

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOICY SILVA FERREIRA

O CRESCIMENTO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

JOÃO PESSOA

2023

JOICY SILVA FERREIRA

O CRESCIMENTO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento aos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. José Etimógenes Duarte
Vieira Segundo

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F383c Ferreira, Joicy Silva.

O CRESCIMENTO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL / Joicy
Silva Ferreira. - João Pessoa, 2023.
41 f.

Orientação: JOSÉ ETIMÓGENES DUARTE VIEIRA SEGUNDO.
TCC (Graduação) - UFPB/TECNOLOGIA.

1. Biomassa, etanol, biogás, bioquerosene. I. VIEIRA
SEGUNDO, JOSÉ ETIMÓGENES DUARTE. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

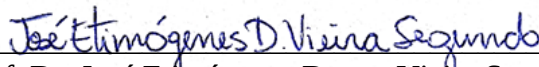
JOICY SILVA FERREIRA

O CRESCIMENTO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

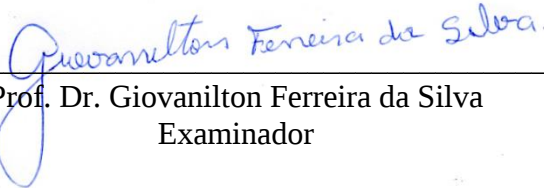
Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento aos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Aprovada em 27 de outubro de 2023

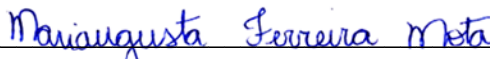
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Etimógenes Duarte Vieira Segundo
Orientador



Prof. Dr. Giovanilton Ferreira da Silva
Examinador



Dra. Mariaugusta Ferreira Mota
Examinadora

AGRADECIMENTOS

A Deus que me sustentou em todos os momentos da minha vida.

À minha avó Dalva França Martins (*in memoriam*) por sempre ser um exemplo de ser humano, e por ser parte importante na construção do meu sonho de concluir o ensino superior.

À minha mãe Maria Gilvaneide por todo exemplo de amor e respeito que teve por minha vida, mesmo que isso tenha custado o preço da saudade e muitas lágrimas, porque não foi fácil deixar passar por tudo que passou para que hoje eu pudesse estar aqui agradecendo por estar chegando ao final de um ciclo especial.

Aos meus tios José Edmilson e Maria Neuzimar por ter aberto as portas da sua casa, e sempre ter um cuidado especial comigo. Eu sou imensamente grata porque na maioria das vezes tomaram para si o papel de pais, e por ensinaram os valores do amor, cuidado e respeito.

Ao meu primo Cícero Faustino e minha irmã Jéssica Ferreira por serem o meu maior exemplo, por acreditarem em mim e no meu potencial.

Aos meus primos D Jason Faustino, Ednayara Luiza, Everton França, Iara Martins, Joaquim Faustino e José França por dividirem comigo as alegrias e tristezas deste processo. Seria mais difícil se eu não tivesse vocês para contar.

Aos meus amigos da faculdade, Ailson Lourenço, Amanara Freitas, Camila Luciana, José Eduardo, Manoel Teodoro, Maria Helena, e Rayanne Barros, por serem luzes na minha vida. A minha gratidão pôr o incentivo de nunca desistir de concluir a minha tão sonhada faculdade de engenharia química.

À minha amiga de toda uma vida Clécia Magalhães, por acreditar que eu iria atingir meus objetivos.

À professora Andrea Ferreira, em ouvir e apoiar o que fosse melhor para o aluno. Obrigada por este olhar humanizado para a graduação, e por sempre ter uma palavra de ânimo em meio ao caos acadêmico.

Ao professor Flávio Honorato por todo respeito cuidado e incentivo durante a graduação. Obrigada por não ter soltado a minha mão em momentos críticos da graduação, sua transcendência foi essencial para o meu processo.

À professora e orientadora Josilene por sempre segurar a minha mão em todos estes anos de graduação. Obrigada por parar muitas vezes para escutar as minhas inseguranças, meus medos.

Ao meu namorado e toda sua família que me acompanhou neste ano tão difícil.

RESUMO

A redução das fontes fósseis e as questões climáticas vêm desencadeando a procura por alternativas renováveis. Biocombustíveis, por serem produzidos a partir de fontes limpas e biodegradáveis, têm se tornado um aliado no combate às emissões dos gases do efeito estufa (GGE), além de trazer rendimentos lucrativos e sustentáveis. A produção em larga escala no Brasil destaca o biodiesel, biogás e o etanol. Este trabalho tem como objetivo pesquisar nas bases de dados Google Acadêmico e *Scientific Eletronic Library Online* (SCIELO) o crescimento da produção dos biocombustíveis fabricados a partir de diferentes matérias-primas, como a cana-de-açúcar, o milho e os resíduos tanto da agroindústria quanto urbanos. Também foram consultados documentos oficiais que incluem leis, programas e projetos de lei governamentais. Relatórios emitidos por empresas especializadas no assunto foram de suma importância para o enriquecimento deste trabalho. Por exemplo, a Empresa de Pesquisa Energética traz dados concisos da produção anual de biocombustíveis, além de identificar as principais matérias-primas utilizadas no processo. Em 2022, o Brasil produziu cerca de 29,9 bilhões de litros de etanol, somados tanto do processamento da cana-de-açúcar quanto do milho. O consumo de biodiesel no mesmo ano chegou a 6,6 bilhões de litros. O etanol de 2º geração (E2G) é um atrativo ao mercado nacional, pois além de ser sustentável, emite menos gases poluentes. O Brasil já conta com duas plantas de E2G em operação e mais 8 unidades estão em construção. Por fim, a produção de biogás e bioquerosene está se tornando pertinente no país, visto que as fontes são as mesmas que produzem os biocombustíveis já citados acima.

Palavras-chaves: Biomassa, etanol, biogás, bioquerosene.

ABSTRACT

The reduction of fossil sources and climate issues have been triggering the search for renewable alternatives. Biofuels, as they are produced from clean and biodegradable sources, have become an ally in the fight against greenhouse gas (GGE) emissions, in addition to bringing profitable and sustainable income. Large-scale production in Brazil highlights biodiesel, biogas and ethanol. This work aims to research in the Google Scholar and Scientific Electronic Library Online (SCIELO) databases the growth in the production of biofuels manufactured from different raw materials, such as sugar cane, corn and waste from both agroindustry and urban. Official documents including laws, programs and government bills were also consulted. Reports issued by companies specializing in the subject were extremely important in enriching this work. For example, the Energy Research Company provides concise data on the annual production of biofuels, in addition to identifying the main raw materials used in the production process. In 2022, Brazil produced around 29.9 billion liters of ethanol, combined from both sugarcane and corn processing. Biodiesel consumption in the same year reached 6.6 billion liters. 2nd generation ethanol (E2G) is attractive to the national market, as in addition to being sustainable, it emits fewer polluting gases. Brazil already has two E2G plants in operation and 8 more units are under construction. Finally, the production of biogas and biokerosene is becoming relevant in the country, since the sources are the same as those that produce the biofuels already mentioned above.

Keywords: Biomass, ethanol, biogas, biokerosene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Participação dos renováveis na matriz elétrica brasileira até 2021	15
Figura 3.2	Matriz elétrica brasileira – 2020-2021	15
Figura 3.3	Crescimento dos biocombustíveis de 2000-2021 e projeção para 2026	18
Figura 3.4	Emissões evitadas com a utilização de biocombustíveis no Brasil -2021	18
Figura 3.5	Emissões de CO ₂ por país	19
Figura 3.6	Esquema de funcionamento do RenovaBio	19
Figura 3.7	Consumo anual de biodiesel e seus marcos legais	20
Figura 3.8	Principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel em 2021	21
Figura 3.9	Produção de biodiesel por regiões em 2021	21
Figura 3.10	Produção brasileira de etanol (cana e milho) em 2021	24
Figura 3.11	Processamento de cana por ano	24
Figura 3.12	Produção brasileira de etanol de milho em 2021	25
Figura 3.13	Tipos de fontes de biomassa na produção de etanol	26
Figura 3.14	Esquema de integração etanol E1G e E2G	27
Figura 3.15	Quantidade de plantas exclusivas para produção de E2G no mundo até 2021	28
Figura 3.16	Produção dos principais biocombustíveis a partir das microalgas	29
Figura 3.17	Plantas e produção de biogás com fins energéticos no Brasil em 2020	30
Figura 3.18	Participação das fontes de energia nos transportes em 2019	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Comparação entre a indústria do etanol nos EUA e no Brasil	23
------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Base de dados utilizadas na elaboração do trabalho	13
------------	--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 11

2 METODOLOGIA.....13

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....14

3.1 BIOCOMBUSTÍVEIS.....14

3.2 GERAÇÃO DE BIOCOMBUSTIVEIS.....16

3.3 BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL.....17

3.4 POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEUS (Renovabio)..... 19

3.5 PRODUÇÃO DE BIODIESEL, BIOGÁS E ETANOL NO BRASIL..... 20

3.5.1 Biodiesel.....20

3.5.2 Etanol.....22

3.5.2.1 Matérias-primas para produção de etanol.....24

3.5.2.1.1 Etanol De Primeira Geração (E1G)..... 26

3.5.2.1.2 Etanol De Segunda Geração (E2G).....27

3.5.2.1.3 Etanol De Terceira Geração (E3G).....28

3.5.3 Biogás.....29

3.6 Bioquerosene de aviação..... 30

4 CONCLUSÃO.....32

REFERÊNCIAS.....33

1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções sustentáveis nos diversos setores (energia, combustível) tem aumentado devido a redução das fontes fósseis e a preocupação com as mudanças climáticas causadas pelos gases do efeito estufa (GEE). Diante disso, os biocombustíveis se tornam uma estratégia viavelmente econômica e sustentável por gerarem menos poluentes ao meio ambiente (SALLET E ALVIM, 2011).

