendimentos hidrelétricos e àqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.
Aneel- Resolução nº-2.203	2017	2- Estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das bandeiras tarifárias
MME-Consultas públicas nº-32 e 33	2017	1- Princípio para Atuação Governamental no Setor Elétrico Brasileiro. 1- Aprimoramento do marco legal do setor elétrico.

A criação do Programa Proinfa em 2002 foi o maior marco legal para a geração de energia elétrica proveniente de fontes alternativas de energia. Conforme o Ministério das Minas e Energia (MME), o intuito foi promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

Segundo Fernandes e Mota (2014), também um dos importantes marcos legais atualizado para os setores de geração de energias renováveis foi a criação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da mini geração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade.

2.3.2 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Apesar dos estudos sobre o biodiesel no Brasil serem de longa data, os marcos legais de biodiesel somente foram iniciados quando do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), lançado pelo governo federal em 2004. Porém, desde 2003, o governo federal iniciou estudos para viabilidade de produção de biodiesel, surgindo a partir daí uma série de leis formando assim os marcos legais para este setor. Na Tabela 3 são apresentados os principais marcos sobre o assunto.

O Brasil, desde 2005, possui lei que obriga a mistura do biodiesel ao óleo diesel mineral. Segundo o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), haverá um aumento gradativo periódico. As misturas entre o biodiesel e o diesel mineral são conhecidas pela letra B seguida do número que corresponde ao percentual de biodiesel na mistura. Segundo o CNPE, houve um aumento em março de 2018 para 10 % de biodiesel no diesel mineral e assim, a mistura está sendo denominada B10 (BRASIL, 2018).

Tabela 3- Principais Atos Legais para produção do Biodiesel

(continua)

LEI	ANO	CONTEÚDO
Decreto 2 de Julho	2003	Institui GTI encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia, propondo, caso necessário, as ações necessárias para o uso do biodiesel.
Decreto 23 de Dezembro	2003	Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia
Resolução ANP nº 42	2004	Estabelece a especificação para a comercialização de biodiesel que poderá ser adicionado ao óleo diesel na proporção 2% em volume.
MP nº 214	2004	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)
Decreto Nº 5.297	2004	Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas de contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel
Lei nº 11.097	2005	Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.
Instrução Normativa MDA nº 02	2005	Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos ao enquadramento de projetos de produção de biodiesel ao selo combustível social
Instrução Normativa SRF nº 516	2005	Dispõe sobre o Registro Especial a que estão sujeitos os produtores e os importadores de biodiesel, e dá outras
Resolução ANP nº 31	2005	Regula a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel.
Resolução ANP nº 33	2007	Dispõe sobre o percentual mínimo obrigatório de biodiesel, de que trata a Lei nº 11.097, referente ao ano de 2008, a ser contratado mediante leilões para aquisição de biodiesel, a serem realizados pela ANP.
Resolução ANP nº 45	2007	Estabelece que os produtores de óleo diesel, Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras e Alberto Pasqualini – Refap S.A., adquirentes nos Pregões Eletrônicos nºs 069/07-ANP e 070/07-ANP, devem adquirir biodiesel, com o intuito de formar estoque, em volume superior à demanda mensal desse produto para atendimento ao percentual mínimo de adição obrigatória ao óleo diesel, nos termos da Lei nº 11.097.
Resolução nº 5 do CNPE	2007	Estabelece diretrizes gerais para a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel, em razão da obrigatoriedade legal prevista na Lei nº 11.097
Resolução ANP nº 02	2008	Estabelece a obrigatoriedade de autorização prévia da ANP para a utilização de biodiesel, B100, e de suas misturas com óleo diesel, em teores diversos do autorizado pela legislação vigente, destinados ao uso específico.

Tabela 3- Continuação – Principais Atos Legais para produção do Biodiesel
(conclusão)

LEI	ANO	CONTEÚDO
Resolução nº 2 do CNPE	2008	Estabelece 3 %, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097
Resolução ANP nº 07	2008	Estabelece a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional. Revoga a Resolução ANP nº 42 de 2004
Resolução ANP nº 25	2008	Estabelece a regulamentação e a obrigatoriedade de autorização da ANP para o exercício da atividade de produção de biodiesel.
Instrução Normativa MDA nº 01	2009	Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão de uso do selo combustível social.
Resolução nº 2 do CNPE	2009	Estabelece 4 %, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097
Resolução nº 6 do CNPE	2009	Estabelece 5 %, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097
Portaria MME Nº 116	2013	Estabelece diretrizes específicas para a formação de estoques de biodiesel no País.
Lei Nº 13.033	2014	Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final. Percentuais de adição obrigatórios para 8, 9 e 10%
Resolução ANP nº 45	2014	Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional.
Resolução ANP nº 30	2016	Estabelece a especificação de óleo diesel BX a B30, em caráter autorizativo, nos termos dos incisos I, II e III do art. 1º da Resolução CNPE nº 03, de 21 de setembro de 2015
Resolução nº 23 do CNPE	2017	Estabelecer a adição obrigatória, em volume, de 10% de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, a partir de 1º de março de 2018
LEI Nº 13.576	2017	Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências.

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a comercialização do biodiesel desde 2005 é feita por meio de leilões públicos organizados pela própria agência. Os leilões visam à aquisição de biodiesel pelos adquirentes (refinarias e importadores de óleo diesel) para atendimento ao percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel e para fins de uso voluntário, cujo volume deve ser entregue pelas unidades produtoras de biodiesel. Estes leilões têm atualmente periodicidades bimestrais. O primeiro leilão (L1) ocorreu em 2005 com o Edital ANP 061/05, com a fase de mistura opcional de 2%. Com o passar dos anos a mistura começou a se tornar obrigatórias e voluntárias. No ano de 2018 já ocorreram

os leilões (L58 a L63) também através de vários editais, com mistura de 8% e 10% autorizativas.

Uma lei importante que surgiu no país foi a criação do RenovaBio – Política Nacional de Biocombustíveis, que foi criada em 2017, e tem o objetivo de contribuir para o atendimento dos compromissos do país com os acordos internacionais sobre a mudança de clima, contribuir com a eficiência energética e na redução dos GEEs, na comercialização e expansão da produção de biocombustíveis, bem como contribuir com a previsibilidade de participação competitiva dos diversos biocombustíveis.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da biomassa, em especial de biocombustíveis, é muito importante para substituição gradual de combustíveis fósseis na matriz energética brasileira e consequente diminuição da geração dos gases de efeito estufa. O Brasil já possui um destaque neste assunto, pois domina a produção do etanol e do biodiesel. Porém há muito ainda por se fazer, pois há um desperdício enorme de biomassas que são descartadas durante colheita de produtos agroflorestais.

A combustão direta da biomassa e o consumo de gás natural, muito comuns para a sobrevivência de populações rurais e de países subdesenvolvidos, é uma prática também adotada em diversas indústrias brasileiras, mas que tende a diminuir devido às novas tecnologias de transformação da biomassa. Como exemplo a utilização de briquetes e péletes é uma forte tendência como madeira artificial, assim como o bioetanol na substituição de gás natural em residências, cogeração termelétrica e em veículos. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2018), a lenha corresponde com 6% do consumo final de energia por fontes no Brasil, o gás natural com 7%, bagaço de cana com 11% e o etanol com 6%.

Há significativas vantagens na produção de energia proveniente de biomassas, como baixo custo, o fato de ser renovável, de permitir o reaproveitamento de resíduos e de ser bem menos poluente que as outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. São ganhos socioambientais e econômicos, tais como uso de biodigestores para produção de biogás, uso de restos de madeiras, dentre outros, mas o setor carece de estudos científicos para inovação tecnológica em toda cadeia produtiva.

Também há grandes dificuldades para cumprir legislações, mitigar impactos ao meio ambiente e cuidados para a saúde humana.

A biomassa e a bioenergia são ferramentas propulsoras de desenvolvimento sustentável da indústria em geral, inclusive a agroindústria, proporcionando desenvolvimento do homem do campo, os cumprimentos dos protocolos de acordo mundiais sobre clima, redução do desmatamento, utilização de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) por meio de florestas energéticas, além da utilização dos créditos de carbono entre nações. Constatou-se

Constatou-se foi também muito importante a criação de leis e normas no país com o objetivo de facilitar e normatizar o uso de biomassas para geração de energia elétrica e a utilização própria, distribuição e venda da energia para a o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Apresentaram-se muitos dados de agências brasileiras e de agências internacionais com muitas informações sobre o uso das biomassas e das bioenergias e os dados referentes às contribuições na matriz energética brasileira bem como a publicações de produção de biocombustíveis.

2.5 REFERÊNCIAS

AHMAD, A. I. *et al. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Seberang Perai Selatan, Malásia, v. 15, n. 1, p. 584-593, jan. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110003059>. Acesso em: 08 set. 2018.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis no Brasil**. 2012. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/folderes/2415-biocombustiveis> . Acesso em: 25 jun. 2018.

BERMANN, C. CRISE AMBIENTAL E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BOERRIGTER, H. **Economy of Biomass-to-Liquids (BTL) plants – An engineering assessment**, 2006, 29 p. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:a68cef00-9a68-4dd3-ad2b-1f60737c1578>. Acesso em: 01 jun. 2018

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 131 p. 2010. ISBN: 978-85-719-3244-9.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF: MME, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>>. Acesso: 12 mai. 2018

CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; ANTUNIASI, U. R. Tecnologia de Aplicação e inovações voltadas ao uso racional de defensivos agrícolas em culturas destinadas à produção de bioenergia. In: LEMOS, E. G. de M.; STRADIOTTO, N. R. **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. cap. 3. p. 54-82.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A. **Bioenergia no Brasil e na Europa: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Instituto de Economia UFRJ, 2008.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. São Paulo, Unicamp, 2008. 732 p. ISBN 978-85-268-0783-9.

FERNANDES, M. A. R.; MOTTA, R. P. S., **Geração de energia solar e biomassa: os marcos institucionais brasileiro e holandês e os impactos na viabilidade financeira de projetos na universidade de Brasília**. 2014. 110 f. Monografia (Especialização em Ciências Ambientais) - UnB, Brasília, 2014.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, London, v. 36, p. 2086-2097. 2008.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, Soil – The Final Frontier, **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, jun. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1097396>. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/304/5677/1623>. Acesso em: jun. 2018.

LEITE, R. C.; CORTEZ, A. B. O etanol combustível no Brasil. 2013. p. 61-75. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf. Acesso em: 03 nov. 2018.

LEMOS, E. G. M; STRADIOTO, N. R. **Bioenergia- Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. 765 p. ISBN 978-85-7983-256-7.

MARAFON, A. C. *et al.* Uso da biomassa para a geração de energia, Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, n. 21, 28 p. dez. 2016.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014. 33 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento: Economia em Destaque**, Salvador, n.149, p.4-11, out. 2006.

PEDROSO, L. L. A. et al. Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development: Edição Especial**, Curitiba, v. 4, n. 5, p.1980-1996, ago. 2018.

PHILIPPI JUNIOR, A.; REIS, L. B. dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Manoele, 2017, 1021 p.

POLIZELI, M. V. **Avaliação econômica de geração de energia elétrica entre sistemas híbridos de PCHs e termoeletricas**. 2011. 102 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

QUIRINO, W. F. et al. Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos. **Remade**, Revista da Madeira, Brasília, n. 89, p. 100-106, abr. 2005.

RÍPOLI, T. C. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; RÍPOLI, M. L. C. *Energy potential of sugar cane biomass in Brazil*. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 57, n. 4, p. 677-681, dez. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162000000400013>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v57n4/a13v57n4.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2018.

ROCHA, J. R. A. S. C. et al. *Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass*. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 95, p. 27-32, jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669016306835>. Acesso em: 02 jul. 2018.

RUIZ, E. T. N. F. **Análise de investimento em projetos Greenfield de bioenergia**. Campinas: Alínea, 2015. 334 p.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p.1004-1010, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000500025>. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025. Acesso em: 11 maio 2018.

SILVA, V. F. N. **Avaliação dos parâmetros experimentais do fracionamento do bagaço da cana de açúcar na obtenção do etanol celulósico e lignina**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

VASSILEV, S. V. et al. *An overview of the chemical composition of biomass*. **Fuel**, [s.l.], v. 89, n. 5, p. 913-933, maio 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236109004967>. Acesso em: 26 Maio 2018.

VENTURA FILHO, A. Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas. **Revista Interesse Nacional**, Ano 6, n. 21, abr./jun. 2013.

VIDAL, A. C. F.; HORA A. B. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDS Setorial- Papel e Celulose, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ZHANG, Y. H. P. *Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries*. **Journal Of Industrial Microbiology & Biotechnology**, [s.l.], v. 35, n. 5, p. 367-375, 8 jan. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10295-007-0293-6>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5669308_Reviving_the_Carbohydrate_Economy_Via_Multi-Product_Lignocellulose_Biorefineries. Acesso em: 25 jul. 2018.

ZHENG, Y. I. *et al. Enzymatic saccharification of dilute acid pretreated saline crops for fermentable sugar production*. **Applied Energy**, [s.l.], v. 86, n. 11, p. 2459-2465, nov. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909000865>. Acesso em: 26 ago. 2018.

3 BIBLIOMETRIA SOBRE BIOMASSA, BIODIESEL E SUSTENTABILIDADE NO BRASIL

3.1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são essenciais para o desenvolvimento das sociedades modernas, porém estes combustíveis são os principais geradores de gases de efeito estufa, os chamados GEE. Apesar do desenvolvimento que eles trazem, governos mundiais buscam por maior produção e consumo de combustíveis renováveis, inclusive de bioenergia da biomassa (LAL, 2004; GOLDEMBERG, 2009; CARBONARI, 2012).

A queima de combustíveis fósseis é responsável por boa parte das emissões dos gases do efeito estufa e assim, o uso dos biocombustíveis será uma grande saída para redução dos gases nocivos à atmosfera e que causam modificações na natureza e consequentes danos ambientais e atmosféricos para a população mundial (LAL, 2004).

A biomassa entra como uma forma de energia com o propósito de diminuição do uso dos combustíveis fósseis e da dependência destes combustíveis e consequentes reduções das emissões de GEE e de uma forma sustentável (CARBONARI, 2012).

A bioenergia é o nome dado para a energia obtida através da biomassa. Esta energia pode ser usada para se gerar calor, eletricidade ou combustível para motores de combustão em geral. Também é considerada a energia quimicamente armazenada na biomassa, ou seja, pode ser interpretada como energia solar aprisionada por se originar nos processos de fotossínteses. As principais fontes de bioenergia são provenientes de matérias primas renováveis, como madeira, produtos agrícolas e dejetos orgânicos. Dentre os combustíveis bioenergéticos destaca-se o etanol, o metanol, o biodiesel, entre outros. Estes representam uma fonte alternativa de combustível, perante aos combustíveis fósseis, constituindo-se assim, atualmente, um importante segmento das denominadas energias renováveis, com fração cada vez mais representativa entre as matrizes energéticas em todo o mundo. (LEMONS; STRADIOTO, 2012)

Dados da International Energy Agency (IEA, 2018) mostram que, desde 1971 até 2016, na matriz energética brasileira vem crescendo gradativamente a

participação dos biocombustíveis com o passar dos anos e há um grande potencial nesta área para substituição dos combustíveis fósseis no Brasil. Os dados do IEA indicam que em 1971, 1990 e 2016 a produção de biocombustíveis era em torno de 40 Mtoe, 48 Mtoe e 86 Mtoe, respectivamente.

Segundo dados do Ministério das Minas e Energias (MME, 2017), em sua publicação Resenha Energética de 2018, houve destaque no Brasil na produção de biodiesel com expansão de 12,9 % no crescimento da produção em relação ao ano de 2016, representando 1,2 % da matriz energética brasileira.

O Brasil possui um grande potencial para produção de biomassa devido a sua grande extensão territorial bem como sua característica tropical, área agricultável, incidência solar, clima, agroindústria consolidada, dentre outras. O Brasil já possui um destaque na produção de biocombustível, especificamente o biodiesel e etanol, porém, há um grande potencial ainda não utilizado de produção de bioenergias proveniente de biomassas (GOLDEMBERG, 2009).

O presente trabalho, por meio de análise bibliométrica sistêmica, tem o intuito de mapear as publicações científicas por autores, periódicos, áreas de conhecimento, instituições, países, tipos, quantidades e distribuição temporal, as quais abordam estudos sobre a sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel, como bioenergia primária obtida de biomassas provenientes de diversas matérias primas.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada foi sistematizada de acordo com Costa (2010), que propõe elencar as referências dispostas em um quadro, a fim de fornecer uma melhor seleção de trabalhos acadêmicos correlacionados ao tema de interesse. Essa metodologia se baseia em seis etapas, descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Modelo de desenvolvimento para a realização de um estudo sistêmico.

Etapas	
Etapa 1	Definição da amostra da pesquisa;
Etapa 2	Pesquisa na amostra, com as palavras-chaves;
Etapa 3	Identificação dos periódicos com maior número de artigos publicados sobre o tema;
Etapa 4	Identificação dos autores com maior número de publicações;
Etapa 5	Levantamento da cronologia da produção, identificando ciclos de maior produção;
Etapa 6	Seleção dos artigos do “núcleo de partida” para a pesquisa bibliográfica.

Fonte: adaptado de Costa (2010).

Na etapa inicial foram pesquisadas as bases científicas de dados da Scopus Elsevier (B1) e da Web of Science (B2), uma vez que contêm muitos artigos acadêmicos e científicos. Estas se encontram na área de portal de periódicos da Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Os filtros de exclusão não foram utilizados para aumentar o alcance dos documentos retornados. A pesquisa foi realizada no mês de julho de 2018 e os critérios de busca tinham o objetivo de ampla cobertura das publicações sobre temas referentes aos termos: biodiesel, biomassa, bioenergia e sustentabilidade no Brasil.

Nas duas bases foram inclusas as opções de busca em títulos, palavras-chave e resumo de pesquisa, abrangendo todas as áreas de conhecimento possíveis, mas o operador booleano “AND” garantiu a presença de todos os termos chaves em todas as publicações sobre o tema. Assim, nessa etapa foram definidos dois conjuntos de termos chaves, sendo o primeiro composto por “Biomass” AND “Bioenergy” AND “Sustainability” AND “Brazil”, e o segundo usando o termo chave “Biodiesel” em substituição ao termo chave “Biomass”. Finalmente, foram realizadas as combinações propostas na Tabela 4.

Em sequência, para as etapas de 3 a 5, foram realizadas pesquisas considerando-se apenas a base Scopus que se apresentou similar porém com maior número de registros em relação a Web of Science, foram selecionados e categorizados os registros por autores, periódicos, países, tipo e ano de publicação e áreas de conhecimento com maior número de publicações, bem como visualização das produções das publicações, autores e as suas citações.

Por fim, a sexta etapa da metodologia proposta por Costa (2010) é um estudo cronológico das produções acadêmicas e é realizado com o objetivo de apresentar a evolução científica sobre o tema. Foram escolhidas para esta etapa 10 publicações da base Scopus e seis publicações da base Web of Science e foram consideradas pelo autor deste como relevantes sobre o tema em estudo.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As buscas foram realizadas utilizando-se os termos “Biomass” com retorno de 312.865 e 272.499 publicações, respectivamente para as bases Scopus (B1) e Web of Science (B2). Com o termo “Biodiesel” houve retorno de 32.131 na base B1 e 30.641 na base B2. Em seguida, em nova busca com “Bioenergy” foram encontrados 23.351 (B1) e 11.383 (B2) publicações; utilizando “Sustainability” foram revelados 164.538 (B1) e 111.446 (B2) publicações, e finalmente, utilizando “Brazil” foram observados 257.550 (B1) e 188.224 (B2) publicações. Em sequência, foram realizadas todas as combinações possíveis entre os termos e foram demonstrados na Tabela 4. As combinações propostas foram realizadas a fim de refinamento da pesquisa, direcionando a seleção de publicações brasileiras, sobre biomassa e suas contribuições para a geração de bioenergia e alcance de sustentabilidade na matriz energética do país. Isso permitiu a seleção do “núcleo de partida” dos artigos a serem estudados nas bases de pesquisa.

Nessa fase do estudo, observou-se que, a introdução do termo “*Brazil*” gerou uma redução significativa nos resultados da busca. E para entender melhor os motivos desse fato, elaborou-se os diagramas de Venn, para as bases com e sem o termo “*Brazil*”.

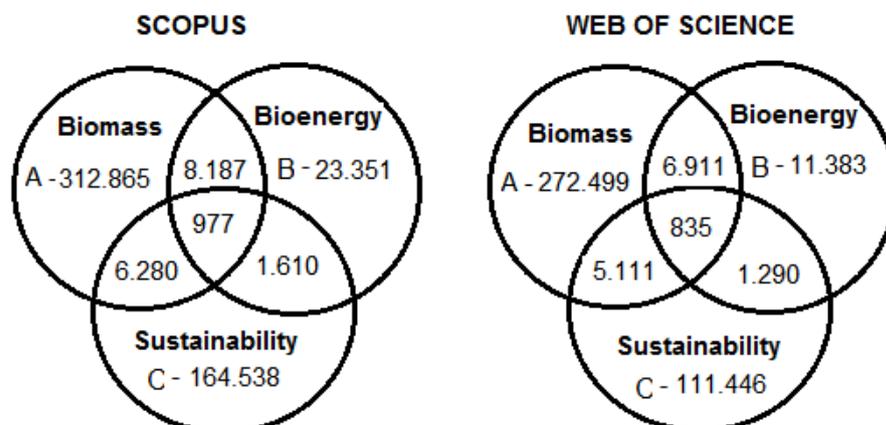
Tabela 4: Registro de publicações na base Scopus (B1) e Web of Science (B2)

Busca	Combinações	Biomass (A)		Biodiesel (α)	
		B1	B2	B1	B2
Biomass (A)	A	312.865	272.499	-	-
Biodiesel (α)	α	-	-	32.131	30.641
Bioenergy	B	23.351	11.383	-	-
Sustainability	C	164.538	111.446	-	-
Brazil	D	257.550	188.224	-	-
(A ou α) and Bioenergy	(A ou α) x B	8.187	6.911	980	837
(A ou α) and Sustainability	(A ou α) x C	6.280	5.111	1074	1012
(A ou α) and Brazil	(A ou α) x D	4.804	4.469	811	615
Bioenergy and Sustainability	B x C	1.610	1.290	-	-
Bioenergy and Brazil	B x D	360	266	-	-
Sustainability and Brazil	C x D	3.274	2.396	-	-
(A ou α) and Bioenergy and Sustainability	(A ou α) x B x C	835	977	134	161
(A ou α) and Bioenergy and Brazil	(A ou α) x B x D	148	123	59	52
(A ou α) and Sustainability and Brazil	(A ou α) x C x D	224	234	98	104
Bioenergy and Sustainability and Brazil	B x C x D	72	68	-	-
(A ou α) and Bioenergy and Sustainability and Brazil	(A ou α) x B x C x D	31	26	13	17

Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a Base Scopus (B1) e Web of Science (B2), 2018

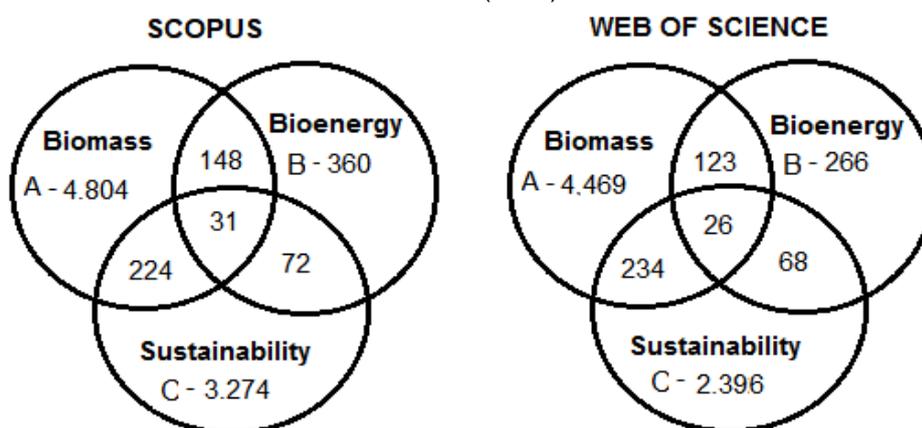
Com os diagramas de Venn foi possível resumir os resultados das combinações entre os termos chaves, demonstrando os dados com o termo “Brazil” e sem o termo “Brazil”, o afinamento resultante foi de 977 e 835 registros para 31 e 26 nas bases Scopus e Web of Science (FIGURAS 4 e 5). A mesma proposta de refinamento foi utilizada para o termo Biodiesel, conforme Figuras 6 e 7. Assim sendo, os resultados obtidos foram de 134 e 161 registros para 13 e 17 nas bases Scopus e Web of Science.