Os biocombustíveis são derivados da biomassa e podem ser substituídos parcial ou integral aos que se originam de fontes fósseis (BRASIL, 2021). A biomassa é definida como toda matéria de origem animal ou vegetal que produza energia limpa e sustentável. As principais matérias-primas utilizadas no Brasil para produção de biocombustíveis são as de origem vegetal ou animal que produzem em especial o etanol produzidos em grande parte pela cana-de-açúcar e biodiesel obtido de óleos vegetais ou gordura animal (VIDAL, 2021). Segundo a Associação do Produtores de Biocombustíveis do Brasil (APROBIO), existem quatro gerações de biocombustível. Porém, as fontes pesquisadas durante a formulação do trabalho só destacaram que em larga escala, o Brasil produz apenas o etanol de 1ª geração e 2ª geração e o biodiesel.

Em 2020, segundo a Empresa de Pesquisa Energética, o Brasil produziu 32,6 bilhões de etanol, já o consumo de biodiesel chegou a 6,4 bilhões de litros. O Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), tem sido tendencioso para o crescente avanço do biodiesel no mercado nacional.

Todavia, outros biocombustíveis têm sua importância na transição energética brasileira, com destaque ao biogás. A sua capacidade instalada em geração distribuída continuou seu movimento ascendente de 2019 para 2020, quando alcançou 42 MW, tendo como principais insumos os resíduos agroindustriais, animais e urbanos (ANEEL, 2020).

De toda forma, a produção de biocombustíveis se dá de maneira mais favorável em países que possuem uma larga extensão territorial e grandes espaços produtivos, capazes de produzirem uma grande quantidade de matérias-primas para serem processadas e convertidas em óleos e combustíveis. Esse cenário favorece, especialmente, o Brasil e os Estados Unidos, líderes mundiais na produção e consumo dessa importante fonte de energia. O Brasil é um país com uma extraordinária biodiversidade e tem se tornado referência em pesquisas na área de biocombustíveis, sendo isto refletido pelos crescentes e relevantes trabalhos de cunho científico, os quais possibilitam a aplicação tecnológica (DANTAS et al., 2021).

No que concerne à pesquisa e fomento de outros combustíveis renováveis, o setor de aviação tem ganhado incentivos do governo, a começar pela Lei Nº 14.248, de 25 de novembro de 2021 que institui o Programa Nacional de Bioquerosene. O projeto tem como premissa incentivar pesquisas para produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.

Tendo em vista do que foi exposto, o presente trabalho trata do crescimento dos biocombustíveis em termos de volume produzido no Brasil. O tipo de matéria-prima foi considerado para que pudesse entender o porquê de algumas regiões ter uma demanda de produção maior. Exemplo, é o biodiesel, que tem maior volume produzido no Sul, visto ser a região que

disponibiliza da maior área de cultivo da soja, cultura mais utilizada para produzir esse combustível.

Conforme estudo realizado, o volume produzido de biocombustíveis, destacando o etanol e o biodiesel, mostra que o Brasil tem um fator competitivo, que é a sustentabilidade energética. A matriz de energia brasileira, segundo a EPE (2022), é a mais limpa do mundo, pois cerca de 44,7% desta, é originada de fontes renováveis. A utilização de resíduos da agroindústria, dos rejeitos orgânicos, mostrara serem alternativas viáveis para produção de combustível energeticamente sustentável, uma vez que não serão depositados no meio ambiente, e sim reutilizado. Além disso, não ocorrerá competição com o setor alimentício, porque não será preciso plantar mais áreas para produzir maiores quantidades de combustíveis.

Por último, o Brasil também tem contribuído para as metas de descarbonização. De 2017, quando criada a Lei Nacional de Biocombustível (RenovaBio) até 2020 a produção de biocombustíveis aumentou. Ademais, os marcos legais de adição de biodiesel ao diesel trouxeram um crescente consumo deste renovável no país. A região Sul concentra a maior produção deste combustível sustentável, uma vez que este dispõe da maior parte de produção de soja, matéria-prima principal na produção do biodiesel.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por meio de buscas nas bases de dados Google Acadêmico e *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), sites governamentais que dispõem de documentos oficiais incluindo as leis, projetos de lei e programas. Além da consulta em materiais de empresas como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Petróleo (ANP), e leitura de notícias relacionadas ao tema em canais de grande veiculação. A seleção dos títulos foi feita com base no atendimento à temática da pesquisa.

Em geral, as publicações selecionadas compreenderam o período de 2006 a 2023. Os aspectos apresentados, abordaram as principais matérias-primas utilizadas na produção de biocombustíveis como, o etanol, biodiesel, biogás, as políticas de incentivo ao uso de renováveis na matriz energética brasileira. A Tabela 2.1 descreve as bases de dados que tiveram maior contribuição para a elaboração do trabalho, bem como os assuntos fornecidos por cada uma.

Tabela 2.1 – Base de dados utilizadas na elaboração do trabalho.	
BASE DE DADOS	
SCIELO	Trabalhos de Conclusão de Curso, Dissertações e Artigos.
GOOGLE ACADÊMICO	Relatório: Análise da conjuntura dos biocombustíveis e balanço energético
EPE	Assuntos voltados à produção de biocombustíveis fósseis: petróleo, gás natural e biocombustíveis
ANP	Lei nº 13.576/2017: Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis
PLANALTO.GOV.BR	Lei nº 13.033/2014: Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências.
	Lei nº 14.248/2021: Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.
EMBRAPA	Trabalhos voltados à agricultura e agropecuária.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

A busca por fontes de energia sustentáveis começou a surgir após a Segunda Guerra Mundial, motivado pelo desenvolvimento industrial que cresceu de maneira desordenada. As emissões de gases poluentes causam impactos negativos ao meio ambiente além das fontes fósseis que sofrem redução uma vez que são esgotáveis. Desde então, surgiram várias discussões e protocolos internacionais buscando mitigar essas causas. Diante deste contexto, os biocombustíveis se tornaram alternativas sustentáveis para diminuir os efeitos climáticos.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020), os biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural.

As principais fontes de biomassa estão nas matérias de origem vegetal ou animal. Os principais biocombustíveis produzidos em larga escala são o etanol, proveniente da cana-de-açúcar e do milho; e o biodiesel gerado a partir de óleo vegetais, residuais (frituras) ou gorduras de origem animal. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020), o Brasil registrou um total de 35,6 bilhões de litros provenientes da cana-de-açúcar e do milho, a maior produção de etanol da história. Isso representa um acréscimo de 7,5% em comparação a 2018/2019. Entretanto, outras fontes sustentáveis vêm sendo estudadas, e já estão sendo usadas na produção de combustíveis renováveis. Aqui vale destacar o biogás obtido através da decomposição de resíduos orgânicos gerados dos setores urbano e agropecuário, destacando neste último os dejetos animais dos bovinos, suínos, aves etc. (MILANEZ et al., 2021)

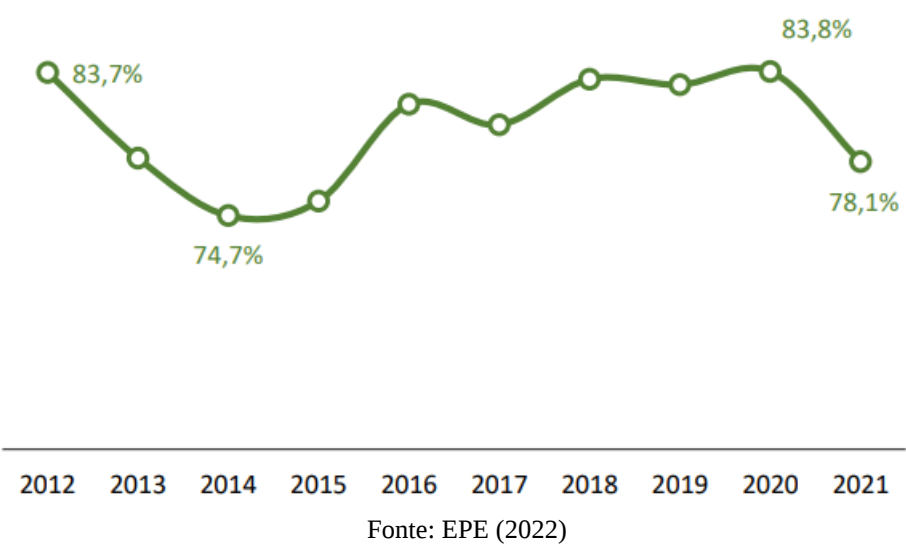
Os biocombustíveis de aviação têm ganhado espaço nas discussões a respeito das mudanças climáticas, visto que o setor de aviação é responsável por 2% da emissão mundial de CO₂ na atmosfera (FREIRE, 2014). As matérias-primas para sua geração são encontradas em óleos vegetais e matérias-primas de origem de fontes de sacarídeos, ou seja, que contenham em sua composição açúcares (BONASSA, 2014). Isso torna estas fontes viáveis ao desenvolvimento sustentável, pois o país ao longo do ano gera bastante resíduo que pode ser usado para este fim.

A literatura especializada reporta que a produção dos biocombustíveis tem sido a estratégia mais propícia para a minimização dos impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis. É uma alternativa não tóxica e biodegradável obtida a partir de fontes renováveis, que incluem os óleos vegetais e gorduras animais, tais como o óleo da palmeira, da soja, do milho, da, gordura bovina, e algas, que poderão diminuir em partes, a dependência dos combustíveis a base de petróleo (CARVALHO E FERREIRA, 2014).

Os combustíveis fósseis ainda lideram o setor de combustíveis. No entanto, devido a sua redução e seu impacto no meio ambiente causado principalmente pela emissão de CO₂, alternativas sustentáveis estão sendo empregadas. Prova disso é o crescimento da participação dos renováveis na matriz elétrica brasileira mostrado na Figura 3.1. Segundo a EPE (2013, 2014, 2015), a queda da participação dos renováveis de 2012 a 2014, se deu pelas condições hidrológicas desfavoráveis, crescimento da oferta de energia térmica e menor oferta de energia hidráulica. O aumento da participação entre 2015 e 2016, e a redução no ano de 2017, se caracterizam, respectivamente, pela

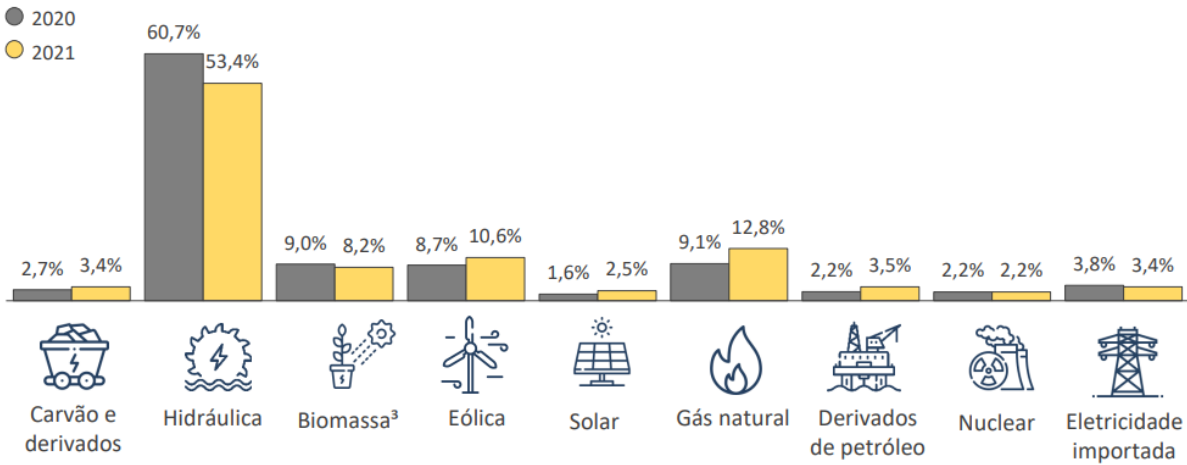
queda da oferta interna de fontes de petróleo e derivados, a expansão da geração hidráulica e a queda na oferta de energia hidráulica (EPE, 2016, 2017, 2018). De 2018 a 2020, a matriz energética brasileira teve crescimento na participação de renováveis. Isso se deu ao incremento da energia hidráulica, oferta de biomassa de cana e biodiesel (EPE, 2019, 2020). Por último, houve uma pequena queda em 2020, devido à escassez hídrica ocasionando a redução na oferta de hidreletricidade (EPE, 2021).

Figura 3.1 - Participação dos renováveis na matriz elétrica brasileira até 2021



Em contrapartida, houve um aumento no consumo de outras fontes renováveis como a energia eólica e solar, sendo a última devido ao crescimento de painéis solares em unidades federativas do Centro-Sul do país (Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso) (EPE 2022). Em 2021 o aumento destas fontes correspondeu ao percentual de 1,9% (eólica) e 0,9% (solar) em relação a 2020, conforme ilustrado na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Matriz elétrica brasileira – 2020-2021



3.2 GERAÇÕES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Existem atualmente 4 gerações de biocombustíveis, sendo elas:

a) 1ª Geração: os biocombustíveis que recebem essa classificação podem ser produzidos a partir de açúcares, amidos ou óleos vegetais, que são encontrados em matérias-primas como milho, cevada, cana-de-açúcar, canola, entre outros; b) 2ª Geração: os biocombustíveis desta classe podem ser feitos por meio de resquícios de matérias-primas de processos produtivos, como agropecuária, sendo considerada mais barata que a anterior, por ser derivada de resíduos. O etanol-celulósico, por exemplo, pode utilizar como insumo qualquer matéria-prima que contenha celulose ou hemicelulose, como cana-de-açúcar, palha da soja, casca de arroz, entre outros. O que torna a produção mais barata e abundante, já que pode ser produzida em diferentes condições climáticas e de solo. Porém, o processo de produção, chamado de hidrólise celulósica é caro, impedindo o projeto de deslanchar comercialmente; c) 3ª Geração: este grupo de biocombustíveis atua com modificações genéticas nas plantas produtoras de matérias-primas, alterando o genoma da planta para criar opções com mais fibras (gerando maior produção de biocombustível) e que podem ser plantadas em regiões áridas. Exemplos de matérias-primas são a cana-energia I e cana-energia II, cana-de-açúcar com genoma alterado para tornar-se própria para produção de biocombustível, e plantas com mais açúcar, como o caso do sorgo doce; d) 4ª Geração: utiliza de plantas modificadas como o eucalipto, para captar mais CO₂ da atmosfera, armazenando-o em seus galhos, troncos e gerando uma árvore rica em carbono que passa a ser convertida em biocombustível a partir de técnicas da segunda geração. Antes, durante ou depois do processo de conversão, o dióxido de carbono é retirado e armazenado em campos de óleo, ou de gás, aquíferos salinos onde ficará bloqueado por centenas de anos. Portanto, o combustível gerado será não só renovável, como carbono-negativo. Esta tecnologia, no entanto, pode levar anos até chegar à utilização em massa devido aos custos elevados (PASSOS, 2009).

Os biocombustíveis apresentam inúmeras vantagens, dentre as quais se destaca a baixa emissão de CO₂. Por outro lado, entre as desvantagens dos biocombustíveis está o tipo de matéria-intensificar o desmatamento pela expansão da fronteira agrícola; pressão sobre o preço dos alimentos, que podem ter sua produção diminuída para dar lugar à produção de biomassa; entre outros fatores (ALBUQUERQUE, 2022).

Portanto, a utilização de matérias-primas não alimentares como o aproveitamento dos resíduos (bagaço de cana, palha, matéria orgânica, microalgas) para a produção de biocombustíveis se torna mais viável, por exemplo, para produção de etanol de segunda geração (E2G) utilizando o resíduo (bagaço) resultante do etanol de 1ª geração (E1G) será possível aumentar a produtividade em até 50% (RAÍZEN, 2023), sem que haja necessidade de disputa por área agricultável e não ocorre neste caso disputa em produzir energia ou alimentos, pois para esse caso, o consumo de celulose (usado para produção de E2G) por parte dos humanos não existe.

3.3 BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

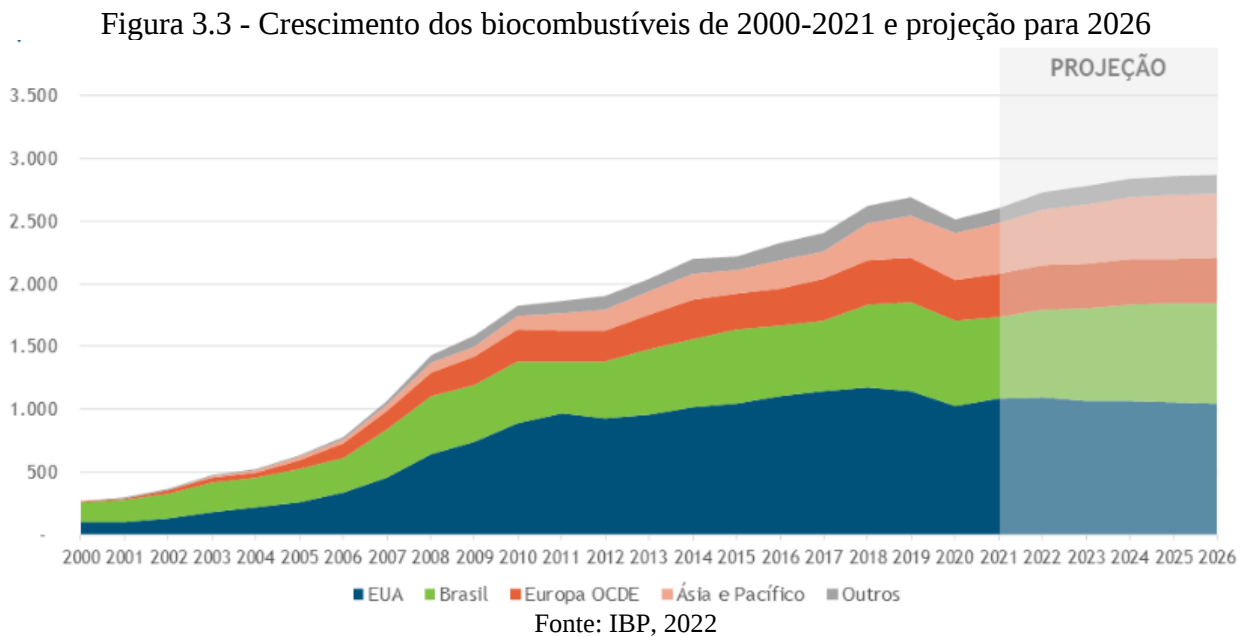
O Brasil é pioneiro mundial na utilização dos biocombustíveis em larga escala como combustível. As políticas energéticas no Brasil começaram a ser implementadas a partir do início da década de 1970, tendo sido primordiais para inserção do álcool e do biodiesel na matriz energética do país (VIDAL, 2021).