Figura 4- Resultado da bibliometria usando Biomass sem o termo Brazil nas bases Scopus e Web of Science (2018)



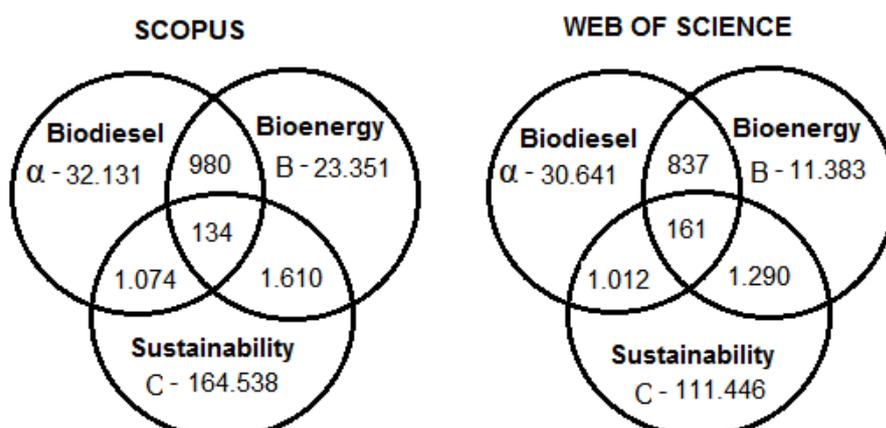
Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

Figura 5- Resultado da bibliometria usando Biomass com o termo Brazil nas bases Scopus e Web of Science (2018)



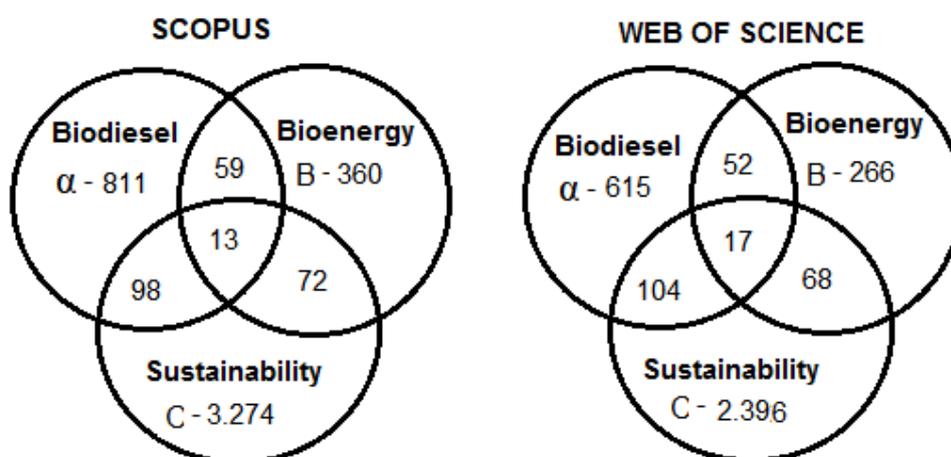
Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

Figura 6- Resultado da bibliometria usando biodiesel sem o termo Brazil nas bases Scopus e Web of Science (2018)



Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

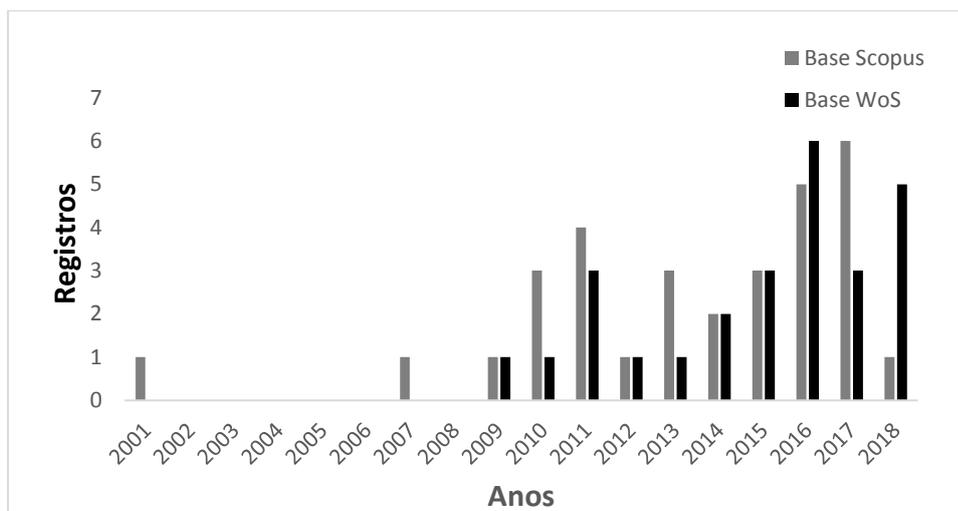
Figura 7- Resultado da bibliometria usando biodiesel com o termo Brazil nas bases Scopus e Web of Science (2018)



Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

No afinamento seguinte, com finalidade de atribuir maior contemporaneidade ao tema, realizou-se um corte temporal para registros desde 2001 até 2018 (FIGURA 8) para o termo "Biomass" and "Bioenergy" nas bases Scopus e WoS. Assim, foi possível perceber que os registros da base Scopus apresentaram um primeiro pico em 2011 com 4 publicações (BUCKERIDGE et al., 2011; YAN et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011; GALLARDO et al., 2011) e outro no ano de 2017 com 6 publicações (SLADE et al., 2017; CARVALHO et al., 2017; DE SOUZA NOEL et al., 2017; BUCKERIDGE et al., 2017). Esses períodos coincidem com as crises mais recentes ocorridas no mundo de ordem macroeconômicas e correspondem aos primeiros painéis governamentais sobre trocas climáticas com finalidade de aferir as conformidades propostas em agendas. A pesquisa na base WoS com o termo Biomass foi executada com corte temporal somente a partir de 2009 até 2018. É possível perceber que existem também picos semelhantes de registros em 2011 com 3 publicações (DE OLIVEIRA et al., 2011; GALLARDO et al., 2011; UPHAM et al., 2011), em 2016 com 6 publicações (SOUZA et al., 2016; CZYRNEK-DELETRE et al., 2016; PLATH et al., 2016; DE MORAES et al., 2016; EVARISTO et al., 2016; SANTOS et al., 2016), bem como em 2018 com 5 publicações (KAMALI et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2018; FURTADO SOZINHO et al., 2018; CALDEIRA-PIRES et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2018).

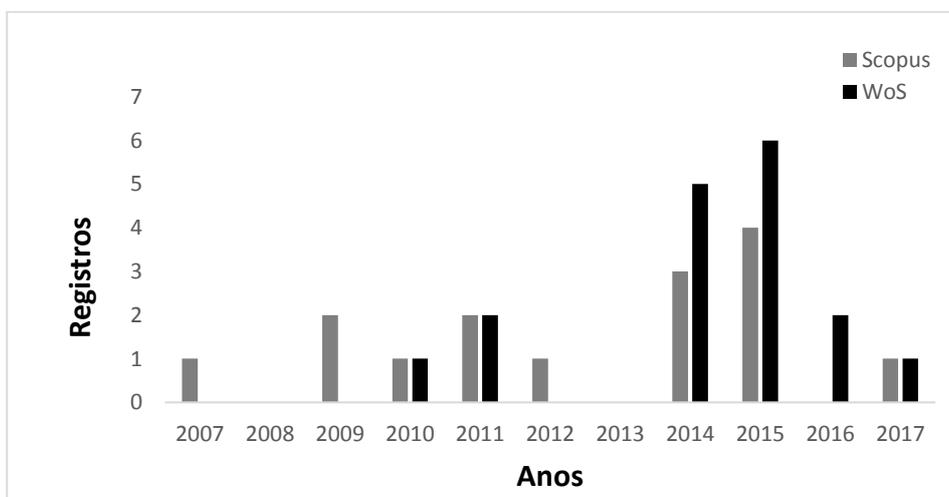
Figura 8: Série temporal das publicações sobre Biomassa e Bioenergia



Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

Na pesquisa por registros pelo termo “Biodiesel” and “Bioenergy”, foi realizado um corte temporal de 2007 até 2017 na base Scopus e um corte temporal de 2010 até 2017 na base WoS (FIGURA 9). Percebe-se que há também apresentação de picos de publicações nos anos 2011, 2014 e 2015 conforme demonstra a figura. Percebe-se que em comparação com a figura 8, há semelhanças nos picos de publicações e assim, as preocupações com as questões ambientais cresceram muito nestes períodos, sendo discutidas amplamente e com grande participação de muitos autores da maioria das nações mundiais.

Figura 9: Série temporal das publicações sobre Biodiesel e Bioenergia



Fonte: adaptado pelo autor, conforme as bases Scopus e WoS (2018).

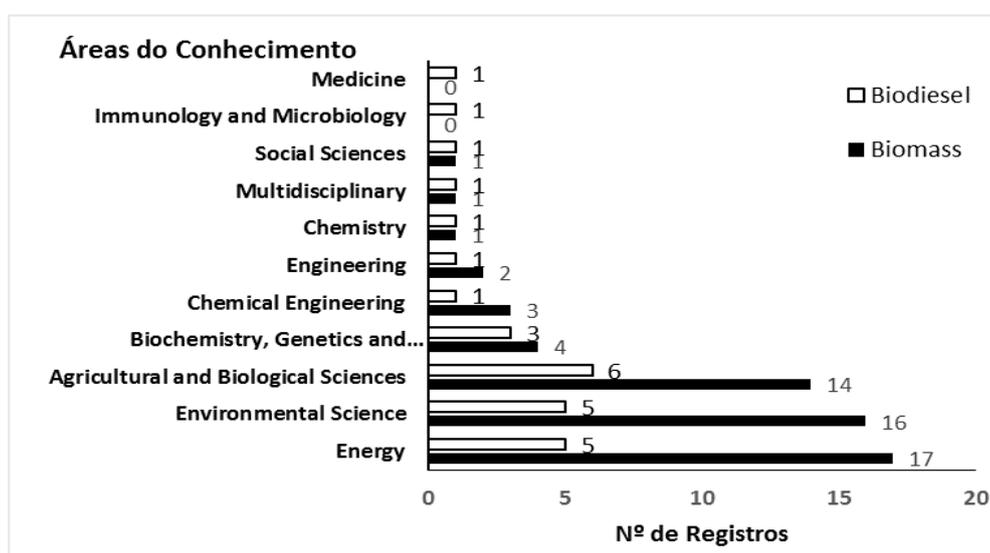
Quando se trata dos autores que se destacam em número de publicações sobre o termo “Biomass”, observou-se que de um total de 142 autores na base Scopus, apenas dois apresentaram dois registros cada e todos os outros com somente um registro apenas. Um aprofundamento dos artigos permitiu verificar que Buckridge, (2011 e 2017) publicou artigos referentes a produção do bioetanol proveniente do caldo da cana de açúcar, o chamado etanol de primeira geração, bem como também a produção deste biocombustível chamado de etanol de segunda geração, utilizando-se outras matérias primas celulósicas. Carvalho (2016), descreve também sobre a produção de bioetanol de segunda geração utilizando o bagaço e a palha da cana de açúcar e faz relação com o uso desta palha na adubação do solo.

Na base WoS, de um total de 162 autores, apenas cinco deles apresentaram dois registros cada. Bordonal (2015) descreve sobre o inventário do balanço de GEE com o uso da terra na produção de cana de açúcar considerando um horizonte de 20 anos. Ele faz comparações do uso da cana de açúcar no lugar das terras pastoris e no lugar de florestas. Carvalho (2016), avalia a emissão de N₂O do solo com o uso da palha da cana como matéria prima para adubação em conjunto com fertilizantes inorgânicos. Faaij e Smeets (2010), descrevem sobre o sistema de gestão de custos e disponibilidade da terra para produção de bioenergia. Estudo de caso no Brasil e na Ucrânia para produção de bioenergia com custos adequados e cumprimentos de critérios de sustentabilidade. Gallardo (2018), descreve sobre os estudos de impacto ambiental (EIA) e certificação Bonsucro no setor alcooleiro no Brasil. Também relata sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais significativos que podem ser esperados da mudança do uso da terra em estudo de caso em dois locais no mundo em São Paulo, Brasil, com alta produção de cana de açúcar e na Inglaterra que produz Miscanto.

Quando se trata de autores sobre o termo “Biodiesel”, observou-se que de um total de 56 autores na base Scopus, apenas dois apresentaram dois registros cada. Lago (2009), descreve sobre o uso da mamona e da pinhão-manso para produção de óleos não comestíveis para produção de biocombustíveis. Ele fala sobre a dificuldade da produção, melhoramento genético, colheita, fertilidade do solo e controle de pragas. E Leoneti (2011), descreve sobre a geração de bioenergia e biofertilizante numa propriedade rural.

Com relação área de estudo, na figura 10, verificam-se as publicações referentes ao tema na base Scopus com o termo “Biomass” e “Biodiesel”. Destacam-se Energia com 17 publicações, Ciência Ambiental com 16 publicações e Ciências Agrícolas e Biológicas com 14 publicações todos com o termo “Biomass”. Para o termo “Biodiesel” destacam-se Energia com cinco publicações, Ciência Ambiental com cinco publicações e Ciências Agrícolas e Biológicas com seis publicações. As três áreas de estudos se destacam em função do assunto Biomassa e Bioenergia estarem muito ligadas a energia, agricultura e ambiente.

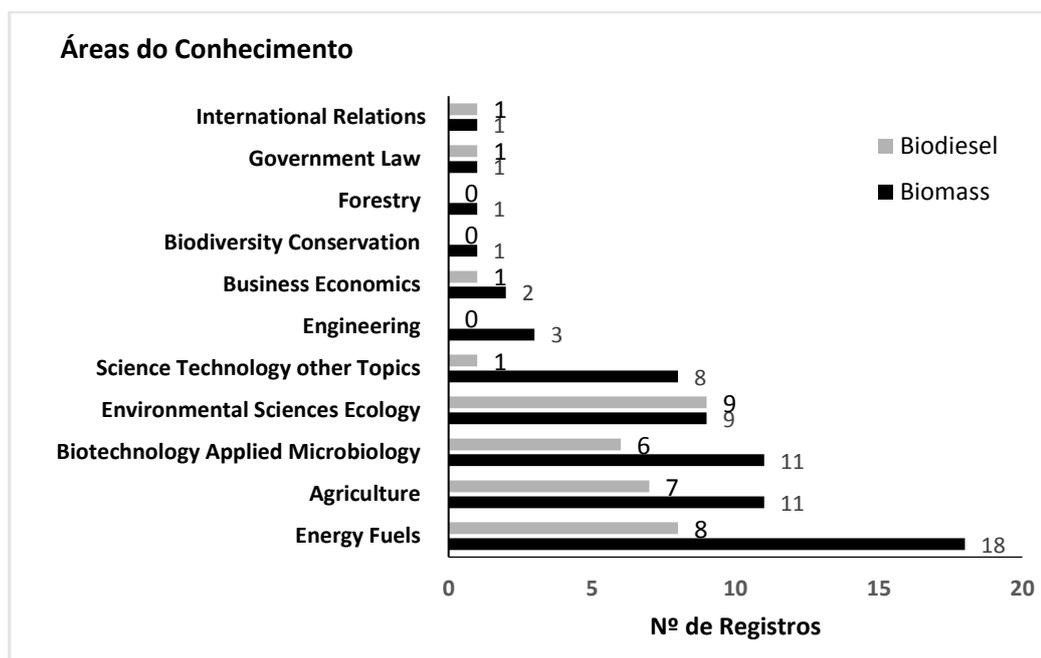
Figura 10: Área de Estudo e os documentos publicados sobre os temas Biodiesel e Biomassa na base Scopus



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da Scopus (2018).

Na Figura 11 verificam-se as publicações referentes ao tema na base WoS com o termo “Biomass” e “Biodiesel”. Destacam-se Combustíveis com 18 publicações, Agricultura com 11 publicações e Microbiologia Aplicada à Biotecnologia com 11 publicações todos com o termo “Biomass”. Para o termo “Biodiesel”, destacam-se Combustíveis com oito publicações, Agricultura com sete publicações e Microbiologia Aplicada à Biotecnologia com seis publicações e Ecologia de Ciências Ambientais com nove publicações.

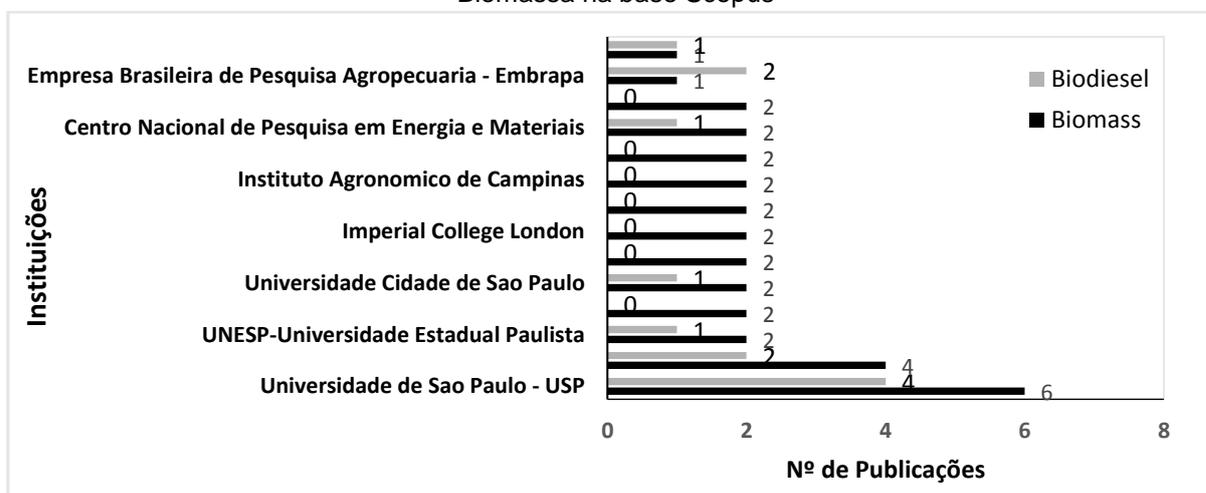
Figura 11: Área de Estudo e os documentos publicados sobre os temas Biodiesel e Biomassa na base WoS



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da WoS (2018).

Diversas são as instituições que publicam sobre o assunto Biomassa e Biodiesel. Na Figura 12, verificam-se as principais instituições e os números de publicações sobre o assunto na base Scopus. Os destaques são para a USP (Universidade de São Paulo), com seis publicações sobre Biomassa e quatro publicações sobre Biodiesel e a Universidade Estadual de Campinas, com quatro publicações sobre Biomassa e duas publicações sobre Biodiesel.

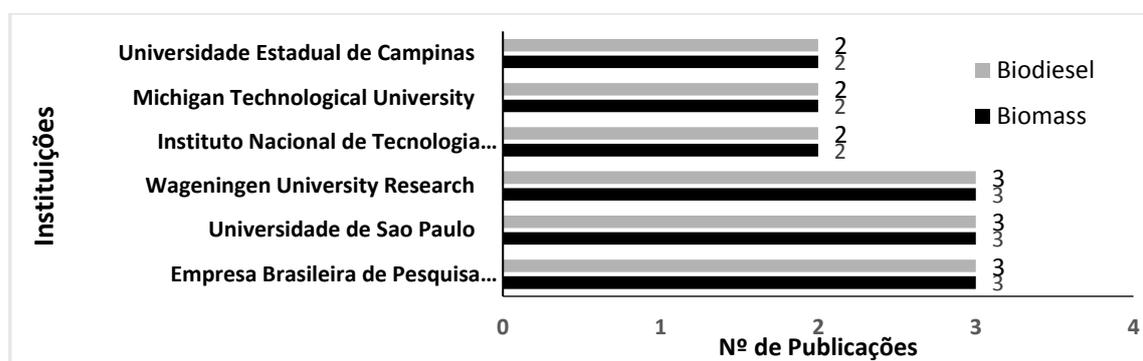
Figura 12: Instituições e os números de publicações citadas sobre os temas Biodiesel e Biomassa na base Scopus



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da Scopus (2018).

Na Figura 13, verificam-se as principais instituições e os números de publicações sobre o assunto na base WoS. Diversas instituições descrevem sobre os temas Biomassa e Biodiesel. Os destaques são para a USP (Universidade de São Paulo), com três publicações sobre Biomassa e três publicações sobre Biodiesel, a Embrapa, com três publicações sobre Biomassa e três publicações sobre Biodiesel e a Universidade Wageningen, centro de pesquisa agrícola da Holanda com três publicações sobre Biomassa e três publicações sobre Biodiesel.

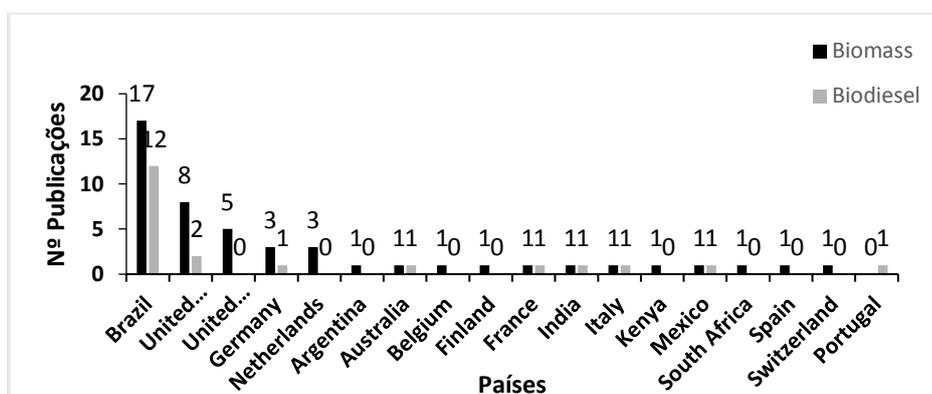
Figura 13: Instituições e os números de publicações citadas sobre os temas na base WoS



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da WoS (2018).

Na Figura 14, são apresentados os países e a quantidade de documentos publicados sobre o assunto Biomassa e Biodiesel na base Scopus. Destacam-se o Brasil com 17 documentos publicados sobre Biomassa e 12 sobre Biodiesel e os Estados Unidos com oito documentos publicados sobre Biomassa e dois sobre Biodiesel.

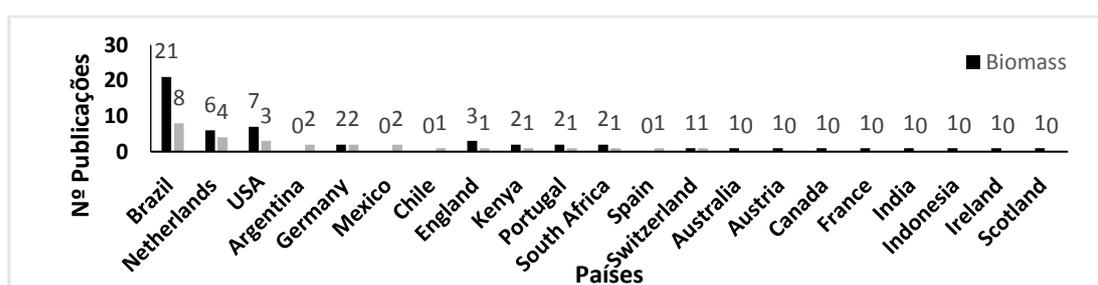
Figura 14: Países e os documentos publicados sobre os temas Biomassa e Biodiesel na base Scopus.