O governo brasileiro deu início em 1975 ao Programa Nacional de Álcool, que ficou conhecido como Proálcool. Este projeto tinha como objetivo explorar a utilização do etanol como combustível. Estima-se que após a criação do programa foram produzidos aproximadamente 5,6 milhões de automóveis com motores a álcool. Além dos automóveis a álcool, em menos de um quarto de século o governo aprovou a mistura de etanol na gasolina de 1,1% a 25% em cada litro de combustível. O aspecto positivo dessa mistura foi evitar a emissão de 110 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera e a importação de 550 milhões de barris de petróleo, equivalentes a US\$ 11,5 bilhões. A tentativa brasileira de desenvolver combustíveis renováveis não se restringiu apenas ao Proálcool. Além disso, o governo criou em 1975 o Programa de Produção de Óleos Vegetais para fins Energéticos, que tinha como objetivo concorrer com o mercado produtivo do petróleo, prevendo de início adicionar 30% de óleo no diesel e a longo prazo substituir 100% a utilização das fontes fósseis (ABREU et al., 2006). Porém, com a queda dos preços do barril de petróleo este programa não teve sucesso.

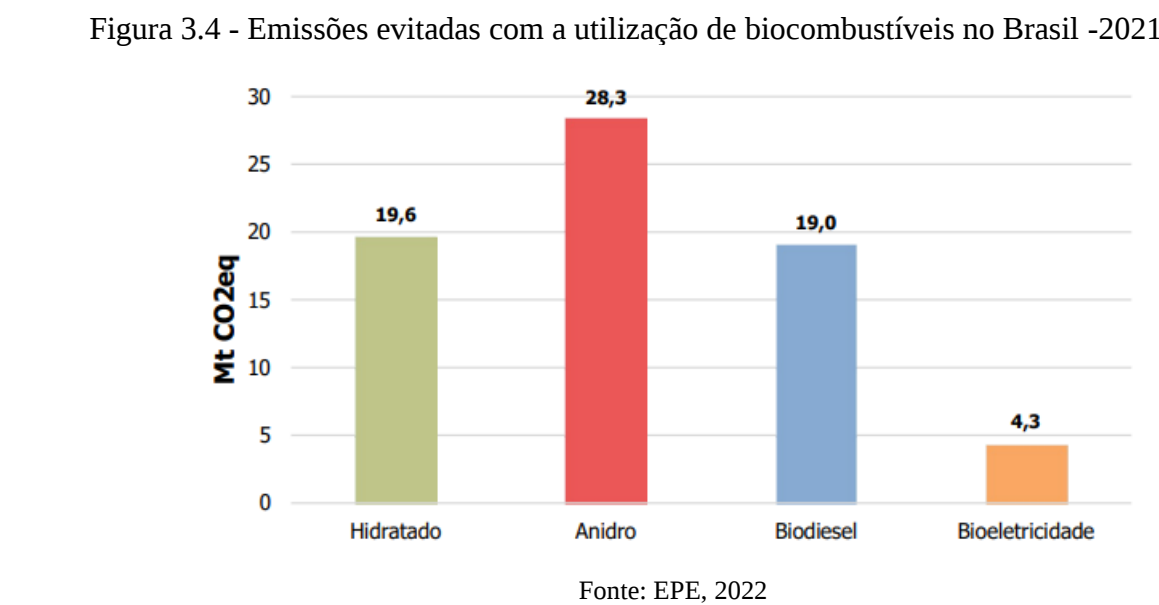
O biodiesel no Brasil teve seus estudos desenvolvidos na década de 1970 tendo como matéria-prima o óleo de dendê. Através deste biocombustível, o país se tornou pioneiro na utilização de óleos como fonte de energia renovável (ABREU et al., 2006). No entanto, o biocombustível só foi inserido na matriz energética brasileira no ano de 2005 através da Lei nº 11.097/2005 que fixou para todo o território nacional o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel vendido ao consumidor final e estabeleceu o modo de utilização e o regime tributário por região de plantio, por oleaginosa e por categoria de produtor (agronegócio e agricultura familiar). A partir de março de 2021, o diesel passou a ter adição de 13% de biodiesel. Entretanto, para tentar conter o preço dos combustíveis no país, o Governo Federal reduziu o percentual da mistura para 10% (VIDAL, 2021). De acordo com a Resolução 16 de 2018, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), a mistura obrigatória deverá chegar a 15% em 2023.

É notável que a procura por alternativas renováveis cresceu em razão do preço recorde do petróleo. Além disso, o Brasil não busca apenas expandir a substituição, por exemplo, da gasolina pelo etanol em escala nacional, mas busca sua efetivação na exportação do etanol (KOHLHEPP, 2010).

A Figura 3.3, denota que o Brasil teve grande crescimento no setor dos biocombustíveis, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, e a projeção mostrada é que o país continue aumentando sua produção de biocombustíveis.

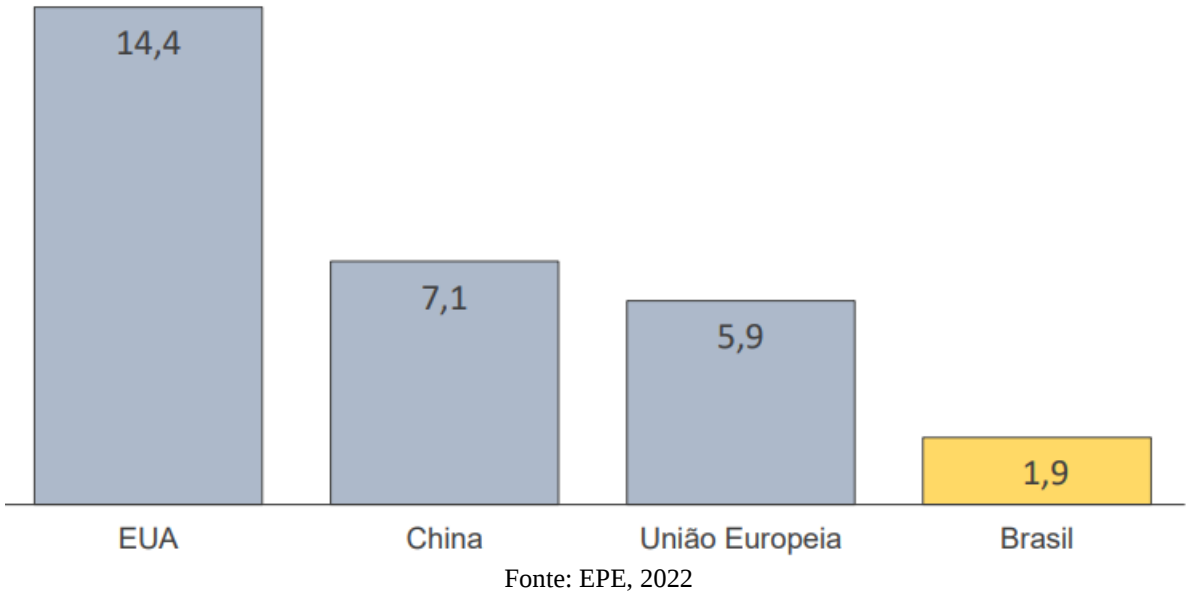


Os renováveis têm grande diferencial na matriz energética brasileira, porque contribuem significativamente na redução de gases do efeito estufa (GEE), a exemplo do dióxido de carbono (CO₂) (EPE, 2022).



Segundo a EPE (2022), o Brasil foi o país a emitir menos dióxido de carbono em 2021. Isso comparado a países desenvolvidos como os Estados Unidos, que se manteve a liderança em emissão de CO₂, conforme ilustrado na Figura 3.5. Enquanto um brasileiro emite 13%, um americano propaga 32%, ambos em toneladas.

Figura 3.5 - Emissões de CO₂ por país

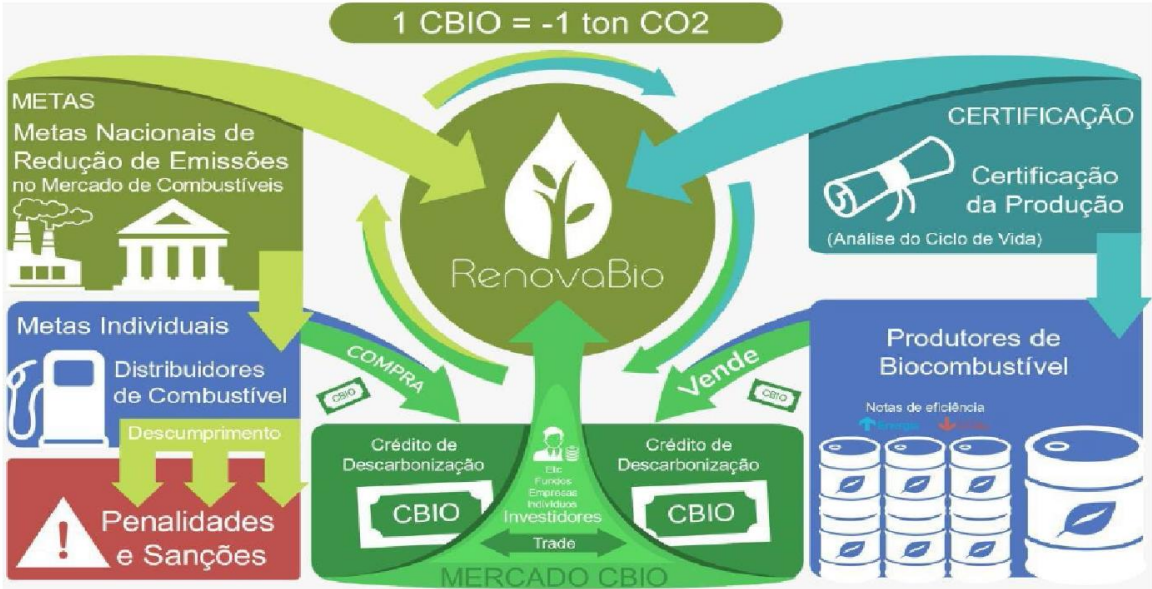


3.4 POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS (RENOVABIO)

O RenovaBio é uma política de Estado instituída pela Lei 13.576/2017, posteriormente regulamentada pelo Decreto 9.888/2019, sendo este o marco legal da Política Nacional de Biocombustíveis. Entretanto, só teve sua operacionalização iniciada em abril de 2020, completando seu primeiro ciclo em 2021.

A política do RenovaBio reconhece o papel estratégico de todos os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene, entre outros) na composição da matriz energética brasileira no que se refere a sua contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões dos gases de efeito estufa no setor de combustíveis, sendo composta por três eixos: metas de descarbonização, certificação da produção de biocombustíveis e a emissão de créditos de descarbonização (CBIOs), visando atingir suas metas sem, no entanto, onerar os cofres públicos por meio de subsídios (Figura 3.6) (SAMPAIO, 2022).

Figura 3.6 - Esquema de funcionamento do RenovaBio



Fonte: Nunes Júnior, (2022)

Os CBIOS são comercializados por produtores na Bolsa de Valores brasileira (B3), podendo ser adquiridos pelos distribuidores de combustíveis fósseis para atingir suas metas, mas também por terceiros interessados. Uma vez adquiridos os CBIOS, a distribuidora de combustível pode retirá-lo de circulação no mercado, sendo apenas esses Créditos de Descarbonização aposentados que são considerados válidos para o cumprimento das metas anuais. Para emitir e comercializar os CBIOS, os produtores e importadores precisam obter o Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis (Resolução ANP nº 758 de 23/11/2018).

O reconhecimento da capacidade dos biocombustíveis de contribuir para que as metas de descarbonização sejam atingidas é um dos principais fundamentos propostos pelo Renovabio para viabilizar a retomada dos investimentos privados no setor de biocombustíveis no Brasil.

3.5 PRODUÇÃO DE BIODIESEL, BIOGÁS E ETANOL NO BRASIL

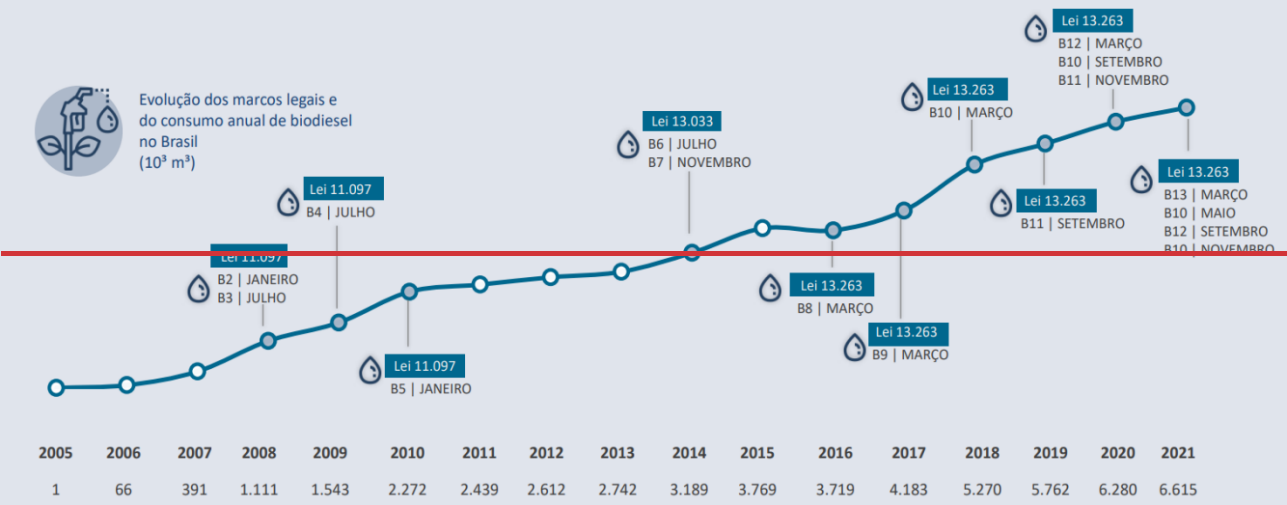
3.5.1 Biodiesel

O biodiesel é um biocombustível produzido a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais. Sua utilização como combustível é uma alternativa aos combustíveis fósseis, que são finitos e causam impactos ambientais negativos. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o biodiesel é considerado um combustível limpo e renovável, pois sua queima emite menos gases de efeito estufa do que os combustíveis fósseis (ABIOVE, 2020).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), o Brasil é um dos maiores produtores de biodiesel do mundo. A produção do biocombustível é regida por legislação própria, a Lei nº 13.033/2014, que estabelece a obrigatoriedade de adição de biodiesel ao diesel fóssil comercializado no país (ABIOVE, 2020).

A evolução do consumo de biodiesel frente aos marcos legais é mostrada na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Consumo anual de biodiesel e seus marcos legais



Fonte: EPE, 2022

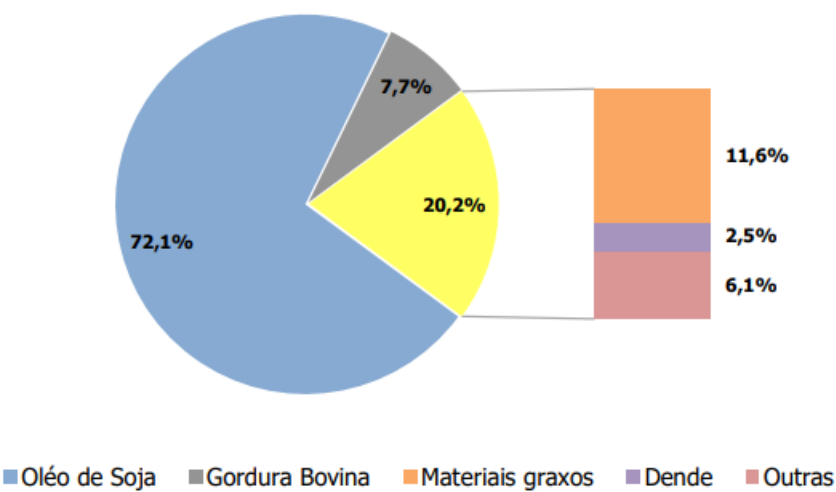
O crescente consumo de biodiesel no Brasil é favorecido pela política de adição deste combustível no diesel fóssil, conforme sinalizado no gráfico. Em relação à produção, o

Brasil está entre os maiores produtores do mundo deste biocombustível. A matéria-prima mais usada para sua fabricação no Brasil é o óleo de soja. (EPE, 2022)

O biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, consiste em mono-álquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, também conhecidos como FAMES. Ao contrário da gasolina, que emite gases poluentes equivalentes ou superiores às emissões de GEE da linha de base, o biodiesel pode reduzir as emissões de GEE em pelo menos 50%. O biodiesel pode ser produzido a partir de triacilglicerídeos (TAGs) provenientes de plantas ou animais (PYDIMALLA et al., 2023).

A escolha da matéria-prima é um dos aspectos essenciais na determinação do método de síntese do biodiesel. As matérias-primas potenciais para a produção de biodiesel se enquadram em quatro categorias: primeira geração (oleaginosas comestíveis: soja, mamona, girassol, palma, coco, canola e óleo de milho), segunda geração (culturas não comestíveis: semente de mamona, nim, seringueira, semente de tabaco, farelo de arroz etc.), terceira geração (à base de algas: cianobactérias e microalgas) e quarta geração (plantas geneticamente modificadas) (GRANJO et al., 2017). A Figura 3.8 traz as principais matérias primas utilizadas na produção do biodiesel.