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da Scopus (2018).

Na Figura 15, são apresentados os países e a quantidade de documentos publicados sobre o assunto Biomassa e Biodiesel na base WoS. Destacam-se o Brasil com 21 documentos publicados sobre Biomassa e oito sobre Biodiesel, a Holanda com seis publicações sobre Biomassa e quatro sobre Biodiesel e os Estados Unidos com sete publicações sobre Biomassa e quatro sobre Biodiesel e os Estados Unidos com sete documentos publicados sobre Biomassa e três sobre Biodiesel.

Figura 15: Países e os documentos publicados sobre os temas Biomassa e Biodiesel na base WoS



Fonte: Adaptado pelo autor, conforme a base de dados da Scopus (2018).

Pode-se observar que nas Figuras 15 e 16 que o Brasil é o País que mais publica documentos sobre os temas Biomassa e Biodiesel. Isso representa um destaque no mundo em produção de biomassa e bioenergia em função dos programas de produção de bioetanol e biodiesel.

Em relação aos periódicos e suas publicações, na base Scopus, para os temas Biomassa e Biodiesel, o destaque foi o Biomass And Bioenergy, com sete publicações (TABELA 5). Em resumo, os artigos deste periódico registram sobre o tema Biomassa: 1- Balanço de massa de carbono de usinas brasileiras de etanol analisadas em quatro cenários com ou sem produção de eletricidade, usina integrada e a integração de tecnologias para produção de gás a partir da queima do bagaço. 2- Óleo de Macaúba sendo apresentado como uma matéria prima de biomassa sustentável para a produção de bioenergia com potencial de produção na América Central e no sul do Brasil. 3- Pêra espinhosa sendo apresentada como uma excepcional capacidade de produzir matéria prima de biomassa em condições climáticas desfavoráveis no Nordeste do Brasil com grande capacidade de produção de metano. 4- Potencial do uso de biomassa de queima de madeira florestal para serem utilizados em usinas à base de carvão. Disponibilidade da biomassa no sul do Brasil, avaliando a viabilidade econômica. 5- Estudo de caso, com avaliação de um sítio de produção de torresmo e café como autossustentável utilizando todos os resíduos de produção, produzindo

biodiesel, biogás, sabão, detergentes, dentre outros. 6- Análise de impactos sociais, econômicos e ambientais significativos no uso da terra em duas partes diferentes do mundo, São Paulo, Brasil, onde a cana-de-açúcar é a cultura perene predominante de biomassa, e Inglaterra, onde *Miscanthus* é a cultura predominante 7- Análise do impacto da implementação de um sistema de certificação no sistema de gestão (custos) e a disponibilidade de terra (quantidade) para a produção de bioenergia onde ocorreu estudo de caso de 12 áreas escolhidas entre a Ucrânia e o Sudeste do Brasil (TABELA 5).

Em relação aos periódicos e suas publicações, na base WoS, para uso dos temas Biomassa e Biodiesel, o que mais se destacou foi também Biomass And Bioenergy com oito publicações (TABELA 5). Em resumo, os artigos deste periódico registram sobre o tema Biomassa: 1- Produção de biomassa florestal no estado de Minas Gerais, Brasil, com estudo de metodologia baseada em Sistema de Informações Geográficas para a prospecção e alocação de usinas, considerando áreas mais adequadas para o desenvolvimento de plantas, a disponibilidade espacial de matérias-primas e a rede viária existente. 2- Avaliação da viabilidade da produção de etanol utilizando o software VENSIM para simular diferentes arranjos para o rendimento da cana, preços da gasolina e imposto sobre vendas (horizonte de 20 anos). A política de preço da gasolina afeta diretamente a produção do etanol. 3- Óleo de Macaúba sendo apresentado como uma matéria prima de biomassa sustentável para a produção de bioenergia. Grande potencial de produção na América Central e no sul do Brasil. 4- Estudo da produção de biocombustível à partir da palma de macaúba, quantificação e caracterização da produção por área plantada e dos resíduos processados. 5- Pêra espinhosa sendo apresentada como uma excepcional capacidade de produzir matéria prima de biomassa em condições climáticas desfavoráveis no Nordeste do Brasil com grande capacidade de produção de metano. 6- Estudo de caso, com avaliação de um sítio de produção de torresmo e café como autossustentável utilizando todos os resíduos de produção, e produzindo biodiesel, biogás, sabão, detergentes, dentre outros. 7- Análise de impactos sociais, econômicos e ambientais significativos no uso da terra em duas partes diferentes do mundo, São Paulo, Brasil, onde a cana-de-açúcar é a cultura perene predominante de biomassa, e Inglaterra, onde *Miscanthus* é a cultura predominante. 8- Análise do impacto da implementação de um sistema de certificação no sistema de gestão (custos) e a disponibilidade de terra (quantidade) para a produção de bioenergia onde

ocorreu estudo de caso de 12 áreas escolhidas entre a Ucrânia e o Sudeste do Brasil (TABELA 5).

Tabela 5: Número de registros na base Scopus e WoS.

Origem de publicação	Nº de publicação Scopus		Nº de publicação WoS	
	Biomass	Biodiesel	Biomass	Biodiesel
Biomass And Bioenergy	7	1	8	4
Renewable Sustainable Energy Reviews	1	1	3	1
Annals Of Arid Zone	1	1	0	0
Bioresource Technology	1	0	0	0
Cerne	1	0	0	0
Gcb Bioenergy	1	0	0	0
Energy And Environmental Science	1	0	0	0
Industrial Biotechnology	1	0	0	0
Refocus	1	0	0	0
Cadernos De Saude Publica	0	1	0	0
OCL- Oleagineux Corps Gras Lipides	0	2	0	0
Agricultural Engineering International Cigr Journal	1	0	0	0
Global Change Biology Bioenergy	0	0	2	0
Journal Of Cleaner Production	0	0	2	0
Sustainable Energy Technologies And Assessment	1	0	2	0
Environmental Management	1	1	0	2
Biofuels Bioproducts Biorefining	1	1	1	2
Clean Technologies And Environmental Policy	0	0	1	0
Climate And Development	1	0	1	0
Energy Policy	0	1	1	1
Environmental Science Policy	0	0	1	1
Forest Ecology And Management	1	0	1	0
Frontiers In Energy Research	0	0	1	0
Global Change Biology	0	0	1	0
Global Environmental Politics	0	0	1	1
Icopev International Conference On Project Economic Evaluation	0	0	1	0
Proceedings Of The 2nd International Conference On Project Evaluation Icopev	0	0	1	0
Science Of The Total Environment	1	1	1	1
Science	1	0	0	0
Soil Use And Management	0	0	1	0
Industrial Crops And Products	0	0	0	1
International Sugar Journal	0	1	0	1
Journal Of Agricultural Environmental Ethics	0	0	0	1
Journal Of Environment Development	0	0	0	1
Land Use Policy	0	0	0	1
Total	23	11	30	18

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus (2018).

Para esta etapa final, foram analisados os 31 documentos fornecidos pela base Scopus, sobre o tema Biomassa, e 10 artigos foram selecionados dentre os demais, e da base Web of Science, os 17 documentos fornecidos, seis foram selecionados dentre os demais sobre o tema Biodiesel. Com base na análise de seus resumos científicos e informações relevantes para este estudo, foram dispostos a seguir nos Quadro 2 e Quadro 3, respectivamente. Estes são aqueles considerados pelo autor que melhores correlacionam com as informações Biomassa, Biodiesel, Bioenergia e Sustentabilidade no Brasil bem como também foi levado em conta as citações das publicações.

Quadro 2: Artigos Selecionados da base Scopus sobre o tema Biomassa.

Título	Autor	Ano	Citações
Ethanol for a sustainable energy future	Goldemberg J.	2007	673
The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability	Stone, K.C., Hunt, P.G., Cantrell, K.B., Ro, K.S.	2010	64
Life cycle energy and greenhouse gas analysis for agave-derived bioethanol	Yan, X., Tan, D.K.Y., Inderwildi, O.R., Smith, J.A.C., King, D.A	2011	48
The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production - Applied for case studies in Brazil and Ukraine	Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C.	2010	40
The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production - Applied for case studies in Brazil and Ukraine	Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C.	2010	40
An evaluation of the techno-economic potential of co-firing coal with woody biomass in thermal power plants in the south of Brazil	Hoffmann, B.S., Szklo, A., Schaeffer, R.	2012	24
Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Walter Borges de Oliveira, S.V., Leoneti, A.B., Magrini Caldo, G.M., Borges de Oliveira, M.M.	2011	15
Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (<i>Saccharum officinarum</i>) plantation in south-central Brazil	Oliveira Bordonal, R., Lal, R., Alves Aguiar, D., (...), Theodor Rudorff, B.F., La Scala, N.	2015	13
Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review	Carvalho, J.L.N., Nogueirol, R.C., Menandro, L.M.S., (...), Cantarella, H., Franco, H.C.J.	2017	13
Biomass yield and calorific value of six clonal stands of <i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake cultivated in northeastern Brazil	Andrade, T.C.G.R., de Barros, N.F., Dias, L.E., Azevedo, M.I.R.	2013	3
Carbon mass balance in sugarcane biorefineries in Brazil for evaluating carbon capture and utilization opportunities	Souza Noel Simas Barbosa, L., Hytönen, E., Vainikka, P.	2017	2

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus (2018).

Quadro 3: Artigos Selecionados da base Web of Science sobre o tema Biodiesel.

Título	Autor	Ano	Citações
Environmental sustainability of biodiesel in Brazil	Castanheira, Erica Geraldes; Grisoli, Renata; Freire, Fausto; et al.	2014	32
Ethanol and food production by family smallholdings in rural Brazil: Economic and socio-environmental analysis of micro distilleries in the State of Rio Grande do Sul	Maroun, Maria Regina; La Rouere, Emilio Lebre	2014	14
Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences	Dourado Hernandez, Thayse A.; Bufon, Vinicius Bof; Seabra, Joaquim E. A.	2014	13
Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues	Evaristo, Anderson Barbosa; Saraiva Grossi, Jose Antonio; Oliveira Carneiro, Angelica de Cassia; et al.	2016	12
Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Walter Borges de Oliveira, Sonia Valle; Leoneti, Alexandre Bevilacqua; Magrini Caldo, Glauco Mateus; et al.	2011	8
Sustainability assessment of water hyacinth fast pyrolysis in the Upper Paraguay River basin, Brazil	Buller, Luz Selene; Ortega, Enrique; Bergier, Ivan; et al.	2015	4

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Web of Science (2018).

3.3.1 CARACTERÍSTICAS E VIABILIDADES DA BIOMASSA BRASILEIRA

Goldemberg (2007), no seu artigo “*Ethanol for a sustainable energy future*” cita que a energia renovável é uma das formas mais eficientes de alcançar o desenvolvimento sustentável. Ele cita que o aumento desta energia na matriz mundial prolongará a existência de reservas de combustíveis fósseis, as ameaças colocadas pelas alterações climáticas e permitir uma melhor segurança do aprovisionamento energético numa escala global. Apesar da maioria das novas fontes de energia renováveis ainda estarem em grande escala de desenvolvimento comercial, já existem algumas tecnologias bem desenvolvidas. Estes incluem o etanol de cana-de-açúcar brasileiro que é um produto de energia global e totalmente competitivo com a gasolina do motor e adequado para a replicação em muitos países.

Conforme Stone et al. (2010), no seu artigo *“The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability”*, citam que deverá haver sempre uma avaliação da produção de bioenergia em relação aos impactos nos fatores relacionados aos recursos hídricos: (1) impacto climático bem como no abastecimento de água para a produção de biomassa; (2) uso da água para a produção de culturas de bioenergia; e (3) alternativas potenciais para melhorar o suprimento de água para a bioenergia. O autor indica que haver consequências não intencionais tanto para os recursos hídricos quanto para insumos energéticos quando das mudanças para culturas alternativas de bioenergia com maior demanda de água. Os mesmos autores citam também que a cana-de-açúcar e o milho requerem 458 e 2036 m³ de água por metro cúbico de etanol produzidos, respectivamente. As necessidades de água para a produção de grãos de milho conforme Departamento de Energia dos EUA podem aumentar em aproximadamente 6 vezes, ou seja, de 8,6 para 50,1 km³. Além disso, a mudança climática está afetando os recursos hídricos em todo o mundo. O autor descreve que se deve sempre considerar as limitações dos recursos hídricos e suas conexões críticas com o ecossistema, integridade e sustentabilidade da alimentação humana quando do desenvolvimento de matérias-primas de bioenergia. A sustentabilidade da produção de biocombustíveis em larga escala é questionada tendo em vista as preocupações sobre o impacto associado nos recursos hídricos e terrestres.

Segundo Yan (2011) no seu artigo *“Life cycle energy and greenhouse gas analysis for agave-derived bioethanol”*, a produção de etanol é frequentemente criticada, quando produzido a partir de culturas alimentares como o milho nos EUA. O etanol derivado de matérias-primas de celulose é susceptível de superar algumas dessas desvantagens, mas a tecnologia de produção está para ser comercializada. O autor cita que o etanol de cana-de-açúcar é a opção mais eficiente a curto prazo, mas o sucesso no Brasil é difícil de replicar em outros países. Ele descreve que os agaves (um tipo de sisal) estão atraindo atenção como matérias-primas para produção de etanol em função de muitas características favoráveis, como altos teores de açúcar e capacidade de crescer em locais naturalmente limitados à água. Os resultados sugerem que o etanol derivado da agave é susceptível de ser superior, ao do milho, capins e cana-de-açúcar em termos de energia e equilíbrios de GEE.

Smeets et al. (2010), no seu artigo *“The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production – Applied for case studies in Brazil and*

Ukraine” analisaram o impacto da implementação de um sistema de certificação no sistema de gestão (custos) e a disponibilidade de terra (quantidade) para a produção de bioenergia. Foram selecionadas doze áreas socioeconômicas de preocupação (fornecimento de alimentos, trabalho infantil, salários, emprego, cuidados de saúde e educação) e áreas ambientais de preocupação (erosão do solo, esgotamento de recursos hídricos frescos, perdas de nutrientes e depleção de nutrientes do solo, a poluição dos produtos químicos e da biodiversidade) estão incluídas. Os exemplos de estudos de caso são os sistemas de produção de curta rotação na Ucrânia e no sudeste do Brasil em 2015. A produção de biomassa para fins energéticos, a níveis razoáveis de custo, obteve resultados indicando que parece viável, bem como cumprir critérios de sustentabilidade rigorosos. O conjunto impreciso de critérios não tem impacto sobre os custos da produção de culturas energéticas, que são calculados para ser €1.07.GJ⁻¹ no Brasil e €2.01.GJ⁻¹ na Ucrânia. Um conjunto rigoroso de critérios resulta em um aumento dos custos da produção de energia em 42% no Brasil e 14% na Ucrânia. Em geral, o cumprimento de critérios socioeconômicos rigorosos tem um impacto limitado sobre os custos, porque o modelo de produção por rotação curta é relativamente extenso, diferentemente dos critérios ambientais rigorosos que provavelmente têm um impacto maior.

Conforme Hoffmann (2012), na sua publicação “*An evaluation of the techno-economic potential of co-firing coal with woody biomass in thermal power plants in the south of Brazil*”, o Brasil tem condições edafoclimáticas favoráveis para o cultivo de biomassa para a energia. Por outro lado, o país planeja expandir seu parque de energia térmica usando combustíveis fósseis, incluindo carvão. O autor estima o potencial de biomassa de florestas queimando em plantas baseadas no carvão brasileiro (baixo nível de carvão) dos principais depósitos no sul do Brasil. Os limites técnicos de adição de biomassa arborizada a uma caldeira com uma cama fluida em funcionamento no carvão brasileiro são avaliados junto com a disponibilidade dessa biomassa no sul do Brasil.

As conclusões de Hoffmann (2012), indicam que o principal limite técnico para as caldeiras que operam com diferentes misturas de biomassa e de carvão é a alteração do volume de gases de escape, que varia consoante as percentagens de biomassa na combustão. Os limites para a disponibilidade de biomassa basearam-se na sustentabilidade ambiental e na viabilidade econômica dos transportes. Os resultados indicam que a biomassa deve estar disponível dentro de um raio de cerca

de 120 km, o que equivale a aproximadamente 4,5 milhões de hectares. Apenas 0,4% desta área seria necessário para alimentar uma planta térmica de 600 MW e com 30% de biomassa.

Conforme Walter et al. (2011), no seu artigo "*Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property*", devido a problemas ambientais crescentes, as fontes de energia tornaram-se um foco de pressões legais, éticas, sociais e econômicas. As fontes de energia não renováveis estão sendo cada vez mais substituídas por outras fontes renováveis e menos poluentes, com tecnologias destinadas à sustentabilidade. As empresas que adotarem formas alternativas de energia poderão aumentar a sua competitividade e utilizar resíduos para gerar energia, que é uma abordagem de eficiência ecológica e econômica. No interior do estado de São Paulo, Brasil, um produtor rural de torresmo e café avaliou todo o ciclo de produção de seus produtos e resíduos, buscando alcançar a auto-suficiência energética e identificar novas possibilidades de ganhos através de reduções custos.

Oliveira et al. (2015) no seu artigo "*Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (Saccharum officinarum) plantation in south-central Brazil*", indicam que o inventário do balanço de gases de efeito estufa (GEE) associado ao etanol à base de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é crítico para avaliar o grau de neutralidade do carbono (C) dos biocombustíveis. Poucos estudos consideraram as emissões de GEE provenientes do cultivo de cana-de-açúcar, levando em consideração mudanças diretas no uso da terra (dLUC- *direct land use change*). Este estudo foi realizado para aumentar a compreensão científica do balanço de GEE relacionado ao cultivo de cana-de-açúcar, considerando a dinâmica de todos os reservatórios de C (biomassa e solo) na conversão de diversos usos da terra em cana-de-açúcar durante 2006-2011 no centro-sul do Brasil.

Com base em uma avaliação abrangente dos dados da pesquisa de Oliveira et al. (2015) e considerando que o cultivo de cana e dLUC pode ser avaliado com credibilidade usando imagens de satélite de sensoriamento remoto, as estimativas de emissões de GEE foram realizadas usando as metodologias do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima) e expressas em termos de Tg CO₂ eq (Teragrama = 10¹²g) considerando um horizonte de tempo de 20 anos. O saldo geral acumulado de GEE foi de 217,1 Tg CO₂ eq até 2030, com uma emissão de 481,6 Tg CO₂ eq do cultivo de cana com um desvio de biomassa C de -274,5 Tg CO₂ eq. Os

solos tinham uma conta de C quase neutro com uma pequena emissão de 10,0 Tg CO₂ eq até 2030. Os autores demonstraram aumento de reservatórios C (biomassa e solo) quando da conversão de terras aráveis e pastoris em cana-de-açúcar, e uma diminuição dos reservatórios de C quando os citros, florestas plantadas e florestas naturais são convertidos em cana-de-açúcar. O impacto do dLUC na biomassa e nos reservatórios de C do solo devem ser considerados enquanto se expandem com a implementação da cana de açúcar como um mecanismo importante para a redução de GEE além das emissões evitadas através do uso de etanol de cana.

Carvalho et al. (2017) em seu artigo "*Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review*", indica que a demanda em grande escala de Bioenergia tem desencadeado novas abordagens para a gestão de palha nos campos brasileiros de cana. A maioria da palha atualmente retido na superfície do solo tornou-se economicamente viável para a produção de bioenergia, com a mudança progressiva de queimada para uma colheita não queimada. A escolha entre a necessidade de preservar a qualidade do solo e produzir mais bioenergia têm sido objeto de uma discussão intensa. O estudo apresenta uma síntese das informações disponíveis sobre a magnitude dos principais impactos da remoção de palha dos campos de cana-de-açúcar para a produção de bioenergia e, portanto, representa um recurso facilmente disponível para orientar as decisões de gestão sobre a recomendada quantidade de palha a ser mantida no campo para tirar proveito dos benefícios de agronomia, ambientais e industriais. Resíduos de culturas remanescentes em campos de cana fornecem inúmeros serviços de ecossistemas, incluindo reciclagem de nutrientes, biodiversidade do solo, armazenamento de água, acúmulo de carbono, controle de erosão do solo e infestação de ervas daninhas.

Além disso, vários estudos relataram maior produção de cana-de-açúcar com a retenção de palha no campo, enquanto poucos sugerem que a palha pode comprometer a produção de biomassa em regiões frias e algumas condições específicas de solo, como relatado por Carvalho et al. (2017). O controle de pragas também está entre os parâmetros favorecidos pela remoção de palha, enquanto as emissões de N₂O são aumentadas apenas se a palha está associada com a aplicação de N fertilizante e vinhaça. Em geral, esta revisão indica que, a maior parte dos benefícios de agronomia e ambientais são obtidos quando pelo menos 7 Mg.ha⁻¹ de palha seca é mantida na superfície do solo. No entanto, os esforços de modelagem são de extrema importância para avaliar a magnitude e as taxas de remoção de palha

considerando os vários indicadores envolvidos nesta equação complexa, de modo que uma taxa de recuperação de palha poderia ser fornecida aos produtores e indústria para uma maior sustentabilidade.

Andrade et al. (2013), informam em seu artigo "*Biomass yield and calorific value of six clonal stands of Eucalyptus urophylla S. T. Blake cultivated in northeastern Brazil*" que a demanda mundial por energia limpa e sustentável aumentou nos últimos anos. Uma potencial fonte de energia alternativa é a biomassa de florestas não nativas, particularmente do gênero *Eucalypto* spp. no caso específico do Brasil, atualmente com vários suportes clonais selecionados para produção de energia. Como cada stand se adapta de forma diferente a diferentes ambientes, são necessários estudos específicos para avaliar a produção de energia em uma determinada região. Os autores indicam que o objetivo deste estudo é determinar, dentre seis stands clonais de *eucalypto urophylla* S. T. Blake, que têm maior potencial de produção de biomassa e energia na região centro-sul do Maranhão (Grajaú). Os suportes clonais plantados em um espaçamento de 4 x 3 m distante foram avaliados na idade 41 meses, distribuídos em um projeto completamente randomizado com cinco replicadores. Cada parcela experimental consistiu em 100 árvores. A análise incluiu a determinação da produção e distribuição de biomassa em cada porção de árvore, bem como o valor calorífico dos componentes de casca e madeira. Dos seis stands clonais, dois superaram os outros, tanto no rendimento da biomassa e na geração de energia, superando o menor rendimento em até 27%.

Souza et al. (2017), publicam em seu artigo "*Carbon mass balance in sugarcane biorefineries in Brazil for evaluating carbon capture and utilization opportunities*", indica que as refinarias da cana-de-açúcar, apesar da sua contribuição para os combustíveis de transporte sustentáveis e mitigação das emissões de carbono no sector da mobilidade, produzem uma grande quantidade de dióxido de carbono nos seus processos de conversão. De acordo com o Acordo Climático de Paris, um sistema de energia neutra em carbono deve ser lançado nos próximos anos, e neste cenário, serão necessários processos industriais livres de emissão de gases de efeito estufa e fontes alternativas de carbono. Portanto, este artigo apresenta a avaliação do balanço de massa de carbono de uma usina brasileira de etanol típica para entender melhor seu potencial de melhoria energética e de produção de carbono.

Para Souza et al. (2017), devido ao fato de que as usinas brasileiras estão evoluindo desde a primeira geração até a usina integrada de primeira e segunda

geração, foram analisados quatro cenários diferentes. Para uma planta de primeira geração sem (s-I) e com conversão de palha em eletricidade (s-II) e para a planta integrada (s-III), os resultados do balanço de massa de carbono mostraram que o carbono da cana-de-açúcar colhido foi principalmente convertido em CO₂ e em uma proporção menor em etanol. Nos casos modelados s-I a s-III a conversão de carbono de cana-de-açúcar em CO₂ e etanol variou de 41% para 53% e 17% a 22%, respectivamente. Como essa quantidade de carbono nos fluxos de CO₂ fornece uma plataforma interessante para aumentar a bioenergia produzida e a proporção de carbono a combustível colhida, um quarto cenário (S-IV) que estuda a integração das tecnologias de uso do gás (PtG – Power to Gas) no moinho também foi considerado. PtG pode aumentar o teor de energia dos combustíveis de cana de 9,3 kW/ha para 33,6 kW/ha usando 1361,3 MWe de eletricidade, aumentando a quantidade de carbono de cana transformada em combustíveis baseados na cana para 54% e convertendo CO₂ em um produto de alto valor acrescentado.