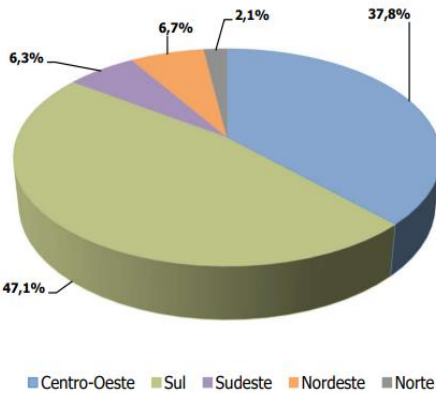
Figura 3.8 - Principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel em 2021



Fonte: EPE, 2022.

No Brasil, a região Sul abrange a maior produção desta fonte de energia visto que o local dispõe da maior quantidade de matéria-prima para sua produção. A Figura 3.9 demonstra a participação em termos de porcentagem por regiões de produção deste combustível.

Figura 3.9 - Produção de biodiesel por regiões em 2021



Fonte: EPE, 2022.

Desde o início do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2005, já foram produzidos, até dezembro de 2021, mais de 53,8 bilhões de litros deste biocombustível (EPE,2022).

O PNPB tem suas diretrizes pautadas na implantação de um programa sustentável que promova a inclusão produtiva da agricultura familiar, garantindo preços mínimos, qualidade e suprimentos, bem como produzir biodiesel de diversas maneiras, garantindo desta forma a potencialização das diferentes regiões.

3.5.2 Etanol

O etanol ou álcool etílico, de fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, pode ser obtido a partir do processamento e fermentação de cana-de-açúcar, milho, beterraba, batata, entre outros. Na indústria sucroalcooleira brasileira, a cana é a matéria-prima mais utilizada e pode ter dois destinos: produção de açúcar ou produção de etanol (ANP, 2016).

A utilização do etanol como combustível teve início no século XX. Porém, foi em 1970, que o Brasil iniciou de maneira efetiva o uso de biocombustível. Na ocasião, dois fatores foram preponderantes para que o desenvolvimento da indústria ocorresse. Países que dependiam muito das importações de petróleo, como o Brasil e os EUA, registraram, com a elevação dos preços do petróleo, o aumento nos preços dos combustíveis, a queda na competitividade industrial, o aumento acentuado da inflação e a deterioração da balança comercial. Essas consequências negativas sinalizaram a esses países os graves problemas que uma elevada dependência energética de petróleo e seus derivados pode acarretar. No entanto, Brasil e EUA passaram, a partir da década de 70, a incentivar a produção de etanol como substituto à gasolina de forma a reduzir sua dependência energética. Assim, o segundo fator de estímulo ao desenvolvimento da indústria do etanol é o forte apoio governamental (SOARES, 2016).

Os maiores produtores de etanol atualmente são os Estados Unidos da América e o Brasil, que produzem, respectivamente 54,4% e 29,6%. A obtenção desse combustível nos EUA se dá através do milho, e no Brasil a partir da cana-de-açúcar. E juntos, representam 84% da produção mundial (VIDAL, 2021).

O Quadro 3.1 resume e compara algumas características encontradas tanto na indústria do etanol nos EUA quanto no Brasil. Nos dois países, a indústria se desenvolveu graças ao amplo apoio governamental com o fim de combater o problema da dependência energética. Contudo, no caso do Brasil, o apoio governamental foi mais direto, com controle de preços da gasolina, do etanol e do açúcar. Também foi mais amplo devido ao grande esforço em estimular a demanda de etanol com a introdução dos carros movidos 100% a etanol e com a aplicação de elevadas porcentagens de mistura de etanol anidro à gasolina. Nos EUA, o principal incentivo do governo se deu através de isenções fiscais e facilidade de financiamento. O estímulo à demanda por etanol só passou a ser mais forte após o ano de 2005, com as metas do RFS (Renewable Fuel Standard) (SOARES, 2016).

Quadro 3.1 - Comparação entre a indústria do etanol nos EUA e no Brasil

Aspectos	Características	EUA	Brasil
Matérias-primas	Principal matéria-prima	Milho	Cana-de-açúcar
	Área plantada (2015)	36 milhões de hectares	10,8 milhões de hectares
	Estrutura de logística com matéria-prima	Bem estruturada e homogênea	Em adaptação
	Perspectiva de ganhos de produtividade na matéria-prima	Baixa	Alta
Tecnologias	Tecnologia	Sacarificação do amido seguida de fermentação	Moagem da cana seguida de fermentação
	Enzimas	Utiliza	Não utiliza
	Perspectivas de ganho de produtividade na fase industrial	Baixa	Baixa
	Principais subprodutos	DGS, óleo de milho, xarope de milho	Bagaço, vinhaça
Estrutura industrial	Perfil das usinas	Muito heterogêneo	Muito heterogêneo
	Perfil das empresas	Homogêneo	Heterogêneo
	Concentração industrial	Desconcentrada	Desconcentrada
	Principal barreira à entrada	Acesso à matéria-prima	Acesso à matéria-prima
	Integração vertical	Integrada	Integrada
	Mercados para o etanol	Principalmente interno	Principalmente interno

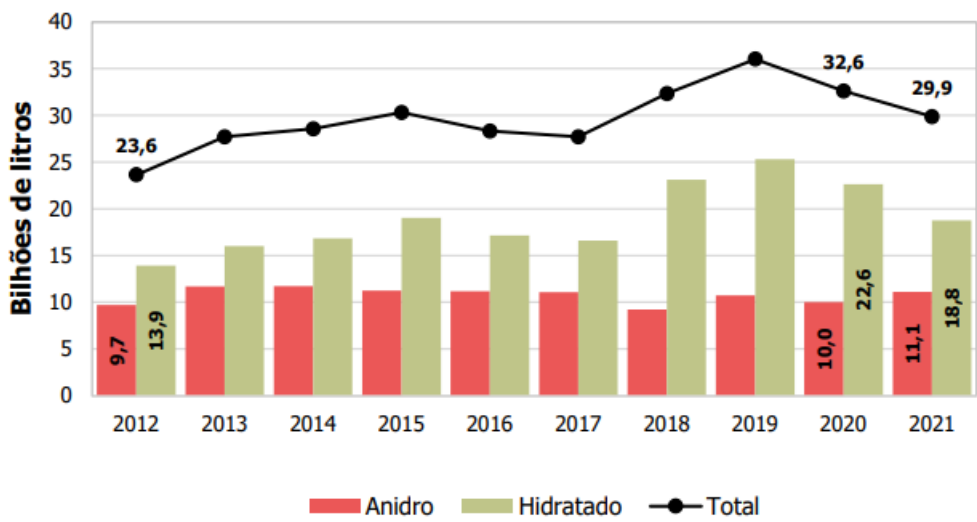
Fonte: SOARES (2016)

No que tange as características da indústria, é interessante notar que as principais diferenças estão no tipo de matéria-prima predominante utilizada na indústria. A principal diferença que merece ser destacada é que a produção do E1G no Brasil, feita à base de cana-de-açúcar, é muito mais eficiente que a produção nos EUA, feita à base de milho, mesmo considerando que uma tonelada de milho produza muito mais litros de E1G do que uma tonelada de cana. Essa maior eficiência deve-se a três fatores. Primeiro, a produção com o uso de cana é mais simples, uma vez que não requer a utilização de enzimas. Segundo a cana gera muito mais toneladas por hectare. Terceiro, após a moagem da cana, há a geração do bagaço de cana, que, quando queimado, gera o calor e a energia elétrica necessários para a produção do E1G. No caso da energia elétrica, em geral, as usinas ainda comercializam o excedente para a rede (SOARES, 2016).

Atualmente, o Brasil produz etanol de 1ª e 2ª geração. Estando entre os maiores produtores do mundo. Com isso, o país tem desempenhado papel importante na economia brasileira, pois é utilizado como combustível nos veículos flexfuel (hidratado), misturado com a gasolina, com vista a baratear o combustível, aumentar sua octanagem e reduzir a emissão de poluentes (anidro), o etanol anidro apresenta um teor alcoólico mínimo de 99,3°INPM, grau que se refere a fração ou ao percentual em massa de álcool no total da mistura. Hoje, são misturados cerca de 27% de etanol anidro à gasolina de acordo com a lei 13.033/2014, além da utilização na fabricação de tintas, vernizes, solventes e outros (CONAB, 2017).

Segundo a EPE, em 2021 a produção de etanol foi inferior a 2020 chegando a produzir apenas 29,9 bilhões de litros de etanol, sendo que 18,8 bilhões foram de hidratado (decrécimo de 17%) e 11,1 bilhões de anidro (acrécimo de 11,2%). Conforme ilustrado na Figura 3.10, o volume total de etanol produzido no ano de 2021 foi inferior aos dois anos anteriores. Esta queda se deveu aos fatores ambientais, ou seja, as mudanças climáticas, e aos preços do açúcar no mercado internacional (EPE, 2022).

Figura 3.10 - Produção brasileira de etanol (cana e milho) em 2021



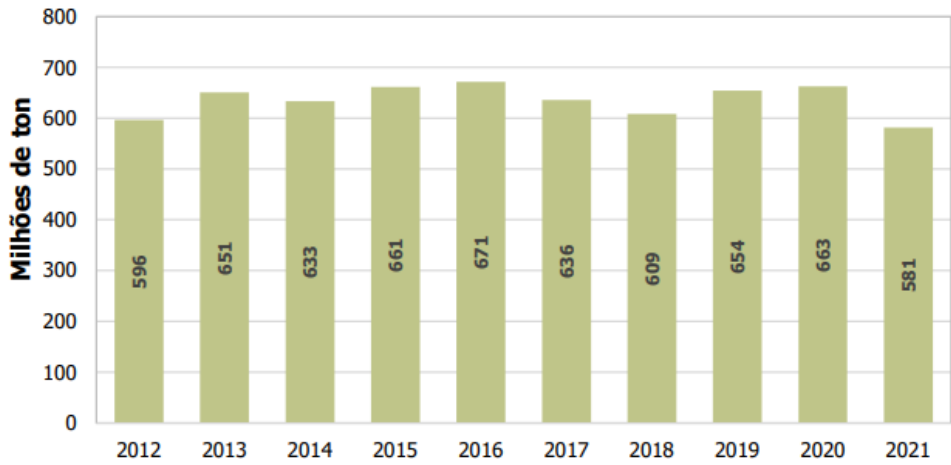
Fonte: EPE, (2022)

3.5.2.1 Matérias-primas para produção de etanol

Para se produzir etanol de forma renovável, é possível utilizar qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, porém para se produzir etanol viavelmente, essa matéria-prima precisa ter alguns requisitos, sendo eles: ser produzido em grandes volumes, ter um ótimo rendimento industrial e custo de produção aceitável. As duas matérias-primas mais utilizadas para produção de etanol no Brasil é a cana-de-açúcar e o milho. A cana-de-açúcar tem uma área de plantação maior que a do milho, produzindo em torno de sete mil litros de etanol por hectare, e o milho produzindo quatro mil litros por hectare. Tornando o etanol a partir da cana-de-açúcar mais vantajoso e competitivo. Porém a cana-de-açúcar só é processada em períodos de safras, pois não pode ser estocada, e processada ao longo dos meses; e o milho tem essa facilidade, pois pode ser estocado e processado ao longo dos meses, no período de entressafra (LIMA *et al.*, 2001; BASTOS, 2007). Logo, “as usinas brasileiras, a fim de reduzir custos operacionais, estão se adaptando para utilização de outras matérias primas para operar no período entressafra, permitindo que as usinas operem o ano todo” (CAMPOREZI e DIAS, 2021, p.15). É neste cenário que o milho conquista sua posição na produção de etanol.

Em 2021, apenas 581 milhões de toneladas de cana foram processadas, o que representa a o menor valor nos últimos dez anos. As principais causas para esta queda são com relação às mudanças climáticas como as estiagens e geadas (EPE, 2022).

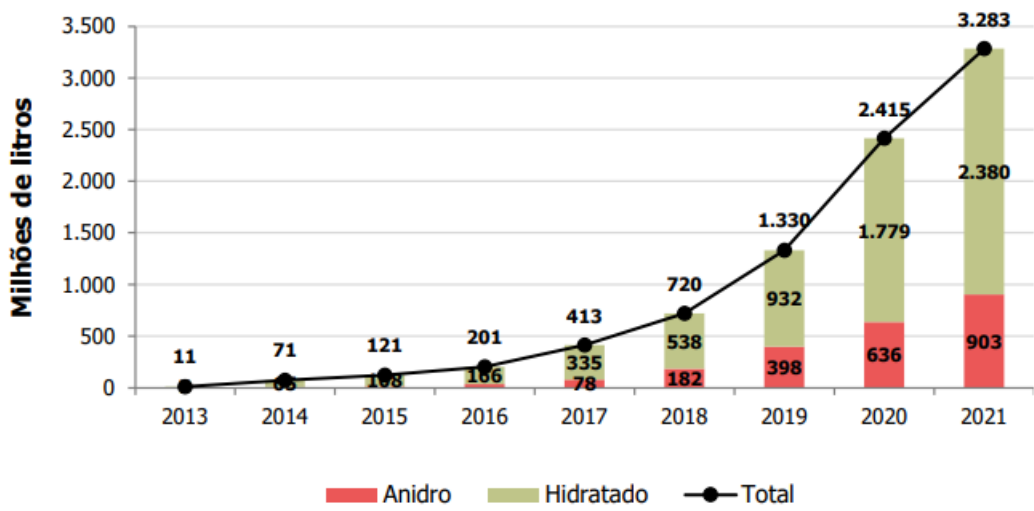
Figura 3.11 - Processamento de cana por ano



Fonte: EPE, (2022).

Todavia, o Brasil vem demonstrando sua capacidade de produzir etanol à base de milho, conquistando o segundo lugar no ranking mundial, estando atrás apenas dos Estados Unidos. De acordo com a EPE, em 2021 o país produziu cerca de 3,3 bilhões de litros que representou um volume maior que o produzido em 2020. De acordo com MANOCHIO (2014), uma tonelada de milho é suficiente para produzir cerca de 460 litros de etanol anidro.

Figura 3.12 - Produção brasileira de etanol de milho em 2021



Fonte: EPE, (2022)

Segundo a UNEM (2022), o Brasil possui 18 indústrias em operação, sendo oito unidades full, ou seja, exclusiva para produção de etanol de milho e dez flex, que podem processar biocombustível a partir da cana-de-açúcar e de milho. É esperado que a produção alcance 10 bilhões de litros entre 2030/2031, alcançando 22% do mercado de etanol brasileiro (UNEM, 2022).

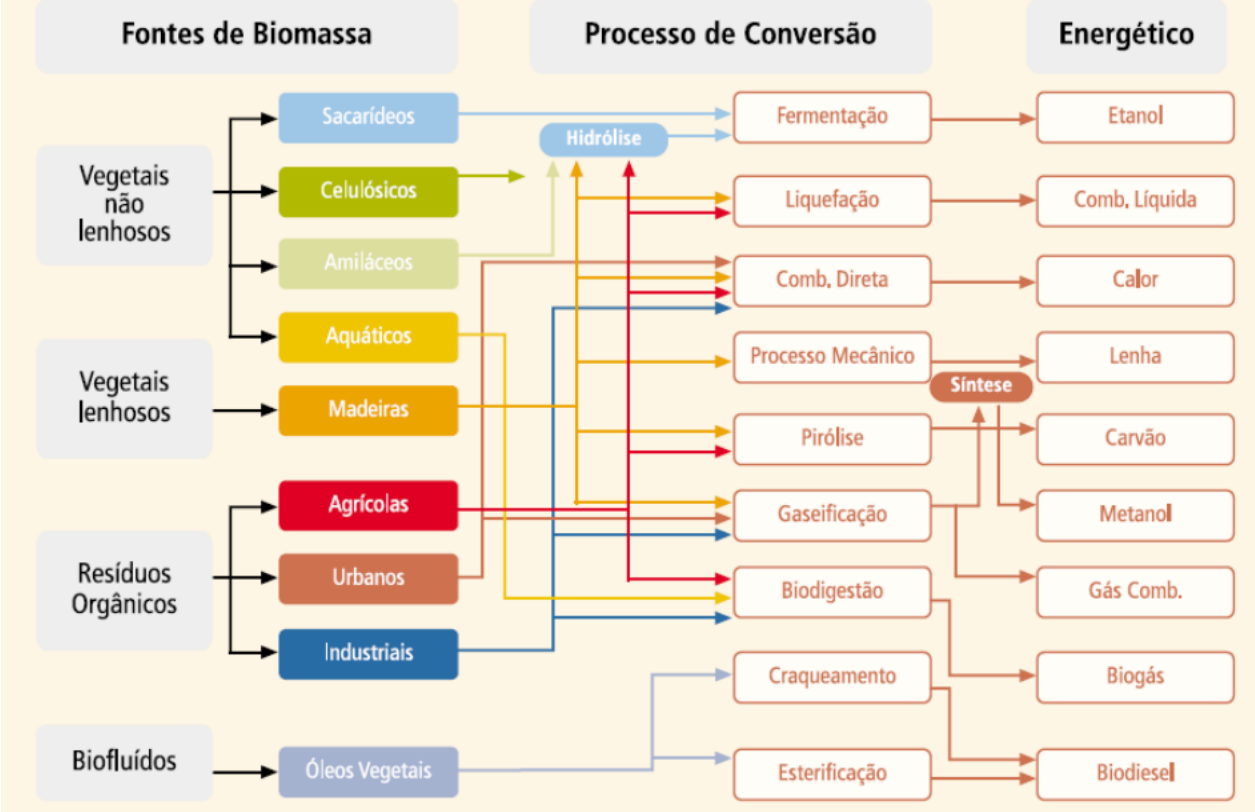
A FS Bioenergia é a usina pioneira com exclusividade para produção de etanol de milho (modelo full), ela está localizada no Estado do Mato Grosso e constitui uma capacidade de 530 milhões de litros de etanol (CANAL ENERGIA, 2019).

A biomassa se tornou nas últimas décadas uma aliada na substituição de matérias-primas não renováveis para produção de etanol. A biomassa é todo resíduo renovável oriundo de materiais de origem animal ou vegetal e que pode produzir energia. Dentre os resíduos destaca-se o bagaço proveniente do processamento da cana-de-açúcar, e que tem sido utilizado para produzir etanol de 2ª geração em larga escala.