3.3.2 DISCUSSÕES SOBRE O BIODIESEL BRASILEIRO

Castanheira, et al. (2014) em seu artigo “*Environmental sustainability of biodiesel in Brazil*”, indica que a produção de biodiesel no Brasil cresceu de 736 m³ em 2007 para 2,7 mil m³ 2012. É uma bioenergia emergente para a qual é importante garantir a sustentabilidade ambiental. O objetivo do artigo foi caracterizar a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil, identificar potenciais impactos ambientais e analisar os principais direcionadores e barreiras para a sustentabilidade ambiental do biodiesel. O artigo explora esses aspectos e enfoca a crescente demanda pelas principais matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil: óleo de soja e sebo bovino. Os impactos do uso da terra e da mudança no uso da terra nas emissões de gases de efeito estufa, biodiversidade e água, bem como no balanço energético, foram considerados críticos para a avaliação da sustentabilidade ambiental e desenvolvimento de cadeias de biodiesel. Aumentar a produção agrícola, diversificar as matérias-primas e adotar a transesterificação de etila pode contribuir para minimizar os impactos ambientais. Esse estudo constatou também que, os impactos ambientais poderiam ser mitigados por meio de políticas adequadas, visando à

otimização integrada da produção de alimentos e bioenergia e ao zoneamento agroeconômico-ecológico, permitindo o uso adequado da terra para cada finalidade. Apesar da limitação e fragilidade de algumas ferramentas e iniciativas de sustentabilidade, a certificação e o zoneamento podem desempenhar um papel importante na sustentabilidade da produção emergente de biodiesel no Brasil.

Maroun et al. (2014) em seu artigo "*Ethanol and food production by family smallholdings in rural Brazil: Economic and socio-environmental analysis of micro distilleries in the State of Rio Grande do Sul*", relata que tendo em vista as perspectivas do etanol da indústria de cana-de-açúcar no Brasil e os biocombustíveis, o atual debate internacional, algumas questões devem ser examinadas. Por exemplo, a estrutura para a futura expansão da produção de etanol, para atender às necessidades de abastecimento nos níveis nacional e internacional, utilizando o modelo de produção atual, não leva em consideração a perspectiva do desenvolvimento regional e rural do Brasil. Embora atualmente não haja impedimentos para a cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul (RS), maior produtora brasileira de biodiesel, ela importa 98% de sua demanda por etanol de São Paulo e outras regiões. A promoção do mercado de etanol naquele Estado poderia passar por um modelo produtivo diferente da prática nas monoculturas industriais, dadas suas características culturais e agrícolas.

Maroun et al. (2014) ainda comentam que o Sistema Integrado de Alimentos e Energia (SIAE) da Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil Ltda (COOPERBIO-n), implantado em caráter experimental no Estado, apresenta múltiplos benefícios econômicos, sociais e ambientais, potencializando a atual alimentação, produção por pequenos produtores e favorecer o maior consumo de etanol de cana-de-açúcar no interior do RS. Com alguns ajustes e políticas e instrumentos governamentais adequados, a expansão desse modelo pode até cobrir a demanda atual do Estado. Além da produção de energia e alimentos menos dependentes de combustíveis fósseis, esse modelo contribui para a preservação de serviços ecossistêmicos e para o desenvolvimento sustentável rural inteligente do clima.

Dourado et al. (2014) em seu artigo "*Water Footprint (WF) of Biofuels in Brazil: Assessing Regional Differences*" indicam que, a expansão que se espera para a bioenergia no Brasil tem levantado preocupações sobre a disponibilidade futura de

recursos hídricos, embora a atual situação esteja relativamente confortável. Como a disponibilidade de água no território brasileiro é desigual, a expansão da bioenergia pode representar diferentes impactos sobre os recursos hídricos de diferentes regiões. Os autores também avaliaram três aspectos em nível municipal e estadual: (1) a pegada hídrica verde (águas pluviais que não escoam) e azul (águas superficiais ou subterrâneas) dos principais biocombustíveis líquidos produzidos no Brasil (etanol de cana e biodiesel); (2) os impactos das estratégias de irrigação integral e de salvamento na cana-de-açúcar e (3) a demanda de água para diferentes cenários de uso da terra agrícola. Para os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás a WF do etanol de cana foi avaliada em torno de 71 I.MJ⁻¹, enquanto no Estado do Paraná chegou a 100 I.MJ⁻¹.

Além disso, para o biodiesel os respectivos valores foram 40 e 50 I.MJ⁻¹. O WF azul foi insignificante para ambos os biocombustíveis, já que o uso de irrigação ainda é limitado no Brasil atualmente. Além disso, a análise mostrou que estratégias de irrigação completas e de resgate levariam a WFs mais baixas em todos os estados considerados, embora em detrimento de volumes maiores de WF azul. Em relação à mudança no uso da terra, os resultados sugeriram que a evapotranspiração adicional está ocorrendo devido à expansão da cana-de-açúcar. No entanto, dada a situação atual das bacias hidrográficas brasileiras, não há evidências de que a expansão da cana-de-açúcar nessas áreas leve a uma pressão crítica sobre os recursos hídricos.

O artigo "*Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues*" de Evaristo et al. (2016) relatam que a produção de biocombustível deve optar preferencialmente por múltiplas matérias-primas. Exemplifica o caso da palma de macaúba, cujo fruto é usado na produção de biodiesel e os resíduos sólidos resultantes também são usados como combustível sólidos. A produtividade da palmeira foi avaliada em dois cenários: cenário 1) valores médios de produção e 2) usando os 10% das melhores plantas, em termos de número de cacho por planta. O rendimento de frutos no cenário 2 foi 98% superior ao do cenário 1, que não ultrapassou 2,32 Gg.km⁻² por ano de frutas frescas. Estes resultados indicam que a fruta macaúba é uma fonte promissora de matérias-primas primárias e residuais para a produção de biocombustíveis. Escala de produção satisfatória seria de um programa de melhoramento para maximizar a produção de frutas das plantas, como imitado pelo cenário 2.

Conforme Walter et al. (2011), no seu artigo "*Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property*", as fontes de energia tornaram-se um foco de pressões legais, éticas, sociais e econômicas devido a problemas ambientais crescentes. No estudo de caso do interior do Estado de São Paulo, Brasil, um produtor rural de torresmo e café avaliou todo o ciclo de produção de seus produtos e resíduos, buscando alcançar a auto-suficiência energética e identificar novas possibilidades de ganhos através de reduções custos. O biodiesel, o sabão e o detergente são produzidos com a gordura animal desperdiçadas da produção do torresmo da carne de porco. Resíduos de fazenda de suínos tornam-se biomassa para um biodigestor, que produz biogás suficiente para manter os leitões aquecidos, secar o café, fritar a carne de porco, e gerar eletricidade, entre outros usos. O biofertilizante produzido pelo biodigestor ajuda a fertilizar as plantações do café e do milho. O autor realizou um estudo de caso envolvendo análises qualitativas e quantitativas de variáveis ambientais, sociais e econômicas. Conclui-se que o investimento feito neste projeto rende excelentes retornos, com economias de 100% em combustíveis, 50% em energia elétrica e 40% em fertilizantes, além de ganhos dos produtos desenvolvidos com os resíduos.

Buller et al. (2015) em "*Sustainability assessment of water hyacinth fast pyrolysis in the Upper Paraguay River basin, Brazil*" informam que a pirólise rápida do jacinto-de-água, ou aguapé, produzida naturalmente foi avaliada através da abordagem de contabilidade de energia. As análises foram realizadas para avaliar a influência de serviços adicionais e externalidades em indicadores de Energia para uma unidade de planta de pirólise capaz de processar 1000 kg de biomassa seca por hora. A abordagem inicial foi uma avaliação tradicional de energia na qual os fluxos financeiros e externalidades não foram considerados. Para complementar a avaliação de sustentabilidade fornecida pelo método de Energia, foi realizada uma análise financeira regular para o segundo sistema definido. Isso mostra que o sistema é financeiramente atraente, mesmo com a contabilização de custos adicionais. Os resultados obtidos neste estudo poderão ser utilizados como limites máximo e mínimo para subsidiar políticas regulatórias para novas atividades econômicas em áreas úmidas tropicais envolvendo exploração de recursos naturais e sistemas bioindustriais.

3.4 CONCLUSÕES

O artigo apresentou uma bibliometria sobre biomassa, bioenergia e sustentabilidade. Os temas são muito pertinentes em função da importância da sustentabilidade e alterações climáticas no mundo e as pressões da sociedade para redução dos gases de efeito estufa. O foco do estudo foi no Brasil e no final foram destacadas 10 publicações relevantes sobre o assunto Biomassa da base Scopus e seis publicações sobre o assunto Biodiesel da base Web of Science.

Foi possível observar durante a pesquisa que há diversos trabalhos acadêmicos em todo o mundo referentes aos temas estudados, tal é a importância do assunto para o mundo. O Brasil se destaca como um país que mais documentos publicam sobre os temas Biomassa e Biodiesel com destaques para as universidades de São Paulo, Campinas e Embrapa. Isso representa que o país tem destaque no mundo em produção de biomassa e bioenergia em função dos programas de produção de bioetanol e biodiesel.

O modelo de estudo proposto por Costa (2010) é válido ao direcionar um pesquisador sobre uma determinada área de conhecimento, uma vez que trabalhos acadêmicos são reunidos sobre certo tema baseados em sua relevância e credibilidade, além de apresentar os autores que mais publicam periódicos, países que desenvolvem pesquisas a respeito, as áreas de conhecimento relacionadas, tipos de publicações e as instituições que tem maior número de publicação.

As contribuições aqui foram muitas em função de todos os estudos sobre o tema bioenergia utilizando-se diversos produtos da natureza e estudos realizados em muitas instituições nacionais e internacionais. Ainda há estudos para serem realizados, principalmente aqueles que buscam utilização de matérias primas ainda não utilizadas e talvez a busca por melhorias e eficiência de misturas dos óleos gerados por oleaginosas para produção de biodiesel.

3.5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. C. G. R. *et al.* *Biomass yield and calorific value of six clonal stands of Eucalyptus urophylla S. T. Blake cultivated in Northeastern Brazil.* **Cerne**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 467-472, set. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602013000300014>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602013000300014&lang=pt. Acesso em: 27 Set. 2018.

BARBOSA, L. de S. N. S.; HYTÖNEN, E.; VAINIKKA, P. *Carbon mass balance in sugarcane biorefineries in Brazil for evaluating carbon capture and utilization opportunities.* **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 105, p. 351-363, out. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.07.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417302362>. Acesso em: 04 out. 2018.

BORDONAL, R. O. *et al.* *Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (Saccharum officinarum) plantation in south-central Brazil.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 52, p.547-556, dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.137>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007844>. Acesso em: 02 nov. 2018.

BUCKERIDGE, M. S.; SOUZA, A. P. ***Advances of basic science for second generation bioethanol from sugarcane.*** New York: Springer, 2017, 219 p. ISBN 978-3-319-49826-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49826-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-49826-3>. Acesso em: 03 dez. 2018

BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H. ***Routes to cellulosic ethanol.*** New York: Springer, 2011, 266 p. ISBN 978-0-387-92740-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-92740-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-0-387-92740-4>. Acesso em: 08 dez. 2018.

CALDEIRA-PIRES, A., *et al.*, *Implications of removing straw from soil for bioenergy: An LCA of ethanol production using total sugarcane biomass.* **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 181, p. 249-259, abr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.119>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618301380>. Acesso em: 09 nov. 2018

CARVALHO, J. L. N., *et al.* *Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review.* **Gcb Bioenergy**, [s.l.], v. 9, n. 7, p.1181-1195, 15 dez. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12410>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12410>. Acesso em: 18 nov. 2018.

CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de Aplicação e inovações voltadas ao uso racional de defensivos agrícolas em culturas destinadas à produção de bioenergia. In: LEMOS, E. G. de M.; STRADIOTTO, N. R. **Bioenergia:**

Desenvolvimento, pesquisa e inovação. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. cap. 3. p. 54-82

COSTA, H. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista FAE**, Curitiba, v. 13, n.1, p. 115-126, jan./jun. 2010.

CZYRNEK-DELÊTRE, M. M. *et al.* *Impact of including land-use change emissions from biofuels on meeting GHG emissions reduction targets: the example of Ireland.* **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 1745-1758, 14 mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-016-1145-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1145-8>. Acesso em: 04 nov. 2018.

EVARISTO, A. B. *et al.* *Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues.* **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 85, p. 18-24, fev. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415301641>. Acesso em: 02 dez. 2018

GALLARDO, A. L. C. F.; BOND, A. *Investigating the effectiveness of environmental assessment of land use change: A comparative study of the approaches taken to perennial biomass crop planting in São Paulo and England.* **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 35, n. 5, p.2285-2297, maio 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411001401>. Acesso em 29 set.2018.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOLDEMBERG, J. *Ethanol for a Sustainable Energy Future.* **Science**, [s.l.], v. 315, n. 5813, p. 808-810, 9 fev. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1137013>. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/315/5813/808>. Acesso em: 22 dez. 2018

HOFFMANN, B. S.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. *An evaluation of the techno-economic potential of co-firing coal with woody biomass in thermal power plants in the south of Brazil.* **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 45, p.295-302, out. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412002528>. Acesso em: 23 nov.2018.

IEA – International Energy Agency – **ENERGY STATISTICS, Matriz energética do Brasil.** Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 22 de Agosto 2018.

KAMALI, F. P. *et al.* *Towards social sustainability: Screening potential social and governance issues for biojet fuel supply chains in Brazil.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 92, p. 50-61, set. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.078>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/324840585_Towards_social_sustainability_Screening_potential_social_and_governance_issues_for_biojet_fuel_supply_chains_in_Brazil. Acesso em: ago. 2018.

LAGO, R. C. *Castor and jatropha oils: production strategies – A review*. **Oléagineux Corps Gras Lipides**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 241-247, jul. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1684/ocl.2009.0272>. Disponível em: <https://www.ocl-journal.org/articles/ocl/abs/2009/04/ocl2009164p241/ocl2009164p241.html>. Acesso em: nov. 2018.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, Soil – The Final Frontier, **Science**, [s.l.], v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, jun. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1097396>. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/304/5677/1623>. Acesso em: jun. 2018.

LEMOS, E. G. M, STRADIOTO, N. R. **Bioenergia- Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. 765 p. ISBN 978-85-7983-256-7

MME – Ministério das Minas e Energias. **Resenha Energética Brasileira**. 2018, 17 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira>. Acesso em: 01 jul. 2018.

MORAES, M. M. G. A. de et al. *Integrated economic models to support decisions on water pricing in biofuel production river basins: three case studies from Brazil*. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 255-269, 28 set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.1581>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bbb.1581>. Acesso em: 25 Jul. 2018 .

OLIVEIRA, J. L. de et al. *Gasification of waste from coffee and eucalyptus production as an alternative source of bioenergy in Brazil*. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s.l.], v. 27, p. 159-166, jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2018.04.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138817302655>. Acesso em: 26 nov. 2018.

OLIVEIRA, S. V. W. B. et al. *Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property*. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 35, n. 7, p. 2608-2618, jul. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411001231>. Acesso em: 28 nov. 2018.

PLATH, M. et al. *A novel bioenergy feedstock in Latin America? Cultivation potential of *Acrocomia aculeata* under current and future climate conditions*. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 91, p.186-195, ago. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.04.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416301234>. Acesso em: 01 dez. 2018.

SANTOS, T. N. et al. *Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas*. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 85, p. 215-222, fev. 2016. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.12.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341530177X>. Acesso em 16 nov. 2018.

SLADE, R., Di Lucia, L., Adams, P., *How Policy Makers Learned to Start Worrying and Fell Out of Love With Bioenergy*. 2017. p. 11-28. DOI:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00002-1>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081010365000021>. Acesso em: 12 out. 2018.

SMEETS, E. M. W.; FAAIJ, A. P. C. *The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production – Applied for case studies in Brazil and Ukraine*. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 319-333, mar. 2010. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.11.003>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953409002323>. Acesso em: 29 nov. 2018.

SOUZA, S. P. et al. *Potential of Sugarcane in Modern Energy Development in Southern Africa*. **Frontiers in Energy Research**, [s.l.], v. 4, n.39, p. 1-11, 26 dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2016.00039>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2016.00039/full>. Acesso em: 03 dez. 2018.

SOZINHO, D. Wi. F. et al. *Towards strengthening sustainability instruments in the Brazilian sugarcane ethanol sector*. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 182, p. 437-454, maio 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.261>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618302981>. Acesso em: 06 nov. 2018.

STONE, K. C. et al. *The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability*. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 101, n. 6, p. 2014-2025, mar. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.037>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409014138>. Acesso em: 24 nov. 2018.

TEIXEIRA, T. R. et al. *Forest biomass power plant installation scenarios*. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 108, p. 35-47, jan. 2018. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.006>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417303227>. Acesso em: 05 dez. 2018.

UPHAM, P. et al. *The sustainability of forestry biomass supply for EU bioenergy: A post-normal approach to environmental risk and uncertainty*. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 510-518, ago. 2011. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.010>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901111000414>. Acesso em: 03 dez. 2018.

YAN, X. et al. *Life cycle energy and greenhouse gas analysis for agave-derived bioethanol*. **Energy & Environmental Science**, [s.l.], v. 4, n. 9, p. 3110-3121, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee01107c>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/journals/journalissues/ee#!issueid=ee004009&type=current&issnprint=1754-5692>. Acesso em: 20 nov. 2018

4 DEMANDA DE BIODIESEL NO BRASIL: PRIMEIRO DECÊNIO

4.1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global modificou o posicionamento das sociedades em relação ao meio ambiente, exigindo desenvolvimento e crescimento sustentáveis. Os países em geral não pretendem desacelerar o crescimento ou o consumo, e tão pouco reduzir a qualidade de vida da humanidade. Entretanto, as nações abordam o compromisso para consolidar uma matriz energética ecologicamente amigável para produção de novas riquezas. Daí percebe-se, que serão grandes os desafios para que o planeta utilize apenas energias renováveis, principalmente, no transporte e na indústria.

Nesse estudo se discute as contribuições do biodiesel quanto fonte de energia renovável usada no transporte tornando-o mais sustentável para as macroeconomias, gerando políticas de utilização mais balanceada das matérias-primas e das tecnologias disponíveis, e incentivando inovações ao setor. Esse estudo é relevante na medida em que pode auxiliar nas previsões de demanda de biodiesel, e permitir melhor planejamento de políticas públicas nacionais de produção, importação e legislação. O tema é de interesse para as empresas e associações do setor como as indústrias consumidoras, distribuidoras, cooperativas rurais, consumidores e investidores. O tema é de grande relevância para o desenvolvimento sustentável do Brasil e do mundo.

Considerando-se o conceito de sustentabilidade progressiva, a energia e os produtos químicos, cada vez mais, deverão ser obtidos de fontes renováveis e socioambientais, nesse contexto esse estudo analisa diferentes matérias-primas e tecnologias disponíveis para a produção de biodiesel. Tomando por referência o marco legal instituído a partir do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB (2004) e a Lei 11.097 (2005) – que introduz o biodiesel na matriz energética brasileira. A abordagem aqui proposta é divulgar informações sobre o biodiesel brasileiro ao público em geral e agentes econômicos que atuam ao longo dessa cadeia de agronegócios, apresentar dados relativos aos preços praticados, atos normativos, produção e consumo, localização e capacidade das instalações.

Adicionalmente, como um estudo de caso, foram testados modelos de previsão, apoiados nos dados do consumo brasileiro mensal e anual de biodiesel registrado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

O dimensionamento das demandas de biodiesel é essencial para o acompanhamento do cenário nacional, seja para evitar interrupções no fornecimento, seja para orientar a progressão da proporção legal de biodiesel na mistura com diesel, ou no processo de impedimento ou liberação de importações de biodiesel. Pode ser usado, ainda, para antever preços e subsídios de competitividade, ou políticas de incentivo ao aumento da produção ou de pesquisas tecnológicas, analisar as relações entre a política ambiental mundial e a matriz energética brasileira, dando enfoque à tecnologia do biodiesel e as políticas brasileiras instituídas a partir do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB, Lei 11.097).

Além disso, foi possível estabelecer hierarquia entre as principais técnicas de previsão de demanda e selecionar aquela mais aderente às necessidades brasileiras de produção de biodiesel, considerando a curva histórica de consumo nos anos de 2010 a 2016 e sua relação com o preço e a matéria prima usada.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

4.2.1 PANORAMA ENERGÉTICO GLOBAL E BRASILEIRO

O consumo de energia de uma sociedade é um forte indicador de desenvolvimento econômico, qualidade de vida e crescimento demográfico. O maior desafio no uso da energia é desenvolver tecnologias que aumentem sua eficiência ou utilização de fontes alternativas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Entretanto, a política e a economia internacional de alguns países estão pouco propensas a assumir compromissos para fortalecer o desenvolvimento de uma matriz energética sustentável (TOLMASQUIM, 2007). O conceito de energia primária é a matéria-prima com origem de fontes renováveis ou não. Estas são conduzidas a complexas unidades de conversão em fonte de energia secundária ou final, tais como: gasolina, carvão processado, diesel mineral, biodiesel, as quais são direcionadas ao consumidor final.

A participação das diversas formas de energia primária na matriz mundial no ano de 2006 em comparação à 2016, demonstra a evolução no cenário mundial (TABELA 6). Segundo a Agência Internacional de Energia, a utilização de fontes renováveis na matriz energética global cresceu 21,2% entre 2006 e 2016 (*Key World Energy Statistics*, 2018). Sendo que em 2016, a principal fonte de energia primária ainda era o petróleo, com participação de 31,9%, apesar de um aumento de 8,0% em

comparação ao ano de 2006, porém com uma variação para menor de -2,40%. Seguido do carvão com 27,1%, e do gás natural em terceiro lugar, com 22,1%. As energias hidráulica e nuclear contribuíram, respectivamente, com 2,5% e 4,9%, ainda que, a energia nuclear tenha reduzido 1,21%. As fontes renováveis de energia elétrica, tais como a solar, a eólica e a biomassa contribuíram com 11,5%.

Dados estatísticos da Key World Energy Statistics (2018) mostram que as duas maiores regiões produtoras de energia primária do mundo são: países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e China que juntos são responsáveis por 60,0% da energia primária produzida no mundo, seguidos da Ásia com 20,4%. Deste modo, estas regiões concentram 80,4% da produção de energia primária global. Os maiores consumidores de energia do mundo são países da OECD, China e Ásia, totalizando 72,2% do consumo mundial.

Tabela 6 - Contribuição mundial das fontes primárias de energia em 2006 e 2016

Fontes de Energia	2006 (%)	2016 (%)	Varição
Petróleo	34,30	31,90	-2,40
Carvão	26,80	27,10	0,30
Gás natural	20,40	22,60	2,20
Energia nuclear	6,20	5,00	-1,20
Hidroeletricidade	2,20	2,50	0,30
Fontes renováveis ¹	9,40	9,80	0,40
Outras ²	0,63	1,64	1,01
Total³ =	11.836,00	13.760,00	

¹ inclui biodiesel, etanol, carvão vegetal e biomassas; ² inclui energias geotérmica, eólica, solar e calorífica; ³(Mtep) mil toneladas equivalentes de petróleo. Fonte: adaptado pelo autor, conforme IEA (2018).

Também de acordo com o relatório síntese do Balanço Energético Nacional (EPE, 2016), 81,1% do total de energia primária produzida no planeta, ainda é proveniente de combustíveis fósseis e 4,9% de origem nuclear, os quais juntas respondem pela parcela de 86,0% da oferta de primária no mundo, já as fontes de energia renováveis contribuem apenas com 13,9%.

O cenário mundial aqui apresentado mostra como são grandes os desafios a serem superados pelas fontes de energias renováveis para que se tornem as fontes impulsionadoras da economia moderna, com preço competitivo, variedade de derivados e múltipla utilização em setores essenciais.

Do ponto de vista ecológico, o Brasil apresenta matriz mais diversificada e com forte tendência a energias renováveis (Tabela 7).

Tabela 7 - Variação da oferta interna de energia primária no Brasil em 2016 e 2017.

Fontes de Energia	2016 (Mtep)	2017 (Mtep)	Variação
Petróleo	105,40	106,20	0,80
Carvão	15,90	16,60	0,70
Gás natural	35,60	37,90	2,30
Urânio (U ₃ O ₈)	4,20	4,20	0,00
Hidráulica e hidroeletricidade	36,30	35,00	-1,30
Biomassa de cana ¹	50,30	49,80	-0,50
Carvão vegetal	23,10	23,40	0,40
Outras renováveis	15,70	17,10	1,4
Total =	288,30	292,10	

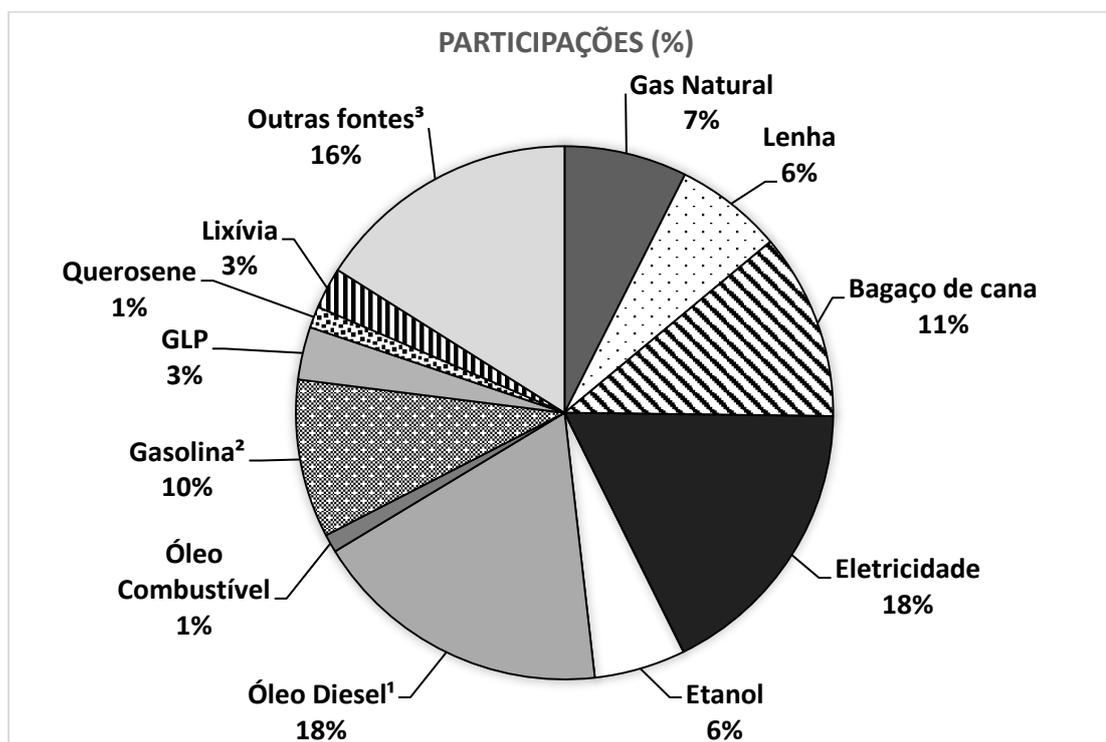
Legenda: (Mtep) mil toneladas equivalentes de petróleo; Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de EPE (BEN 2018)

Apesar disso, o desenvolvimento econômico e social do Brasil foi edificado sobre as bases de combustíveis não renováveis, como o petróleo, que em 2017 apresentou oferta interna de 106,2 Mtep, um pequeno aumento de 0,8 Mtep em comparação ao ano de 2016. A oferta de gás natural aumentou de 35,6 Mtep para 37,9 Mtep, ao passo que o carvão mineral aumentou de 15,9 Mtep para 16,6 Mtep e com o urânio não houve nenhum aumento.

Os demais correspondem a energia renovável, como a hidroelétrica, a produção de etanol, carvão vegetal e outras biomassas para fins energéticos, inclusive o biodiesel, além de energia solar, eólica e térmica, que somados representaram 42,9% da oferta de energia em 2017. Portanto, o Brasil dispõe de uma matriz energética diversificada com forte tendência a produção de energia primária renovável.

No Brasil, o consumo de energia final para fins industriais, comerciais, residenciais, setor energético, agropecuária e serviços, também é bastante diversificado, conforme indicado na Figura 16 a energia final por fonte.

Figura 16 - Consumo brasileiro de energia final por fonte, 2018.



Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de EPE (BEN 2018).

Nota: 1-Inclui o biodiesel. 2- Inclui gasolina de aviação. 3- Inclui gás de refinaria, coque, alcatrão, nafta, carvão mineral, dentre outros energéticos de petróleo.

Entre 2016 e 2017, as três principais fontes de energia foram o diesel em mistura legalizada de biodiesel (18,1%), seguido de eletricidade (17,5%), produzido pela geração hidroelétrica, e o bagaço de cana (11,3%). Expressivamente, somam 16,1%, dentre outras fontes, o gás de refinaria, o coque de carvão mineral e o carvão vegetal. Só então destacam-se os demais, como gasolina automotiva (9,6%), gás natural (7,4%), lenha (6,5%), etanol (5,5%), GLP (gás liquefeito de petróleo com 3,2%), lixívia de produtoras de celulose (2,5%), óleos combustíveis (1,1%) e querosene (1,3%).

Outro ponto a ser abordado, sobre a diversificação da matriz brasileira, se refere à segurança energética, pois possibilita a formação de uma matriz diversificada e robusta capaz de absorver descontinuidade de fornecimento frente à demanda de um dado energético, anulando os impactos negativos na balança comercial – pela importação de combustíveis - e recessão do mercado nacional (EPE, BEN 2017).

Em 2016 e 2017, o setor industrial registrou variação positiva de 1,0% (Tabela 8). Quanto à energia elétrica, apesar do incremento no consumo de 0,9%, houve recuo na oferta de energia proveniente da matriz hidráulica, provocadas por poucas chuvas

no período. Os consumos residenciais e de serviços, foram supridos pelas novas termoelétricas movidas a gás natural, de custo mais elevado (EPE, 2018).

Tabela 8 - Consumo das fontes finais de energia no Brasil entre 2016/17

Parâmetros	Unidade	2016	2017	Variação (%)
Setores				
Indústria	10 Mtep	84,30	85,10	1,00
Transporte	10 Mtep	82,60	84,60	2,30
Residências	10 Mtep	24,80	25,00	0,50
Energético	10 Mtep	26,30	26,00	-0,30
Agropecuário	10 Mtep	10,30	10,50	1,90
Consumo final por fonte¹				
Óleo Diesel ²	10 ⁶ tep	46,25	46,74	1,10
Eletricidade	10 ⁶ tep	44,82	45,24	0,90
Bagaço de cana	10 ⁶ tep	29,79	29,13	-2,20
Gasolina ³	10 ⁶ tep	24,22	24,86	2,60
Gás Natural	10 ⁶ tep	18,19	18,42	1,30
Lenha	10 ⁶ tep	15,99	16,69	4,30
Etanol	10 ⁶ tep	13,89	13,86	-0,20
GLP	10 ⁶ tep	8,27	8,30	0,40
Lixívia	10 ⁶ tep	6,25	6,47	3,60
Óleo Combustível	10 ⁶ tep	3,10	2,82	-9,00
Querosene	10 ⁶ tep	3,31	3,29	-0,20
Outras fontes ⁴	10 ⁶ tep	26,72	27,78	4,00

Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de EPE (2018)

Nota: 1) Exclusive consumo final não energético, 2) Inclui biodiesel, 3) Inclui gasolina A (automotiva) e gasolina de aviação, 4) Inclui gás de refinaria, coque de carvão mineral, carvão vegetal e outros.

Os transportes apresentaram o maior aumento no consumo de energia (2,3%) entre 2016 e 2017. A demanda por óleo diesel aumentou 1,1% (TABELA 8), como a adição de biodiesel ao diesel estava legalizada em 8%, estima-se proporcionalmente o mesmo aumento de sua demanda. Já com a gasolina, nota-se que a participação em comparação ao diesel é menor, apesar do consumo ter aumentado em 2,6% (EPE, 2018). O consumo de diesel tem sido sempre maior que da gasolina em função principalmente do consumo do diesel no transporte de cargas. Nesse período, o consumo de etanol desacelerou em 0,2%, e o destaque de crescimento fica por conta da lenha com aumento de 4,3%. Em função de uma crise financeira vivida no país neste período, é muito comum o aumento do consumo de lenha. E ao contrário, o

destaque de recuo fica por conta do óleo combustível com desaceleração de 9,0% o que indica a crise vivida pelo país.

4.2.2 BIODIESEL NO BRASIL E SEUS MARCOS LEGAIS

No Brasil, em 1975 foram instituídas diversas iniciativas governamentais com a criação do Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pro-óleo). O programa era direcionado para a produção de óleo vegetal capaz de competir em custos com o petróleo. Inicialmente, estimava-se uma proporção de 30% de óleo vegetal adicionada ao diesel com possibilidades de substituição integral em longo prazo (PINHO, et al. 2016). Posteriormente, o Governo Federal lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG) em 1983 motivado pela alta nos preços do petróleo.

Na década de 90, com a publicação dos relatórios técnicos sobre o aquecimento global como consequência das emissões excessivas de gases de efeito estufa, várias nações instituíram programas com objetivo de diminuir as suas emissões adotando uma matriz energética mais sustentável e de baixo custo. Tais iniciativas resultaram no programa chamado PROBIODIESEL em 2002. Um portfólio de combustíveis à base de óleos vegetais tais como óleo de soja, de babaçu, de amendoim, de caroço de algodão, de colza, de girassol e de dendê foram testados em veículos automotores e aviões levando a resultados tecnicamente satisfatórios, contudo os altos custos de produção do biodiesel impediram a produção em larga escala (TOLMASQUIM, 2007, PINHO, et al. 2016).

Estima-se que o biodiesel é capaz de emitir 57% menos gases de efeito estufa e poluentes em comparação ao óleo diesel mineral. Se a mistura adotada for de 10%, a emissão de gás carbônico poderá reduzir em até 8%, ou com 20% de mistura reduzir 12%. Desta forma, o biodiesel auxilia o governo brasileiro a cumprir suas metas internacionais para redução de emissões de gases de efeito estufa assumidas na conferência COP15 da ONU, na Dinamarca em 2009. O Ministério do Meio Ambiente estima que o uso de biocombustíveis reduza até 2020 as emissões brasileiras em 48 a 60 milhões de toneladas equivalentes de gás carbônico.

Segundo Costa Neto et al., (1999) diversas vantagens sobre aspectos químicos, ambientais, econômicos e sociais podem ser atribuídas ao biodiesel em comparação ao diesel, em acordo com a política ambiental mundial (Tabela 9).

Tabela 9 - Propriedades complementares atribuídas ao biodiesel em comparação ao diesel mineral

Características	Propriedades complementares
Atributos químicos	Sem enxofre e compostos aromáticos, alto número de cetanos, ponto de combustão apropriado, excelente lubricidade, não tóxico e biodegradável
Ambientalmente benéfico	Nível de toxicidade compatível ao sal ordinário, com diluição tão rápida quanto o do açúcar (Departamento de Agricultura dos EUA)
Menos poluente	Reduz sensivelmente as emissões de partículas de carbono (fumaça), monóxido de carbono, óxidos sulfúricos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Economicamente competitivo	Complementa todas as novas tecnologias do diesel com desempenho similar e sem a exigência de uma infraestrutura ou política de treinamento,
Reduz o aquecimento global	O gás carbônico liberado é absorvido pelas oleaginosas durante o crescimento o que reduz o balanço negativo gerado pela emissão na atmosfera,
Economicamente atraente	Permite a valorização de subprodutos e atividades agroindustriais, aumento na arrecadação regional de impostos (ICMS), aumento da fixação do homem no campo e de investimentos complementares em atividades rurais,
Regionalização	Pequenas e medias plantas para a produção de biodiesel podem ser implantadas em diferentes regiões do país aproveitando a matéria-prima local,

Fonte: Costa Neto et al. 1999.

Deve-se considerar nesse breve histórico, a crise econômica que afetou os países consumidores de biodiesel, pois os elevados preços das matérias-primas, as incertezas quanto aos incentivos econômicos e políticos, bem como importação de biodiesel de outras regiões fizeram com que vários produtores de biodiesel na Europa viessem a encerrar sua operação a partir de 2011. Em contraste à indústria europeia, o Brasil, a Argentina e os Estados Unidos aumentaram sua produção de biodiesel (EPE, 2013).

No Brasil, em aderência ao movimento mundial, desenvolveram-se políticas governamentais pautadas na produção do biodiesel, inicialmente pela implantação do Grupo Gestor (GG) e da Comissão Executiva Interministerial (CEI), os quais promoveram as diretrizes que formaram o arcabouço do Programa Nacional de

Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). No final de 2004, foi publicado o primeiro incentivo fiscal ao biodiesel, o decreto nº 5.297, e na sequência, a Lei nº 11.097 de janeiro de 2005, transcritos a seguir.

Primeiro, o DECRETO Nº 5297 (2004), que dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas, e dá outras providências (BRASIL, 2004); e segundo a LEI Nº 11.097, 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, nº 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências (BRASIL, 2005).

Desde a publicação dessas leis, o fornecimento, a produção e a distribuição na cadeia de suprimento do biodiesel brasileiro vem adquirindo particularidades com forte influência governamental. Os agentes econômicos que realizam negócios neste mercado estão submetidos à intervenção governamental, que determinam a dinâmica e a base tecnológica de produção (PADULA et al., 2012).

O incentivo do governo na produção de biodiesel institui iniciativas de alcance sociais, como a agricultura familiar, por exemplo, as unidades de produção que detêm o selo Combustível Social têm garantida parte da venda do volume de biodiesel produzido. Assim, apoiando a participação da agricultura familiar na produção e comercialização, desde que haja um contrato formalizado entre os agricultores familiares/cooperativas e os agentes econômicos, disciplinada pelo regulamento do Ministério do Desenvolvimento Agrário (PADULA et al., 2012).

Em 2003 o governo instituiu o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), a fim de viabilizar pesquisas tecnológicas para produção e uso de biodiesel, que por fim originou o Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

Em 2005 a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, criou resolução Nº 31 que regularizava a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel.

A partir de janeiro de 2008 entrou em vigor a adição compulsória do biodiesel ao diesel num percentual de 2% (B2) e a partir de primeiro de julho para 3% (B3), conforme a Resolução Nº 02 de 13/03/2008 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

Atingiu-se mistura B4 a partir de 27 de abril de 2009 com a publicação da Resolução Nº 2, CNPE de 18/05/2009 e em 26 de outubro de 2009, a mistura B5, pela Resolução Nº 5 do CNPE de 26.10.2009.

No Brasil em 2014, foi sancionada a Medida Provisória Nº 647, de 28 de maio de 02/07/2014, onde ficam estabelecidos os seguintes percentuais de mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, medidos em volume, em qualquer parte do território nacional: I - seis por cento, a partir de 1º de julho de 2014; e II - sete por cento, a partir de 1º de novembro de 2014.

E mais recentemente, em 2017 foi criada a Resolução nº 23 do CNPE que autoriza a adição de 10% de biodiesel ao óleo diesel mineral à partir de março de 2019.

Ainda no ano de 2017 foi criada a lei Nº 13.576 muito importante para o país que foi a criação do RenovaBio - Política Nacional de Biocombustíveis, e tem o objetivo de contribuir para o atendimento dos compromissos do país com os acordos internacionais sobre a mudança de clima, contribuir com a eficiência energética e na redução dos GEEs, na comercialização e expansão da produção de biocombustíveis, bem como contribuir com a previsibilidade de participação competitiva dos diversos biocombustíveis.

4.3 METODOLOGIA

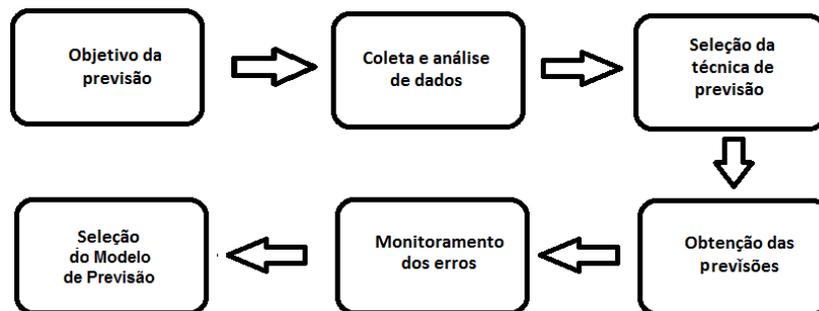
Nesse trabalho adotou-se a pesquisa exploratória documental de relatórios estatísticos sobre Biodiesel, tais como: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Ministério das Minas e Energia (MME), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Anuário Estatístico da Agroenergia, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), *International Energy Agency* – IEA.

Em seguida, foi realizada uma pesquisa para identificação do modelo padrão de previsão de demanda para biodiesel no Brasil, constatando-se que não havia um modelo consensual e portanto foram testados os principais modelos de *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA) ou técnica de *Box-Jenkins* usados no planejamento estratégico da produção (Peinado e Graeml, 2004): média móvel simples; média móvel ponderada; média móvel com suavização exponencial simples e o método de Winters, além de regressão linear. Um diferencial nesse trabalho foi a

utilização de rede neural artificial (RNA) de acordo com o método de KOURENTZES et al., 2014.

No processo de previsão de demanda cumpriu-se seis etapas principais (FIGURA 17) conforme as técnicas de previsão que foram selecionadas serão descritas nos parágrafos seguintes.

Figura 17 - Fases do processo de previsão de demanda.



Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de Turbino (2007)

A Média Móvel Simples consiste na média aritmética dos últimos períodos (n) de demanda observada (Turbino, 2007), seu cálculo tem por característica a simplicidade com apuração da média móvel simples (equação 1):

$$M_j = \frac{D_j + D_{j-1} + D_{j-2} + \dots + D_{j-n+1}}{n}$$

Equação 1- Média Móvel Simples

Onde: M_j = média móvel no período (j);

i = número de ordem de cada período mais recente;

n = número de períodos empregados no cálculo da média móvel;

j = período

D_j = demanda real no período (i);

$$\bar{x}_P = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Equação 2- Ponderação da média aritmética

Onde: \bar{x}_p = média ponderada no período (n);

Σ . = somatório;

x_i = demanda no período (i);

p_i = pesos aplicados no período(i);

Nesse caso se aplica pesos, em função da importância relativa para determinados períodos.

Para o cálculo das amplitudes de erros, a fim de monitoramento dos modelos e suas previsões estimadas, foram usados como parâmetros de avaliação o erro simples (E_j - equação 3) e o desvio médio absoluto (DMA – equação 4), desvio padrão dos erros de previsão (S_p) – equação 4) e a tendência de viés (TS – equação 6).

$$E_j = D_j + P_j$$

Equação 3 - Erro simples

Onde: E_j = erro simples do período (j);

D_j = demanda real do período (j)

P_j = demanda estimada para o período (j),

e

$$DMA_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EA_j$$

Equação 4 – Desvio médio absoluto

Onde: DMA_n = Desvio médio absoluto de (n) períodos;

EA_j = erro padrão absoluto de cada período (j)

Σ . = somatório;

Considerando-se a distribuição normal dos erros obtidos, sendo a variável aleatória contínua, pode-se calcular o desvio padrão dos erros das previsões (S_p - equação 5):

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (E_j - \bar{E}_j)^2}{n-1}}$$

Equação 5 - Desvio padrão dos erros de previsão

Onde: S_p = desvio padrão dos erros de (n) previsões totais;

E_j = erros simples do período (j) e

\bar{E}_j = média de erros simples do período (j);

A tendência de viés indica a presença de tendência das previsões para cima ou para baixo da demanda real de uma série temporal, devendo seus valores estar, preferencialmente, entre -4 e 4, tolerando-se valores entre -6 e 6. A tendência de viés (TS= *Tracking Signal*) pode ser calculada de acordo com a fórmula abaixo:

$$TS_n = \sum_{j=1}^n E_j$$

Equação 6 - Tendência de viés

Onde: TS = viés;

E_j = erro simples do período (j) e

DMA_n = Desvio médio absoluto de (n) períodos;

Desta forma o monitoramento dos modelos se deu considerando-se os menores valores de erros simples e absoluto, desvio médio absoluto, desvio padrão dos erros, bem como a tendência de viés aceitável entre -4 e 4, conforme sugerido por Stevenson (2001 a, b). Todas as programações lineares aplicadas nas ponderações e suavizações dos modelos foram realizadas no aplicativo Excel®, por meio da ferramenta *Solver*.

A Média Móvel Ponderada, como variante da média móvel simples, segundo Peinado e Graeml (2007) deve ser dotada exclusivamente para demandas cujo comportamento não manifesta tendência e nem sazonalidade. Para o cálculo da média móvel ponderada (MMP – equação 7) adotou-se um peso crescente (PE_i) associado a série. A faixa de ponderação variou entre 0 e 1, sendo que a soma das ponderações deverá ser um. A escolha dos pesos se deu por meio da ferramenta *Solver* do Excel®, com as seguintes restrições ao modelo: $0 \geq PE_i \leq 1$;

$(PE_{i=1}+PE_{i=2}+...+PE_n)= 1$, a fim de que, o desvio padrão dos erros das previsões (S_p) fosse o menor possível.

$$MMP_j = (D_1 \times PE_1) + (D_2 \times PE_2) + \dots + (D_n \times PE_n)$$

Equação 7 - Equação média móvel ponderada

Onde: MMP_j = média móvel ponderada no período (J);

D_j = demanda real do período (j) e

PE_i = peso crescente de ponderação do período;

Utilizou-se também, a Média Móvel com Suavização Exponencial Simples, considerado o melhor modelo para previsões à curto prazo, pois ele modela as variações fundamentais com relativamente poucos dados (MONTGOMERY et al., 2009). Deriva da média móvel de uma série histórica com coeficiente de ponderação α , que é assimétrico, de tal modo que, o modelo mais recente recebe a maior cota (P_j - equação 8).

$$P_j = \alpha \bar{D} + (1 - \alpha)D_{j-1}$$

Equação 8 - Equação de previsão para o período

Onde: P_j = previsão para o período (J);

\bar{D} = média da demanda real do período anterior e

D_{j-1} = demanda real do período anterior

α = ponderação assimétrica do período ($0 \leq \alpha \leq 1$)

O método de Winter consiste em modelo dinâmico de previsão bastante prático e amplamente utilizados quando os produtos com demanda de alta variabilidade em suas características de nível, tendência e sazonalidade. Nesse último caso, Winter baseia-se no modelo multiplicativo sazonal, descrito como:

$$Y_i = (B_0 + B_1 X_i) \cdot S n_i + \varepsilon_i$$

Equação 9 - Equação de regressão linear

Onde: Y_i = previsão para o período (i);

X_i = dado observado no período (i-1);

B_0 e B_1 = nível médio das séries

S_{ni} = Fator sazonal multiplicativo

ε_i = Erro residual.

S_{ni} é o componente ou fator sazonal multiplicativo, definido de forma que

$\sum_{i=1}^L S_{ni} = L$, onde L é o comprimento da sazonalidade. Esse modelo descreve

usualmente séries em que a amplitude sazonal e a tendência são dependentes. Assim, se o nível médio da série ($\beta_0 + \beta_1 t$) aumenta, a amplitude do padrão sazonal também aumenta. Uma outra abordagem é a do modelo sazonal aditivo, no qual: $Y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + S_{ni} + \varepsilon_i$, que é apropriado quando a amplitude do padrão sazonal for claramente independente do nível médio da série.

Com relação à análise de regressão, adotou-se o método da soma dos mínimos quadrados de regressão linear, a fim de estimar uma equação que melhor represente a demanda passada e determine projeções com confiabilidade baseada no coeficiente de determinação da reta (R^2), além de prévia refutação da hipótese de que o coeficiente angular é significativamente diferente de zero, utilizando-se a análise da variância para regressão por meio do teste F (Fisher, $P \leq 0,05$). Coeficiente de determinação (R^2) próximo a 1, e efeito significativo para o Teste F ($P \leq 0,05$), conforme Stevenson (2001 a, b).

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + \varepsilon_i$$

Equação 10 - Modelo de regressão linear

Onde: Y_i = previsão para o período (i);

X_i = dado observado no período (i-1);

B_0 = coeficiente linear (para $B_1=0$) e

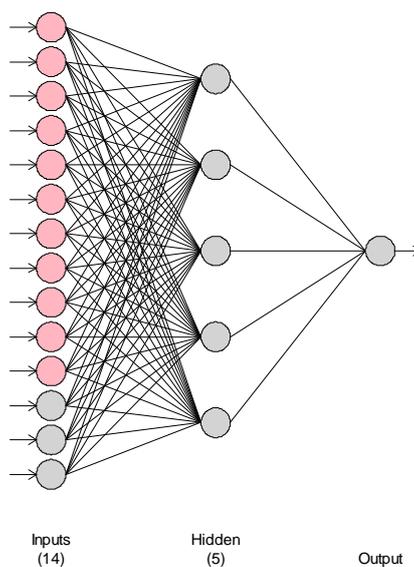
B_1 = Coeficiente angular

ε_i = erro residual.

Com relação a rede neural artificial (RNA), usou-se um algoritmo de treinamento da RNA com 20 repetições de períodos mensais entre 2013 e 2017, sendo que os dados de 2018 foram usados para validação da RNA, conforme

metodologia sugerida por Kourentzes et al., 2014. Para a construção das séries temporais na RNA, incluiu-se somente as variáveis defasadas (lag) da variável dependente y_{t-n} no vetor de entrada $\hat{y}_{t+1} = f(y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-n+1})$, de acordo com Crone e Kourentzes (2010) e foi utilizado o pacote “nnfor” do programa estatístico Software R (<http://www.R-project.org>). Esse pacote facilitou a previsão de séries temporais com *Multilayer Perceptrons* (MLP) e *Extreme Learning Machines* (ELM). A Figura 18 abaixo mostra a arquitetura da rede. Os nós em cor cinza na camada de entrada referem-se às autoregressões, no caso lag3, enquanto os nós em cor magenta são entradas determinística (*Dummy*) que representam a sazonalidade. Observa-se ainda uma camada oculta com cinco neurônios e uma camada de saída com um neurônio que indica a previsão (t+1). Nesta rede também foi necessário a utilização de uma diferenciação para remover a tendência.

Figura 18: Arquitetura da Rede Neural Artificial



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 PRODUÇÃO DE

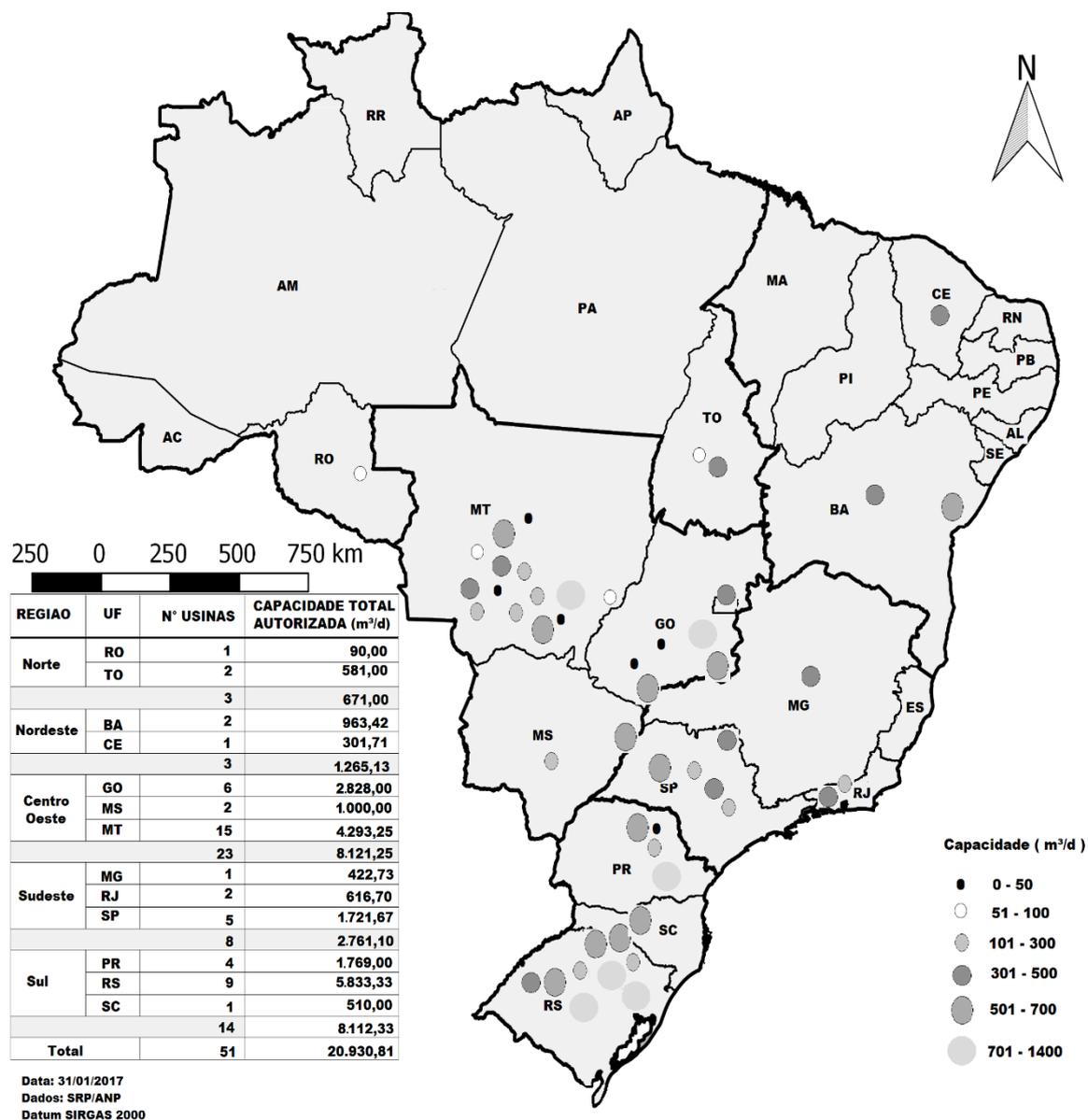
BIODIESEL E MATÉRIA-PRIMA

4.4.1.1 PRODUÇÃO

Segundo o Boletim Mensal do Biodiesel fornecido (ANP, 2017), em janeiro de 2017 existiam no Brasil 51 plantas produtoras de biodiesel totalizando uma produção autorizada de 20.930,81 m³/d (FIGURA 19). A Região Centro-Oeste concentra 23 plantas de produção e uma capacidade diária de 8,121,25 m³/d, a maior do país, seguida pelas Regiões Sul com 14 plantas e 8.112,33 m³/d e Sudeste com 8 plantas e 2,761,10 m³/d. Já o norte e nordeste do país figuram no cenário nacional como as menores capacidades instaladas, mesmo com as medidas de estímulo adotadas pelos órgãos regulamentadores do governo nessas regiões.

E segundo a APROBIO (dez-2018), o ano de 2018 também foi muito bom para o biodiesel a começar pela oficialização do B10 como mistura obrigatória. Durante o ano também foi aprovado o novo cronograma de aumento da mistura para o patamar do B15 para os próximos 5 anos. Além disso, também houve evolução do programa Renovabio, onde foi criada a estrutura de governança para regulamentar o programa.

Figura 19 - Distribuição e capacidade produtiva de biodiesel (B100) por Região da Federação, segundo o Boletim Mensal do Biodiesel.



Fonte: ANP, 2017.

A cadeia produtiva do biodiesel tem um importante viés social, pois inclui mais de 70 mil famílias de pequenos agricultores, que receberam 8,5 bilhões de reais pelo fornecimento de matérias-primas, assistência técnica e insumos agrícolas. Segundo a Associação dos Produtores de Biodiesel (APROBIO) é o maior programa de transferência de renda do país, senão da América Latina. Em 2016, foram registrados repasses na ordem de 4,27 bilhões de Reais aos pequenos produtores rurais (APROBIO, 2016).

O Programa Nacional de Óleos Vegetais (OVEG I) realizou testes sobre composição química e características físico-químicas de óleos vegetais oriundos de diferentes matérias-primas, como mamona, babaçu, dendê soja e piqui em comparação ao diesel mineral, (Tabela 10).

Tabela 10 - Especificações de alguns óleos vegetais in natura e do óleo diesel

Características	Tipo de óleo					
	mamona	babaçu	dendê	Soja	pequi	diesel
Caloria (Kcal/Kg)	8,913	9,049	8,946	9,421	9,330	10,950
Ponto de nevoa (°C)	10	26	31	13	26	0
Índice de cetano	Nd	38	38-40	36-39	38	40
Densidade a 25°C	0,9578	0,9153	0,9118	Nd	0,9102	0,4897
Viscosidade a 37,8°C	285	30,3	36,8	36,8	47	2,0-4,3
Destilação a 90% (°C)	Nd	349	359	370	Nd	338
Teor de cinza (%)	Nd	0,03	0,01	Nd	0,1	0,014
Cor (ASTN)	1,0	0,5	1,0	Nd	2,0	2,0
Resíduo de carbono ¹	Nd	0,28	0,54	0,54	Nd	0,35

Fonte: Costa Neto et al. (1999)

¹Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco (%).

Os dados comparativos entre o diesel e os óleos vegetais indicaram menor poder calorífico dos óleos vegetais e similar índice de cetanos. Este índice está relacionado com o tempo de injeção de combustível e o início da combustão. Quanto maior, menor o atraso na ignição e maior qualidade na combustão. Todavia, foi considerada alta a viscosidade dos óleos vegetais, indicando a necessidade de maiores temperaturas de trabalho e o uso de aditivos para fluidez. A temperatura na qual os óleos vegetais cristalizam é chamado de ponto de névoa, sendo este o principal problema no uso desses óleos principalmente em clima temperado, pois foram considerados altos em relação ao diesel mineral.

A mamona não só pode ser usada como matéria-prima para a produção do óleo de rícino, mas também, para o biodiesel. Ela tem teor de óleo entre 43-45% obtido após prensagem das sementes. Porém, sua aplicação em escala comercial sustentável requer do desenvolvimento tecnológico em maquinários, aplicação de seus subprodutos, estudos sobre resistência a pragas, melhoramento de sementes e

redução de custos produtivos, a fim de torná-la mais eficiente e competitiva (LIMA, 2007; SANTOS, 2014).

No caso do babaçu, palmeira oleaginosa da Região Norte do Brasil, não existem muitos cultivos agrônômicos, muitas produções têm origem nas chamadas florestas naturais de babaçu. O babaçu tem utilização plena, pois a semente pode ser utilizada como matéria prima para o biodiesel, a torta como ração animal e a casca como fonte de calor para produção de energia. Tornou-se candidato como insumo para produção de biodiesel pelo fato de produzir 120 Kg de óleo/ha. Porém, o pouco conhecimento da cultura e o método de extração manual oneram os custos de produção e não incentivam os cultivos comerciais (BERGMANN et al., 2013).

O óleo de palma, conhecido também como óleo de dendê, apresenta excelente produtividade, cerca de 5 a 8 t de óleo/ha, 10 vezes mais que a soja. Essas palmeiras vivem aproximadamente 25 anos e iniciam a produção de frutos aos 3 anos. No Brasil, também é utilizada óleo de palma como matéria-prima na produção de margarina, sorvetes e óleos de fritura. Quando a não aplicação na culinária são usadas como insumo na indústria de produtos de limpeza para a fabricação de detergentes, cosméticos e sabões. A Indonésia e a Malásia são os maiores produtores dessas palmeiras como a matéria-prima para fabricação do biodiesel. No Brasil, o cenário é diferente, além do país não ser autossuficiente, dificuldades no manejo, na colheita manual e no controle de pragas, compromete o avanço da cultura em larga escala (BERGMANN et al., 2013).

O pequi é uma planta de porte arbóreo encontrada nos cerrados brasileiros e apresenta elevados valores nutricionais, o que justifica seu emprego na alimentação do homem do campo. Sua madeira é de alta resistência e frequente utilizada como lenha na indústria siderúrgica ou na fabricação de dormentes. De acordo com Santos (2014), o alto teor de óleo o credencia como matéria prima para produção do biodiesel dentro das especificações requeridas pela ANP. No entanto, a ausência de informações técnicas e a exploração puramente extrativista dificultam sua produção em escala comercial e industrial.

4.4.1.2 MATÉRIA-PRIMA

No que se refere à matéria-prima para a produção de biodiesel, podem ser utilizados produtos fornecedores de óleos vegetais e gorduras animais (Tabela 11). A

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) considera que vários tipos de óleos vegetais podem ser utilizados na produção do Biodiesel no Brasil (ANP-Anuário Estatístico, 2018).

Na produção de biodiesel em 2016, a soja (3.020,82 mil m³) foi a matéria-prima mais utilizada, seguida da gordura animal (622,31 mil m³) e por fim o óleo de algodão (39,63 mil m³). Em 2017, a soja participou com 3.072,45 mil m³, seguida da gordura animal com 720,93 mil m³ e o óleo de algodão somente com 12,43 mil m³. Por outro lado, em 2017, houve um crescimento vertiginoso no fornecimento de outros óleos incluindo o de palma, amendoim, girassol, mamona, bem como óleo de frituras, usados em cozimentos. Cabe salientar, que as principais gorduras utilizadas tem origem bovina, suína e de aves, colhidas em abatedouros onde se constituem sério problema ambiental (Tabela 11). Como pode ser visto na Tabela 11, o biodiesel também fomenta a reciclagem animal, a partir da coleta de sebo de boi, que respondeu por aproximadamente 16% do biodiesel produzido no Brasil. Além disso, milhões de litros de óleo de frituras são reciclados anualmente para produção de biodiesel, evitando-se a poluição de cursos d'água (APROBIO, 2016).

Para Ferreira et al. (2013), a matéria-prima representa a maior parte do custo de produção do biodiesel. A maior competitividade do biodiesel em relação ao óleo mineral depende do desenvolvimento de outra cultura ou fonte de óleos mais eficiente do que a soja. Os óleos vegetais menos usuais e de menor produção na fabricação de biodiesel foram inclusos na Tabela 11, como "outros", e referem-se aos óleos de palma, amendoim, nabo-forrageiro, girassol, mamona, gergelim e óleo vegetal usado em frituras de restaurantes e lanchonetes, além de outros materiais graxos.

A cadeia produtiva da soja foi de vital importância para a implantação do PNPB, uma vez que, contava com uma estrutura bem desenvolvida para suportar a demanda em função de sua competitividade perante o mercado internacional, produção em ampla escala, desempenho e produtividade. Contudo, seu domínio futuro não estará garantido, mesmos com as vantagens apresentadas, em função da baixa produtividade de óleo vegetal em comparação as outras oleaginosas (MENDES, 2009). Além disso, não parece coerente produzir combustível a partir de uma importante fonte de proteína para a fabricação de ração animal e alimentação humana. Por outro lado, sabe-se que a produção de biodiesel também estimula o processamento de derivados da soja, como o farelo residual da prensagem do óleo,

que pode ser usado na alimentação de aves e suínos, em última instância, à alimentação humana.

Tabela 11 - Produção anual de biodiesel por matéria-prima, decênio 2006/16

Matéria Prima	Produção de Biodiesel (mil m ³)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Soja	65,75	353,23	967,33	1,250,59	1,980,35	2,171,11	2,105,33	2,231,46	2,625,56	3,061,03	3,020,82
Algodão	-	1,90	24,11	70,62	57,05	98,23	116,74	64,36	76,80	78,84	39,63
Animal	0,82	34,44	154,55	255,766	302,46	358,69	458,02	578,43	675,90	738,92	622,31
Outros	2,43	18,42	31,65	37,863	47,78	44,74	39,80	46,76	37,26	60,09	134,30
Total	69,00	389,57	1177,64	1614,84	2339,86	2672,77	2719,89	2,921,01	3,415,52	3,938,88	3,817,06

Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de ANP- Anuário Estatístico (2018).

O algodão é formado por 60% de caroço e 40% de fibra. Ao contrário da soja, ele não é cultivado pelo grão ou pelo óleo, mas sim pela fibra, que constitui o objetivo principal de seu cultivo e aplicação na indústria têxtil. O caroço de algodão encontrou um grande mercado na produção de biodiesel, de onde se extrai o óleo e após o esmagamento do grão gera-se subproduto, farelo, que por sua vez, é usado para alimentação animal. Um ótimo nicho de mercado para o produtor de algodão é comercializar o óleo junto as usinas de biodiesel, visto que, o alto custo da cultura requer maquinários e fertilizantes especiais. Assim, comercializar o óleo é garantia de uma renda extra para amortização de todos estes investimentos. A indústria do biodiesel vê como vantagem o uso do algodão em comparação com a soja, pois o seu menor preço é semelhante à sua disponibilidade no mercado, em contrapartida, é o maior desafio dessa cultura, o desenvolvimento de cultivares que mantenham a qualidade da fibra e maior teor de óleo (BERGMANN et al., 2013).

Das iniciativas existentes no Brasil, o pinhão-manso apresenta maior potencial para produção de biodiesel. No entanto, os atuais déficits de tecnologia industrial e agrônômica impedem o avanço da produção em larga escala. Este choque de incerteza culminou em iniciativas como o Plano de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação de Pinhão Manso (BRJatropha) que apresentou resultados satisfatórios em escala de laboratório, mas amplas limitações para avaliação das potencialidades no campo. Devido ao baixo número de áreas comerciais no Brasil e pouco entendimento agrônômico da espécie, que requer no futuro, o fortalecimento das áreas de cultivo e o incremento da pesquisa básica inclusive de melhoramento genético para aumentar a produtividade e resistência a pragas e doenças (FERREIRA et al. 2013).

O girassol, inserido no Brasil por imigrantes europeus, constitui uma das culturas mais importantes do país e concorre com o milho e a soja, oleaginosas cultivadas no mesmo período do ano e regiões. A maior produção está reunida na Região Centro-Oeste que aplica a safra na alimentação de aves devido ao elevado valor nutricional e nas indústrias de produção de biodiesel pelo teor de óleo que atinge 774 kg/ha (BERGMANN et al. 2013).

O Brasil, de qualquer modo, deve continuar em busca de uma cultura mais eficiente e que não seja utilizada como alimento (FERREIRA *et al.* 2013). Além do mais, a soja sofre constantes flutuações de preços em função da oferta e demanda internacionais, fato que deixaria vulnerável a oscilações abruptas de preços o diesel em mistura proporcional com biodiesel.

4.4.1.3 PREÇOS E LEILÕES DE BIODIESEL

Na visão de Padula *et al.* (2013), os custos de produção do biodiesel são influenciados pelo tipo de matéria-prima, a estrutura tributária e da escala de produção adotados nas diferentes regiões do Brasil.

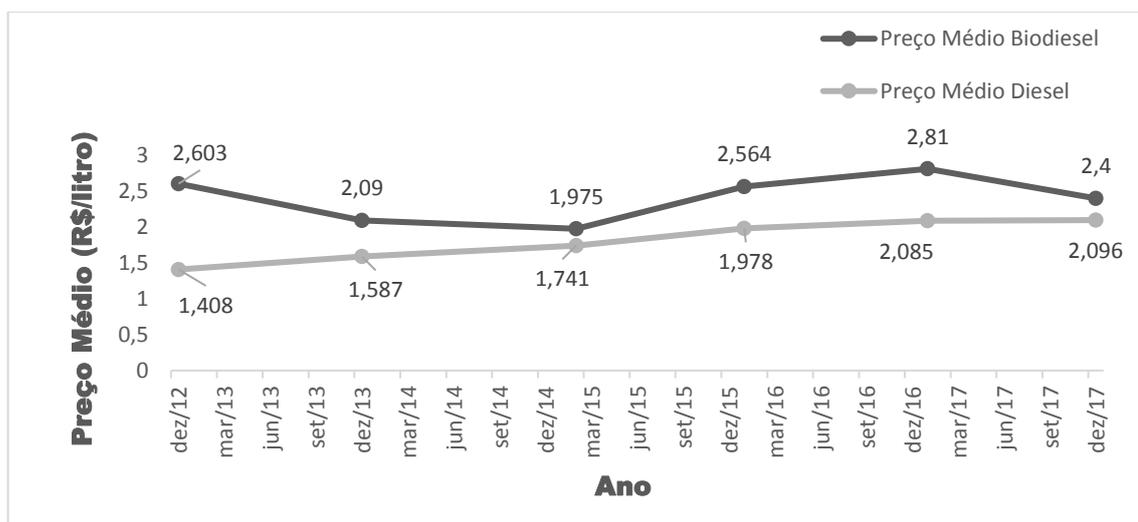
O custo do biodiesel em 2016 variou entre R\$ 2,44.l⁻¹ e R\$ 2,85.l⁻¹ usando a soja como matéria-prima principal.

Os preços de aquisição do biodiesel praticados nos leilões da ANP são bem superiores aos preços do diesel mineral produzido em refinarias. Tal diferença entre os preços pagos as empresas que operam usinas de biodiesel, uma espécie de subsídio comercial aplicada ao setor econômico (PADULA *et al.*, 2013).

Apesar de todas as vantagens ecológicas e de sustentabilidade, existem muitas dificuldades para a implantação do Biodiesel no mercado brasileiro, pois o preço do óleo diesel mineral apresenta um valor muito baixo em relação aos outros derivados do petróleo e combustíveis. A Figura 20 demonstra o quanto menor é o preço do diesel em relação ao preço do biodiesel, considerando os impostos PIS/CONFINS e CIDE, mas sem incluir o ICMS, sendo **PIS/CONFINS** - Programa de Integração Social/Contribuições para Financiamento da Seguridade Social; **CIDE**- Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico; e **ICMS** - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação,

Para tornar o biodiesel mais competitivo em termos de custos, esses aspectos têm sido trabalhados em todos os setores da cadeia produtiva e os resultados já se apresentaram a partir de 2013, quando o custo do diesel aumentou e o custo do biodiesel reduziu, tendendo a uma menor discrepância.

Figura 20 - Preços de biodiesel (B100) e diesel para venda a partir do produtor.



Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de MME, 2018

4.4.1.4 PRODUÇÃO E DEMANDA

Como visto anteriormente, a produção de biodiesel está difundida em todas as regiões brasileiras (FIGURA 19). A ampla extensão territorial e o clima diversificado fizeram com que diversas empresas de diferentes regiões brasileiras investissem no seguimento de biodiesel, estimuladas por incentivos governamentais, tanto que, empresas produtoras de óleo ingressaram no mercado aproveitando parte da sua estrutura já existente. Assim as unidades produtoras de biodiesel situam-se em todas as regiões do território nacional, segundo a Agência Nacional do Petróleo - ANP (Tabela 12).

Tabela 12 - Produção brasileira de biodiesel por Região da Federação de 2006/2016

Regiões	Produção anual de biodiesel - (mil m ³)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Norte	2,42	26,58	15,98	41,82	95,10	103,44	78,65	62,24	84,58	66,23	38,96
Nordeste	34,79	172,20	125,91	163,90	176,99	176,41	293,57	278,38	233,17	314,72	304,61
Sudeste	21,56	37,02	185,59	284,77	420,32	379,41	255,73	261,37	270,89	295,44	254,26
Sul	10,00	42,70	313,35	477,87	675,66	976,92	926,61	1.132,41	1.358,95	1.512,48	1.556,69
C. Oeste	0,12	125,80	526,28	640,07	1.018,30	1.036,55	1.162,91	1.183,09	1.472,24	1.748,41	1.646,83
Brasil	68,89	404,30	1.167,13	1.608,45	2.386,39	2.672,76	2.717,48	2.917,49	3.419,84	3.937,27	3.801,34

Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de ANP (2018) – Anuário Estatístico.

A produção de biodiesel em 2006 foi de 68,89 mil m³, no ano seguinte cresceu para 404,30 m³, ou seja, quase 590% de aumento. Em 2008 a produção aumentou cerca de 290%. Esses aumentos foram reflexos da fase de implantação e da obrigatoriedade legal de biodiesel em proporção ao diesel. A partir de 2009 para 2010, a produção cresceu seguidamente em todos os anos. Em uma década a produção cresceu mais de 5500%.

Vale apenas salientar que em 2016, comparado ao ano de 2015, a produção brasileira foi ligeiramente menor, em todas as regiões, em função da crise financeira do país, mas já havia uma grande tendência de recuperação para o ano seguinte, (ANP, 2018-Anuário Estatístico).

A seguir estão registradas as demandas de diesel no mesmo período (2006/16) por Região da Federação, segundo as comercializações realizadas pelos distribuidores oficiais (Tabela 13). Deve-se considerar que até 2006, os dados incluem as vendas e o consumo próprio das distribuidoras, mas a partir de 2007, incluem apenas as vendas.

Deve-se salientar que até 2007 a mistura prevista em lei era de 2% de biodiesel (B100) ao óleo diesel e de caráter facultativo. A partir de 2008, passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008, a adição de B100 ao óleo diesel foi de 2%; entre julho de 2008 e junho de 2009, foi de 3%; e entre julho e dezembro de 2009, foi de 4%. A partir de janeiro de 2010 até junho de 2014, o B100 passou a ser adicionado ao óleo diesel na proporção de 5% em volume, conforme Resolução CNPE nº 6 de 16/9/2009. Entre julho e outubro de 2014 o B100 passou para proporção de 6%. A partir de novembro de 2014 até fevereiro de 2017 a proporção ficou em 7%.

Tabela 13 - Demanda brasileira de óleo diesel por Região da Federação de 2006/2016

Regiões	Demanda de Diesel (mil m ³)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Norte	3.601	3.766	3.951	4.075	4.861	5.242	5.691	5.853	6.071	5.692	5.154
Nordeste	5.818	6.214	7.089	6.928	7.720	8.231	9.134	9.592	10.299	9.603	8.715
Sudeste	17.542	18.740	19.840	19.534	21.568	22.780	23.816	24.573	24.659	23.438	22.410
Sul	7.752	8.166	8.689	8.627	9.467	10.013	10.471	11.110	11.370	11.078	11.111
C. Oeste	4.294	4.673	5.195	5.134	5.624	5.998	6.789	7.454	7.733	7.400	6.889
Total	39.008	41.558	44.764	44.298	49.239	52.264	55.900	58.572	60.032	57.211	54.279

Fonte: adaptado pelo autor com base nos dados de ANP (2018 – Vendas de Combustíveis). Dados até 2006, conforme Portaria CNP n° 221/1981, Dados a partir de 2007, conforme Resolução ANP n° 17/2004

Em todo Brasil, desde 2006, o consumo de diesel vem crescendo ano após ano, portanto a demanda de biodiesel também, não só pelo aumento no consumo, como ainda, pelo aumento na proporção obrigatória prevista em lei (TABELAS 12 e 13).

Em 2016, a Região Sudeste foi a maior consumidora (22,410 mil m³ de óleo) o que corresponde a 41,29% do consumo nacional, seguida pelas Regiões Sul (11,111 mil m³) e Nordeste (8,715 mil m³) que juntas representam 36,53%, por fim seguem as Regiões Centro-Oeste (6,889 mil m³) e Norte (5,154 mil m³) que juntas consomem 22,18% do diesel comercializado no Brasil (TABELA 13).

A comercialização do biodiesel é realizada pelo mecanismo de leilões com periodicidades sistematicamente bimestrais, estimulando uma acirrada disputa por preços entre os participantes, os quais impedem a simetria de informações posicionando o comprador em vantagem (MENDES, 2009; EPE, 2013, PADULA et al., 2012).

O preço de referência estabelecido é baseado nos custos de produção, levando-se em conta os diversos tipos de matérias-primas, rotas tecnologias de produção, características locais e impostos. Então, definido o dia, as organizações produtoras ofertam o biodiesel a um valor inferior ao preço de referência, de forma que, vence aquele que der o menor lance - característico do leilão holandês - a ocorrência de ociosidade das instalações produtoras de biodiesel torna acirrada a competição entre os produtores, reduzindo a margem de lucro do produtor. Por fim, o volume de biodiesel arrematado fica em poder das unidades produtoras até a realização do releilão em que o distribuidor adquirente recebe ou retira o volume arrematado (PADULA et al., 2012).

4.5 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDAS

No corrente estudo, escolheu-se o período de 2013 a 2016, pois nos anos anteriores o produto estava nos estágios de lançamento e crescimento do seu ciclo de vida, sofrendo os efeitos de forte influência do ambiente político-legal, que estabelecia aumentos graduais na proporção de biodiesel ao diesel mineral. Assim sendo, para a produção mensal de biodiesel do período escolhido, avaliaram-se as amplitudes de erros para os métodos de previsão de demanda por meio da média móvel simples (ANEXO 1), média móvel ponderada por programação linear (ANEXO 2) e média móvel com suavização exponencial simples (ANEXO 3).

O monitoramento constante do modelo e das técnicas usadas é essencial para a manutenção de previsões seguras por longas séries temporais (STEVENSON, 2001a). Em situações normais, basta um pequeno ajuste nos parâmetros do modelo, para que ele volte a refletir as tendências mais recentes. Por outro lado, mudanças de tendência e sazonalidade persistentes ou permanentes requerem uma reavaliação completa. No caso do Biodiesel, mudanças na legislação, na produção de matérias-primas e variações em *commodities* correlatas, como o preço da soja, cana, açúcar, álcool, petróleo, diesel, dentre outros, podem refletir na reavaliação do modelo e técnica empregados na previsão de demandas.

Historicamente verifica-se uma discrepância entre os volumes arrematados em leilão e entregas (MENDES, 2009). Esta falta de compromisso deu efeito à criação de regras mais rígidas relativas à obediência nas entregas dos volumes arrematados, de forma que constatada a indisponibilidade do lote arrematado, por qualquer motivo, dará direito ao organizador do leilão a aplicação de medidas administrativas como a exclusão temporária no próximo leilão.

O planejamento e o controle da produção orientam as estratégias do sistema produtivo de duas formas, em primeiro caso agrupando famílias de matérias primas, produtos e serviços a serem disponibilizados para o mercado, ou então, delinea previsões de curto e médio prazo utilizadas no plano mestre de produção e na programação dos recursos transformadores disponíveis (BALLOU, 2006; TURBINO 2007). Na produção de biodiesel é importante a manutenção de corretas estimativas dos volumes a serem processados e disponibilizados no mercado, a fim de estabelecer interações mais precisas entre o planejamento e o controle da cadeia de

suprimentos, principalmente a produção de soja, bem como minimizar os efeitos da oferta e procura na manutenção dos preços de mercado.

Pelo método da média móvel simples, observou-se que em 2014, as previsões dos meses de 7 a 12, apresentaram amplitudes de erro pouco satisfatórias, cuja tendência de viés não permaneceu entre o ideal de -4 e 4, e sim bem acima do valor 4 (ANEXO 1). Para todos os outros períodos todas as tendências de viés permaneceram dentro do valor satisfatório. O emprego deste método mostrou-se satisfatório e pode ser indicado para estudo de demanda.

Quando se utilizou o método da média móvel ponderada (ANEXO 2), a maioria das previsões foi satisfatória ao se analisar as tendências de viés. As exceções também foram para os meses de 7 a 12 de 2014, de forma semelhante ao ocorrido no método de média móvel simples. Os valores evidenciam que o emprego deste método é também satisfatório, pois o consumo do biodiesel não apresentou ciclos de sazonalidade e tendência de crescimento, pois encontra-se no estágio de amadurecimento do seu ciclo de vida. Deste modo a aplicação deste modelo é indicada.

Pela média móvel com suavização exponencial, observou-se que, semelhante ao ocorrido com os outros dois modelos, a maioria das previsões foi satisfatória, ao se analisar as tendências de viés. As exceções também foram para os meses de 7 a 12 de 2014 (ANEXO 3). O monitoramento pode ser feito analisando-se a amplitude de erros entre a demanda real e a estimada.

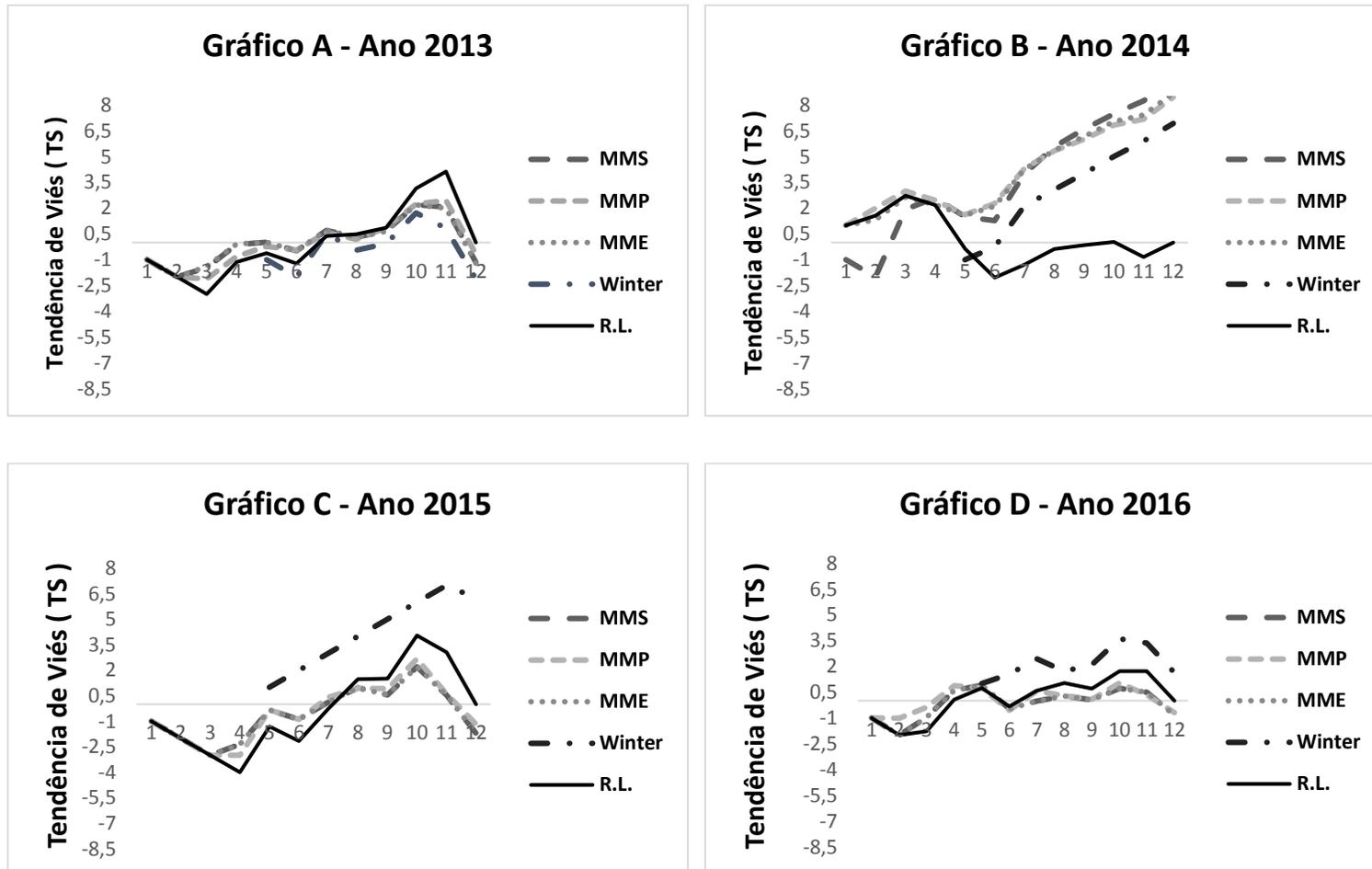
Ao projetarem-se as previsões de demanda pelo método Winter (ANEXO 4), os dados estimados apresentaram as mais elevadas amplitudes de erros positivas nos anos entre 2015 e 2016, entre todos os métodos, este fato fez a tendência de viés variar entre os limites ideais de -4 e 4 (FIGURA 21). Contudo, o desvio médio absoluto foi o maior nos três últimos anos considerados (FIGURA 22), quando comparado às demais técnicas de previsão. Mediante ao exposto, ficou evidente a baixa aderência dos dados reais ao modelo de previsão, e conseqüentemente, sua não recomendação. Nesse método ocorre o amortecimento exponencial dos dados levando-se em conta os coeficientes de nível, tendência e sazonalidade de uma série histórica, porém os dados em análises apresentaram nível e pouca ou nenhuma tendência e sazonalidade (STEVENSON, 2001b).

Quando se utilizou do modelo de previsão de demanda por regressão linear, não se observou efeitos significativos para dados anuais, uma vez que os marcos

legais e os leilões estabelecem um nível constante de demanda (ANEXO 5). Entretanto, durante o decênio há efeito de regressão uma vez que há tendência crescente da demanda como consequência do consumo crescente da intervenção governamental para aumento da mistura do biodiesel ao diesel, por exemplo, no início do programa em 2005 utilizava-se a mistura B2 e em 2018 a mistura B10.

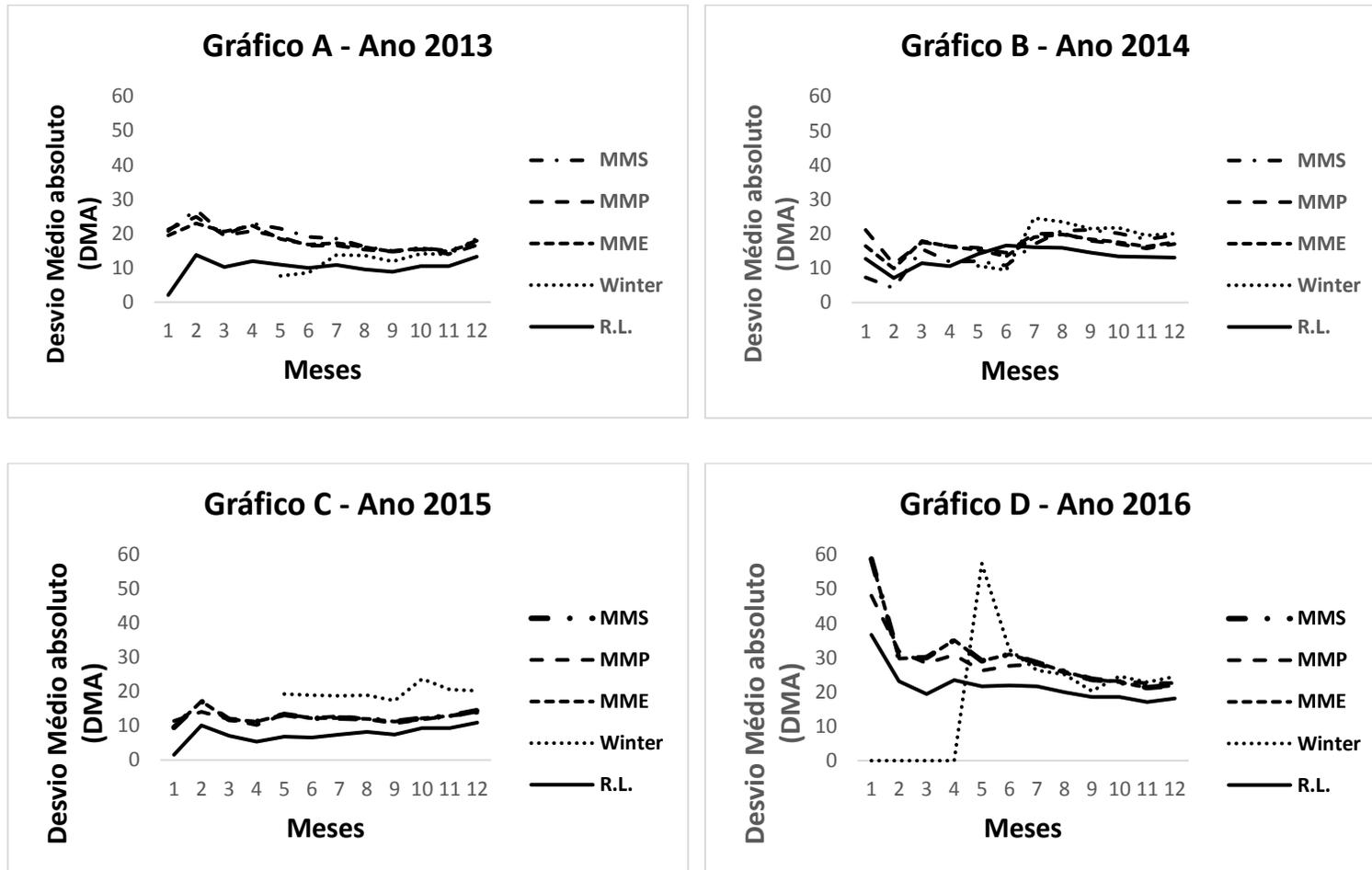
Ao se confrontar a tendência de viés gerada por esses cinco métodos de previsão (Figura 21), ficam evidentes que para os anos de 2015 a 2016, todos os métodos, excetuando-se Winter apresentaram excelentes previsões. Em alguns meses, em todos os anos, há diminuição de demanda, simulando sazonalidade favorecendo a eleição incorreta do método de Winter em detrimento aos demais modelos.

Figura 21 -Tendência de viés para a previsão de demanda de biodiesel pelos métodos da média móvel simples (MMS), média móvel ponderada por programação linear (MMP), média móvel com suavização exponencial simples por programação linear (MME), método de Winters (MW) e Regressão Linear (R.L.)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 - Desvio Médio Padrão para a previsão de demanda de biodiesel pelos métodos da média móvel simples (MMS), média móvel ponderada por programação linear (MMP), média móvel com suavização exponencial simples por programação linear (MME), método de Winters (MW) e Regressão Linear (R.L.)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os modelos que melhor se ajustaram as características da demanda foi a média móvel simples e a média móvel ponderada. Por parcimônia, foi adotado então o modelo da média móvel simples devido a sua simplicidade. Com o objetivo de avaliar o comportamento desta série, realizou se o teste considerando um período entre janeiro de 2017 e abril de 2019 (TABELA 14).

Tabela 14 - Projeção mensal da demanda brasileira de biodiesel (mil m³) para 2019, pelo método da Média Móvel Simples

Meses	Projeção 2017						Projeção 2018						Projeção 2019									
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
DEM	387,24	400,00	398,71	409,34	386,94	382,67	337,82	338,42	452,31	446,14	383,29	467,08	489,77	486,16	482,33	500,21	479,07	487,44	446,51	415,25	462,13	464,90
PRE	358,72	371,93	382,16	395,31	402,68	398,33	392,98	369,15	352,97	376,18	412,29	427,25	432,17	446,71	481,00	486,09	489,56	487,20	488,91	471,00	449,73	441,30
EJ	28,52	28,07	16,55	14,03	-15,74	-15,66	-55,16	-30,73	99,34	69,95	-29,00	39,83	57,61	39,44	1,32	14,12	-10,49	0,24	-42,40	-55,76	12,40	23,60
DMA	45,21	43,07	40,12	37,51	35,53	33,88	55,16	42,94	61,74	63,79	56,83	54,00	54,52	52,63	46,93	43,65	40,64	37,27	42,4	49,08	38,85	33,54
TS	2,78	3,57	4,24	4,91	4,74	4,51	-1,00	-2,00	0,22	1,31	0,96	1,75	2,79	3,63	4,10	4,74	4,83	5,27	-1,00	-2,00	-2,33	-1,85

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.6 RESULTADO DO TREINAMENTO E TESTE DA REDE NEURAL

As RNAs no contexto da análise de series temporais podem ser percebidas de maneira equivalente aos modelos de predição autoregressivos não lineares (CONNOR et al., 1994). Entretanto, nas redes neurais artificiais (RNA) não é exigida uma gama de requisitos como ocorrem com modelos tradicionais de series temporais analisadas por ARIMA. Não sendo necessário especificar a natureza exata do relacionamento existente entre a entrada e saída do modelo preditor, assim se adequando a qualquer relação linear, não linear, de nível, sazonalidade e tendência (LEWIS, 2017).

O tipo de rede empregada no estudo segue a topologia *feedforward* do MLP, segundo Crone e Kourentzes (2010) essa configuração é normalmente empregada nas RNAs para series temporais.

O algoritmo de treinamento da rede foi o *Resilient Backpropagation* (Rpro), técnica empregada no aprendizado que converge os resultados mais rapidamente quando comparado ao método clássico de treinamento *back propagation* (RIEDMILLER, 1994). A função de ativação foi a logística sigmoide, função não linear usualmente utilizada na literatura, assim como a tangente hiperbólica (KOURENTZES et al., 2014). O domínio da função sigmoide está entre 0 e 1, portanto os dados foram normalizados conforme essa escala. Por padrão a função MLP do pacote “nnfor” já normaliza os dados.

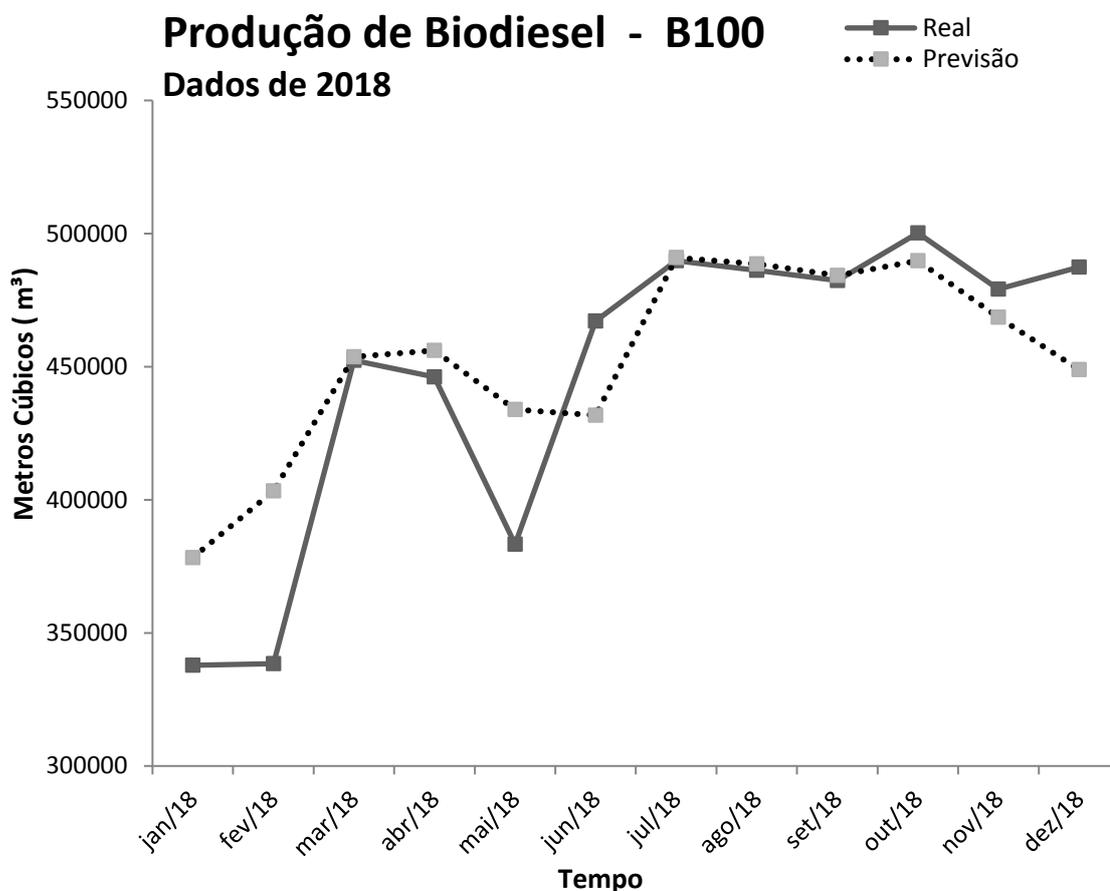
O número de nós de entrada, isto é, a defasagem autoregressiva foi definida automaticamente pela função MLP, desta forma a seleção dos *inputs* foi baseada por verificação das frequências sazonais e da estrutura dinâmica da série temporal, em que se distinguem os componentes estocásticos e determinísticos. Também é verificado a presença de tendências na série - o estudo de Barrow e Kourentzes (2018) demonstrou que as redes neurais não são tão boas na modelagem de tendências - caso exista, as primeiras diferenças são usadas. Outro ponto diz respeito a sazonalidade, que foi constatada por meio do teste Canova-Hansen, utilizado para identificar se essa é estocástica ou determinística. A sazonalidade determinística é

melhor representada por meio de variáveis *dummy* (BARROW; KOURENTZES, 2018). Por padrão a inclusão de variáveis *dummy* são testadas.

Foi utilizada uma camada oculta com cinco neurônios (padrão do pacote nnfor). A quantidade de camadas ocultas estabelece o grau de complexidade entre as entradas e saídas da rede; geralmente uma a duas camadas são suficientes, pois muitas camadas podem levar a overfitting enquanto poucas podem gerar underfitting (LEWIS, 2017). Ainda segundo o autor, da mesma maneira que o número de camada ocultas pode levar a um sobreajuste ou um sobajuste a quantidade de neurônios nessas camadas também pode levar a esse problema.

Foram usadas 20 repetições de treinamento, padrão da biblioteca, ou seja, 20 redes treinadas e combinadas pela mediana (KOURENTZES et al., 2014). Ainda, segundo o autor quanto mais repetição melhor será o desempenho do modelo, ademais, resultados mais estáveis quando retreinadas. O período de treinamento da rede foi mensal, iniciando em 2013 e encerrado ao final de 2017; o ano de 2018 foi utilizado para validação (FIGURA 23). De acordo com Yu et al. (2010) geralmente utiliza-se o padrão de 80% para treinamento e 20% para teste, nesse trabalho foi utilizado por conveniência a composição 84% e 16%. Os outros parâmetros da rede foram: erro desejado de parada (threshold) de 0,01 ou no máximo 100.000 interações; taxa de aprendizado dinâmica com fator de multiplicação minus=0,5 e plus=1,2 (mais detalhes em Günther e Fritsch, 2010).

Figura 23: Produção de Biodiesel B100 - Resultado e Teste da Rede Neural



Fonte: Elaborado pelo autor

Medidas de acurácia, para mais detalhes *vide*: Hyndman, e Koehler (2006); Hyndman e Athanasopoulos (2018).

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE (%)	ACF1 Thei	Theil's U
Test set	6494,858	30921,21	22294,77	1,742726	5,265897	0,1248399	1,121156

Legenda. ME: Mean Error; RMSE: Root Mean Squared Error; MAE: Mean Absolute Error; MPE: Mean Percentage Error; MAPE: Mean Absolute Percentage Error; MASE: Mean Absolute Scaled Error; ACF1: Autocorrelation of errors at lag 1.

4.7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando a abordagem desenvolvida neste trabalho, conclui-se:

1. As fontes renováveis da matriz energética global cresceram 4% entre 2007 e 2012, e se constitui por: petróleo (32,3%), carvão vegetal (27,3%), gás natural (21,4%), hidráulica (2,4%), nuclear (5,7%) e fontes renováveis como a solar, a eólica e a biomassa (11%), Em 2013, 81,1% da energia do planeta provinha de combustíveis fósseis, 13,3% de energia renovável e 5,7% de energia nuclear,
2. A matriz energética brasileira é muito diversificada em fontes de energias, principalmente renovável: diesel (18,3%), hidroeletricidade (16,9%), bagaço de cana (11,2%), outras (18%, gás de refinaria, coque de carvão mineral e carvão vegetal), gasolina automotiva (9,7%), gás natural (7,2%), lenha (6,3%), etanol (4,2%), GLP (3,2%), lixívia de celulose (1,8%), outros combustíveis e querosene (3,11%),
3. Características da cadeia produtiva do biodiesel brasileiro: a soja (76%) e o bovino (20%) são as principais matérias primas. O centro-oeste (40%) e o sul (39%) do Brasil concentram a maior produção. Há uma capacidade produtiva instalada e ociosa próximo de 70% no setor e o controle de preços em leilões inibe a competitividade comercial do setor; há forte regulamentação governamental, incentivos tecnológicos, isenções fiscais e programas sociais de apoio à agricultura familiar;
4. Na análise da cadeia produtiva e de suprimentos do biodiesel no Brasil, avaliando-se as previsões de demanda pela metodologia ARIMA, indicou-se por parcimônia, a previsão de demanda pelo método da média móvel simples devido sua simplicidade, válida pela série histórica de 2013 a 2016.

5. A rede neural artificial foi utilizada para teste e validação dos resultados compilados e obtidos pela metodologia ARIMA. Foram utilizados os dados para treinamento da rede, mensalmente iniciando em 2013 e encerrando ao final de 2017, e o ano de 2018 foi utilizado para validação destes dados. Assim, concluiu-se que o uso da rede neural artificial foi muito bem aceito para previsão de demanda para séries temporais devido sua simplicidade no aprendizado com dados de entrada de uma série histórica e não sendo sensível a pequenas variações nestes dados de entrada, sendo assim bastante flexível.

4.8 LISTA DE ANEXOS

4.8.1 ANEXO 1

Anexo 1 - Previsão mensal de demanda brasileira de biodiesel (mil m³) pelo método da média móvel simples

Meses	Projeção 2013					Projeção 2014					Projeção 2015					Projeção 2016				
	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS
1	226,51	-	-	-	-	245,21	252,51	-7,29	7,29	-1,00	319,55	329,06	-9,52	9,52	-1,00	271,39	330,12	-58,73	58,73	-1,00
2	205,74	-	-	-	-	240,53	241,58	-1,06	4,18	-2,00	303,59	328,38	-24,78	17,15	-2,00	300,06	300,86	-0,80	29,76	-2,00
3	230,75	-	-	-	-	271,84	233,37	38,47	15,61	1,93	322,69	324,03	-1,34	11,88	-3,00	323,16	292,66	30,50	30,01	-0,97
4	253,59	221,00	32,59	22,88	0,71	253,22	252,53	0,70	11,88	2,59	324,53	315,28	9,25	11,22	-2,35	348,48	298,20	50,28	35,08	0,61
5	245,93	230,03	15,91	21,49	0,02	242,53	255,20	-12,67	12,04	1,51	338,85	316,94	21,91	13,36	-0,34	328,81	323,90	4,91	29,04	0,90
6	236,44	243,43	-6,99	19,07	0,39	251,52	255,86	-4,35	10,76	1,28	322,18	328,69	-6,50	12,22	-0,90	291,77	333,49	-40,71	30,99	-0,47
7	260,67	245,32	15,35	18,54	0,43	302,97	249,09	53,88	16,92	4,99	341,09	328,52	12,57	12,27	0,13	337,43	323,36	14,08	28,57	-0,02
8	247,61	247,68	0,07	16,23	0,49	314,53	265,67	48,86	20,91	5,57	344,04	334,04	9,99	11,98	0,97	327,18	319,67	7,51	25,94	0,27
9	252,71	248,24	4,47	14,92	0,83	312,66	289,67	22,99	21,14	6,60	330,39	335,77	-5,38	11,25	0,55	313,31	319,13	-5,82	23,70	0,05
10	277,99	253,67	24,32	15,86	0,31	321,60	310,06	11,55	20,18	7,49	359,17	338,51	20,66	12,19	2,20	341,02	325,98	15,05	22,84	0,71
11	265,18	259,44	5,74	14,94	0,84	316,63	316,27	0,36	18,38	8,24	324,66	344,53	-19,87	12,89	0,54	321,56	327,17	-5,61	21,27	0,50
12	214,36	265,29	-50,93	17,94	0,47	348,96	316,96	32,00	19,51	9,40	306,53	338,07	-31,55	14,44	-1,70	296,14	325,30	-29,15	21,93	-0,84

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.8.2 ANEXO 2

Anexo 2 - Previsão mensal de demanda brasileira de biodiesel (mil m³), método média móvel ponderada por programação linear

Meses	Projeção 2013					Projeção 2014					Projeção 2015					Projeção 2016				
	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS
1	226,51	-	-	-	-	245,21	224,09	21,12	21,12	1,00	319,55	331,01	-11,46	11,46	-1,00	271,39	319,43	-48,05	48,05	-1,00
2	205,74	-	-	-	-	240,53	239,31	1,22	11,17	2,00	303,59	320,34	-16,74	14,10	-2,00	300,06	284,45	15,61	31,83	-1,02
3	230,75	-	-	-	-	271,84	241,43	30,41	17,59	3,00	322,69	330,26	-7,57	11,93	-3,00	323,16	301,65	21,51	28,39	-0,38
4	253,59	228,98	24,61	20,75	-0,80	253,22	265,85	-12,62	16,34	2,46	324,53	319,36	5,17	10,24	-2,99	348,48	310,46	38,02	30,80	0,88
5	245,93	233,56	12,37	19,08	-0,22	242,53	256,79	-14,26	15,93	1,62	338,85	312,68	26,17	13,42	-0,33	328,81	336,61	-7,80	26,20	0,74
6	236,44	239,58	-3,14	16,42	-0,45	251,52	244,57	6,94	14,43	2,27	322,18	328,64	-6,45	12,26	-0,89	291,77	327,43	-3,65	27,61	-0,56
7	260,67	243,62	17,05	16,51	0,59	302,97	249,80	53,17	19,97	4,31	341,09	324,87	16,23	12,83	0,42	337,43	306,43	31,00	28,09	0,56
8	247,61	254,50	-6,89	15,31	0,18	314,53	293,12	21,41	20,15	5,33	344,04	338,28	5,76	11,94	0,93	327,18	335,32	-8,14	25,60	0,29
9	252,71	242,94	9,78	14,69	0,86	312,66	312,32	0,35	17,95	6,00	330,39	331,58	-1,19	10,75	0,92	313,31	318,74	-5,44	23,36	0,09
10	277,99	256,04	21,95	15,42	2,24	321,60	313,02	8,58	17,01	6,84	359,17	337,50	21,67	11,84	2,67	341,02	319,22	21,80	23,20	1,03
11	265,18	265,27	-0,27	14,03	2,45	316,63	319,89	-3,26	15,76	7,17	324,66	348,34	-23,68	12,92	0,61	321,56	337,63	-16,07	22,55	0,35
12	214,36	259,96	-45,96	16,66	-0,45	348,96	317,60	31,38	17,06	8,47	306,53	330,71	-24,18	13,86	-1,18	296,14	319,54	23,39	22,62	-0,69

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.8.3 ANEXO 3

Anexo 3 - Projeção mensal da demanda brasileira de biodiesel (mil m³) pelo método da média móvel com suavização exponencial simples (α = coeficiente de ponderação assimétrica)

Meses	Projeção 2013 ($\alpha=0,46$)					Projeção 2014 ($\alpha=0,38$)					Projeção 2015 ($\alpha=1,00$)					Projeção 2016 ($\alpha=1,00$)				
	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS
1	226,51	-	-	-	-	245,21	228,75	16,47	16,47	1,00	319,55	329,06	-9,52	9,52	-1,00	271,39	330,12	-58,73	58,73	-1,00
2	205,76	-	-	-	-	240,53	243,85	-3,32	9,89	1,33	303,59	328,38	-24,78	17,15	-2,00	300,06	300,86	-0,80	29,76	-2,00
3	230,75	-	-	-	-	271,84	237,83	34,01	17,93	2,63	322,69	324,03	-1,34	11,88	-3,00	323,16	292,66	30,50	30,01	-0,97
4	253,59	226,30	27,29	22,28	-0,12	253,22	264,56	-11,33	16,28	2,20	324,53	315,28	9,25	11,22	-2,35	348,48	298,20	50,28	35,08	0,61
5	245,93	242,84	3,10	18,44	0,02	242,53	253,97	-11,44	15,31	1,59	338,85	316,94	21,91	13,36	-0,34	328,81	323,90	4,91	29,04	0,90
6	236,44	244,79	-8,35	16,76	-0,48	251,52	247,55	3,96	13,42	2,11	322,18	328,69	-6,50	12,22	-0,90	291,77	333,49	-40,71	30,99	-0,47
7	260,67	240,49	20,18	17,25	0,71	302,97	250,60	52,37	18,99	4,25	341,09	328,52	12,57	12,27	0,13	337,43	323,36	14,08	28,57	-0,02
8	247,61	254,74	-7,13	15,98	0,32	314,53	288,91	25,62	19,82	5,37	344,04	334,04	9,99	11,98	0,97	327,18	319,67	7,51	25,94	0,27
9	252,71	247,90	4,816	14,74	0,67	312,66	305,16	7,50	18,45	6,17	330,39	335,77	-5,38	11,25	0,55	313,31	319,13	-5,82	23,70	0,05
10	277,99	253,15	24,84	15,75	2,20	321,60	311,68	9,92	17,60	7,03	359,17	338,51	20,66	12,19	2,20	341,02	325,98	15,05	22,84	0,71
11	265,18	269,52	-4,35	14,72	2,06	316,63	319,59	-2,96	16,26	7,43	324,66	344,53	-19,87	12,89	0,54	321,56	327,17	-5,61	21,27	0,50
12	214,36	265,23	-50,86	17,23	-1,16	348,96	316,75	32,21	17,59	8,70	306,53	338,07	-31,55	14,44	-1,70	296,14	325,30	-29,15	21,93	-0,84

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.8.4 ANEXO 4

Anexo 4 - Projeção mensal da demanda brasileira de biodiesel (mil m³) pelo método de Winter

Meses	Projeção 2013					Projeção 2014					Projeção 2015					Projeção 2016				
	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS
1	226,51	-	-	-	-	245,21	-	-	-	-	319,55	-	-	-	-	271.39	-	-	-	-
2	205,76	-	-	-	-	240,53	-	-	-	-	303,59	-	-	-	-	300.06	-	-	-	-
3	230,75	-	-	-	-	271,84	-	-	-	-	322,69	-	-	-	-	323.14	-	-	-	-
4	253,59	-	-	-	-	253,22	-	-	-	-	324,53	-	-	-	-	348.49	-	-	-	-
5	245,93	253,59	-7.66	7,66	-1,00	242,53	253,22	-10,70	10,67	-1,00	338,85	319,55	19,30	19,30	1,00	328.81	271.39	57.43	57.43	1,00
6	236,44	245,93	-9.49	8,57	-2,00	251,52	243,32	8,20	9,45	-0,26	322,18	303,59	18,59	18,95	2,00	292.77	300.06	-7.29	32.36	1,55
7	260,67	236,44	24.23	13,79	0,51	302,97	248,16	54,81	24,57	2,13	341,09	322,69	18,40	18,77	3,00	337.43	323.16	14.28	26.33	2,45
8	247,61	260,67	-13.06	13,61	-0,44	314,53	294,40	20,14	23,46	3,09	344,04	324,53	19,51	18,95	4,00	327.18	348.48	-21.30	25.07	1,72
9	252,71	247,61	5.10	11,91	-0,07	312,66	290,00	13,67	21,50	4,00	330,39	319,55	10,84	17,33	5,00	313.31	314.16	-0,85	20.23	2,09
10	277,99	252,71	25.28	14,14	1,73	321,60	298,35	23,25	21,79	5,02	359,17	303,59	55,57	23,70	6,00	341.02	294.63	46.39	24.59	3,61
11	265,18	277,99	-12.82	13,95	0,83	316,63	310,37	6,25	19,57	5,91	324,66	322,69	1,97	20,60	7,00	321.56	333.79	-12.23	22.82	3,35
12	214,36	265,18	-50.81	18,56	-2,11	348,96	325,68	23,28	20,04	6,93	306,53	324,53	-18,00	20,27	6,22	296.14	332.62	-36.47	24.53	1,63

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.8.5 ANEXO 5

Anexo 5 - Projeção mensal da demanda brasileira de biodiesel (mil m³) pelo método da Regressão Linear

Meses	Projeção 2013					Projeção 2014					Projeção 2015					Projeção 2016				
	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS	DEM	PRE	Ej	DMA	TS
1	226,51	228,57	-2,06	2,06	-1,00	245,21	232,51	12,71	12,71	1,00	319,55	321,08	-1,53	1,53	-1,00	271,39	308,03	-36,65	36,65	-1,00
2	205,76	231,21	-25,48	13,77	-2,00	240,53	242,09	-1,56	7,13	1,56	303,59	322,35	-18,76	10,15	-2,00	300,06	309,62	-9,56	23,10	-2,00
3	230,75	233,86	-3,11	10,22	-3,00	271,84	251,66	20,17	11,48	2,73	322,69	323,63	-0,94	7,08	-3,00	323,14	311,21	11,94	19,38	-1,77
4	253,59	236,51	17,08	11,93	-1,14	253,22	261,24	-8,02	10,61	2,20	324,53	324,91	0,38	5,40	-4,00	348,49	312,80	35,68	23,46	0,06
5	245,93	239,15	6,78	10,90	-0,62	242,53	270,82	-28,29	14,15	-0,35	338,85	326,19	12,66	6,86	-1,31	328,81	314,39	14,42	21,65	0,73
6	236,44	241,80	-5,36	9,98	-1,22	251,52	280,39	-28,88	16,60	-2,04	322,18	327,47	-5,28	6,59	-2,16	292,77	315,98	-23,21	21,91	-0,34
7	260,67	244,45	16,22	10,87	0,38	302,97	289,97	13,00	16,09	-1,30	341,09	328,74	12,35	7,42	-0,25	337,43	317,57	19,86	21,62	0,58
8	247,61	247,09	0,52	9,58	0,48	314,53	299,55	14,98	15,95	-0,37	344,04	330,02	14,01	8,24	1,47	327,18	319,16	8,02	19,92	1,03
9	252,71	249,74	2,97	8,84	0,86	312,66	309,13	3,54	14,57	-0,16	330,39	331,30	0,91	7,43	1,51	313,31	320,75	-7,44	18,53	0,71
10	277,99	252,39	25,60	10,52	3,15	321,60	318,70	2,90	13,40	0,04	359,17	332,58	26,59	9,34	4,05	341,02	322,34	18,68	18,55	1,71
11	265,18	255,03	10,14	10,48	4,13	316,63	328,28	-11,66	13,24	-0,84	324,66	333,86	-9,19	9,33	3,07	321,56	323,93	-2,373	17,08	1,72
12	214,36	257,68	-43,32	13,22	0,00	348,96	337,86	11,10	13,07	0,00	306,53	335,13	-28,61	10,94	0,00	296,14	325,52	-29,38	18,10	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: (DEM) demanda mensal; (PRE) previsão estimada pelo método; (Ej) erro simples; (DMA) desvio médio absoluto e (TS) tendência de viés

4.9 REFERÊNCIAS

- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim mensal do biodiesel**. 2017. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal_do_Biodiesel/2017/Boletim_Biodiesel_FEVEREIRO_2017.pdf. Acesso em: 13 jun. 2019.
- APROBIO - ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL. **Selo Combustível Social**. Disponível em: <https://aprobio.com.br/selo-combustivel-social>. Acesso em: 13 jun. 2018.
- BERGMANN, J. C. *et al.* *Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 21, p. 411-420, maio 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.058>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113000142>. Acesso em: 20 fev. 2019
- CONNOR, J. T.; MARTIN, R. D.; ATLAS, L. E. *Recurrent neural networks and robust time series prediction*. **IEEE transactions on neural networks**, [s.l.] v. 5, n. 2, p. 240-254, 1994. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/72.279188>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/279188>. Acesso em: 23 mar. 2019.
- COSTA NETO, P. R. *et al.* *Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras*. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-537, 15 set, 1999.
- CRONE, S. F.; KOURENTZES, N. *Feature selection for time series prediction – A combined filter and wrapper approach for neural networks*. **Neurocomputing**, [s.l.], v. 73, n. 10-12, p. 1923-1936, jun. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2010.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231210000974>. Acesso em: 30 mar. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia, **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2018**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 02 junho 2019.
- 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**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 3-16, mar 2013.
- GÜNTHER, F.; FRITSCH, S. *Neuralnet: Training of neural networks*. **The R journal**, Bremen, Alemanha, Contributed Research Articles, v. 2, n. 1, p. 30-38, 2010.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. *Evaluating forecast accuracy*. **Forecasting: principles and practice**, n. 2, Seção 3.4, 2018. Disponível em: <https://otexts.org/fpp2/accuracy.html>. Acesso em: 26 jun. 2019.

HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, [s.l.], v. 22, n. 4, p. 679-688, out. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207006000239>. Acesso em: 22 jul. 2019.

IEA – International Energy Agency - **KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2018**. Disponível em: <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>. Acesso em: 05 dez. 2018.

KOURENTZES, N.; BARROW, D. K.; CRONE, S. F. *Neural network ensemble operators for time series forecasting*. **Expert Systems With Applications**, [s.l.], v. 41, n. 9, p. 4235-4244, jul 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.01>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413009834>. Acesso em: 06 maio 2019.

KOURENTZES, N.; CRONE, S. F. *Frequency independent automatic input variable selection for Neural Networks for forecasting*. Barcelona, Espanha. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2010, Barcelona, Spain. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221534106_Frequency_independent_automatic_input_variable_selection_for_Neural_Networks_for_forecasting. Acesso em: 10 maio 2019.

KOURENTZES, N. **nnfor**: Time Series Forecasting with Neural Networks. R package version 0.9.6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=nnfor>. Acesso em 26 jun. 2019.

LEWIS, N. D. **Neural Networks for Time Series Forecasting with R**: An Intuitive Step by Step Blueprint for Beginner. [s.l.]: Createspace Independent Publishing Platform, 2017. 238 p. ISBN 978-15-4475-29-52.

LIMA, P. C. R. O biodiesel no brasil e no mundo e o potencial do estado da paraíba. **Consultoria Legislativa, Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos da Câmara Dos Deputados**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema16/2007_1951.pdf. Acesso em: 29 nov. 2018.

MENDES, A. P. A. COSTA, R. C. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras**. Rio de Janeiro, n. 31, p. 253 - 280, 2009. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2483/1/BS_31_Mercado_brasileiro_de_biodiesel_P.pdf. Acesso em: 25 mai. 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6. ed. Arizona State University: John Wiley & Sons, 2009. 752 p. ISBN 978-0-470-16992-6. Disponível em: <http://dl4a.org/uploads/pdf/581SPC.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

PADULA, A. D. *et al.* *The emergence of the biodiesel industry in Brazil: Current figures and future prospects*. **Energy Policy**, [s.l.], v. 44, p. 395-405, maio 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512000997>. Acesso em: 20 dez. 2018.

PEINADO, J. GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007. 750 p. Disponível em: https://www.academia.edu/34694459/Livro_Administracao_da_Producao_Peinado_2 Acesso em: 03 nov. 2018.

PINHO, D. M. M. SUAREZ, P. A. Z. Do Óleo de Amendoim ao Biodiesel- Histórico e Política Brasileira para o Uso Energético de Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 39-51. nov. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170006>. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n1a06.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

RIEDMILLER, M. **Rprop - Description and Implementation Details**. 1994. Disponível em: <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/WS06/Mustererkennung/Paper/rprop.pdf>. Acesso em: 04 Abr. 2019.

SANTOS, E. D. FURLANETTO, E. L. Inovação sustentável do biodiesel de mamona: uma análise da percepção da Embrapa/cg e dos cooperados da coopaib – cooperativa agroindustrial do compartimento da Borborema. **Polêmica**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 1081-1093, 2014.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001a, p. 62-110. ISBN: 978-85-2161-27-73.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001b. ISBN: 85-294-0092-5.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A. GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 79. p. 47-69, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003. Acesso em: 27 out. 2018.

TURBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007. ISBN: 978-85-224-4845-6.