O E2G utiliza biomassa vegetal lignocelulósica, reaproveitando resíduos vegetais, como palha, folhas, bagaço, cavaco, entre outros. Na Raízen, essa biomassa é obtida a partir do que sobra do processo produtivo do E1G e do açúcar (RAIZEN,2023).

Sendo assim, a obtenção do etanol de 1ª geração se dá através de fontes de biomassa de sacarídeos já o de 2ª geração por aquelas compostas por amido e celulose. A Figura 3.13 demonstra como se obtém o etanol e outros biocombustíveis a partir de diferentes tipos de biomassa.

Figura 3.13 - Tipos de fontes de biomassa na produção de etanol



Fonte: Paula, (2013)

3.5.2.1.1 Etanol De Primeira Geração (E1G)

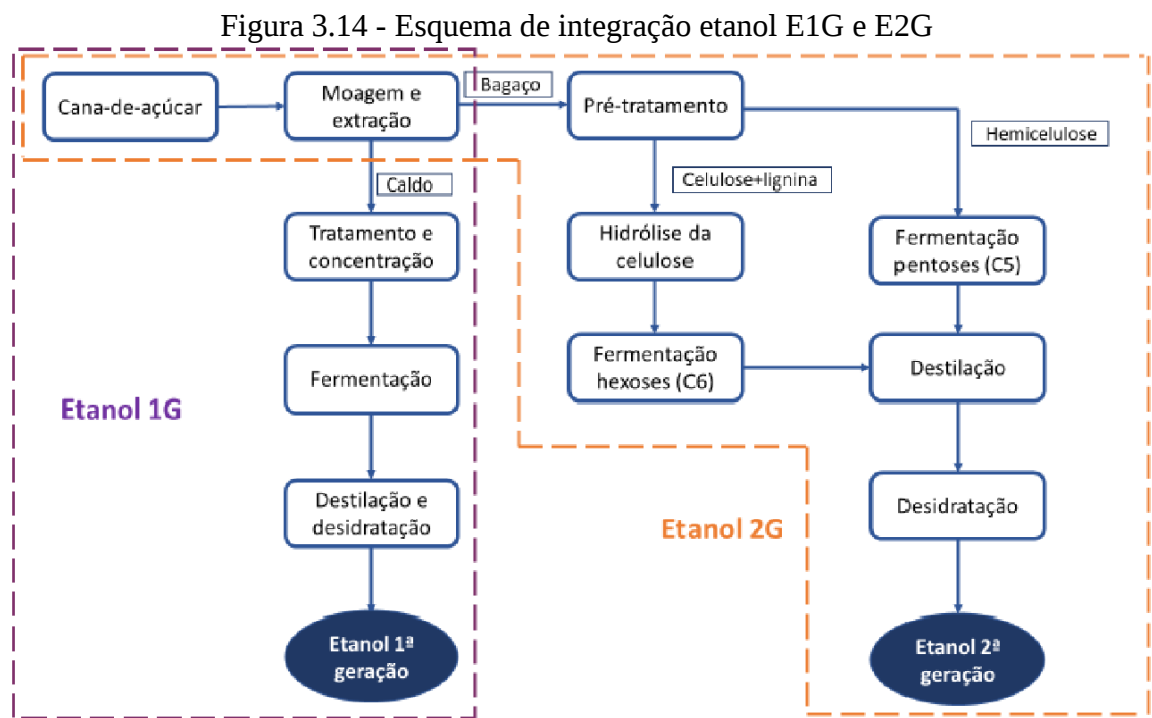
O etanol de primeira geração pode ser derivado dos sacarídeos ou de outros açúcares por meio de um processo de fermentação. Uma das principais fontes de obtenção do açúcar proveniente de plantas utilizadas é a cana-de-açúcar, predominantemente produzida no Brasil. Esta cultura requer baixos recursos hídricos e terrestres por unidade de produção de energia biocombustível, além de emitir baixas quantidades de gases do efeito estufa. Uma das características mais favoráveis à utilização dessas culturas como matéria-prima para a produção do etanol consiste no alto rendimento e em baixos custos de conversão, sendo os principais limitantes desse padrão de produção a sazonalidade do cultivo e seu conflito com a produção de finalidade alimentar (JIAO, J. *et al.*, 2018; ADITIYA *et al.*, 2016).

A cana-de-açúcar pode ser usada tanto para a produção de açúcar como de etanol. Na produção de etanol, a cana-de-açúcar pode ser processada de três maneiras diferentes, sendo elas: fermentação, hidratação etileno e redução acetaldeído (WETTERLUND *et al.*, 2013; ROCHA-MENESES *et al.*, 2017; LORENZI E ANDRADE, 2019).

O etanol obtido a partir da cana-de-açúcar (E1G), tem várias vantagens, dentre elas: o seu processo produtivo possibilita a redução de gases em quase 90%, sendo esses gases os principais causadores do efeito estufa; tem redução de impactos ambientais, proveniente do seu processo de plantação, ter menos impacto nos recursos hídricos e no solo, em comparação a outras culturas utilizadas na produção de etanol e competindo diretamente com os combustíveis derivados do petróleo (BNDES, 2008).

No entanto, o etanol de 1ª geração apresenta desvantagens no setor da segurança alimentar, uma vez que as terras utilizadas para este fim poderiam ser usadas para plantação de outros alimentos para consumo humano.

A produção de etanol de 1ª geração (E1G) é obtida a partir da fermentação do suco extraído (caldo) da cana-de-açúcar, como mostra a Figura 3.14. Nesse processo, muitos resíduos são perdidos, gerando desperdícios que poderão poluir o ambiente natural (WETTERLUND *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018; LORENZI E ANDRADE, 2019). A fim de minimizar esses danos, diversas pesquisas desenvolveram uma nova técnica, a produção de etanol de 2ª geração (E2G). Segundo PACHECO (2011), o aproveitamento dos resíduos (bagaço, palha e ponteira de cana) gerados do etanol de 1ª geração poderá elevar a produção de etanol de 30 % a 40% para uma mesma área plantada. Sendo assim, esta nova geração torna-se eficaz.



Fonte: Melo, (2020)

3.5.2.1.2 Etanol De Segunda Geração (E2G)

A produção de etanol segunda geração consiste na produção de etanol celulósico a partir da quebra dos polissacarídeos presentes na parede celular vegetal dos resíduos lignocelulósicos, a partir de etapas de pré-tratamento e hidrólise da celulose anteriores à fermentação. Os principais resíduos utilizados nessa operação são os celulósicos proveniente de culturas não alimentares ou resíduos agrícolas, com destaque para o bagaço de cana-de-açúcar e o resíduo de processamento do milho, que somados, geram cerca de 128 a 180 milhões de toneladas por ano, possibilitando elevar o volume de etanol produzido sem recorrer à utilização de mais áreas agrícolas (PITARELO *et al.*, 2012; MÜLLER *et al.*, 2019).

O etanol proveniente de materiais lignocelulósicos (E2G) é mais sustentável, pois tem um aproveitamento melhor dos resíduos, além de não precisar mais aumentar as áreas de plantação. (BRASSOLATTI, 2016) e participar ativamente da economia circular por simplesmente utilizar de resíduos para sua produção.

Essa nova tecnologia é uma alternativa para o uso dos resíduos deixados na produção do etanol de primeira geração ou qualquer resíduo de origem vegetal e usa como base o etanol produzido a partir de lignocelulose, se tornando uma fonte de biocombustível, que além utilizar os resíduos, também incrementa a renda econômica dos países. Existem, no entanto, dificuldades para

a produção do bioetanol de segunda geração em larga escala, uma vez que o processo exige uma tecnologia mais cara e mais avançada, além dos custos elevados para conversão do etanol.

Até 2021, o Brasil possuía duas plantas de E2G ativas, sendo uma no estado de Alagoas e outra em São Paulo. A Figura 3.15 traz também informações da capacidade instalada destas plantas.

Figura 3.15 - Quantidade de plantas exclusivas para produção de E2G no mundo até 2021

País	Produtor	Localização	Capacidade (MM litros)	Status
	Clariant	Podari, Romênia	60,52	Em Construção
	Enerkem	Edmonton, Canadá	37,85	Prontidão Operacional
	Granbio	São Miguel dos Campos, AL	50,00	Prontidão Operacional
	Poet- DSM	Emmetsbug, Iowa	75,70	Hibernada
	Quad County	Galva, Iowa	15,14	Prontidão Operacional
	Raízen	Piracicaba, São Paulo	40,00	Prontidão Operacional
	Versalis	Crescentino, Itália	56,78	Prontidão Operacional
	Dupont	Nevada, Iowa	113,55	Descomissionada
	Abengoa	Hugoton, Kansas	94,50	Descomissionada

Fonte: BRASIL, (2022)

Os investimentos em plantas apenas de E2G seguem crescendo. Segundo a Raízen, umas das maiores produtoras de açúcar, etanol e energia do Brasil afirmou em seu site, a construção de mais 8 plantas e prevê mais 20 em 10 anos. Nos anos seguintes a empresa prevê uma produção de 2 bilhões de litros de etanol de segunda geração. “Em 2023, a Raízen é pioneira e única empresa do mundo a comercializar o E2G em escala global” (RAÍZEN, 2023)

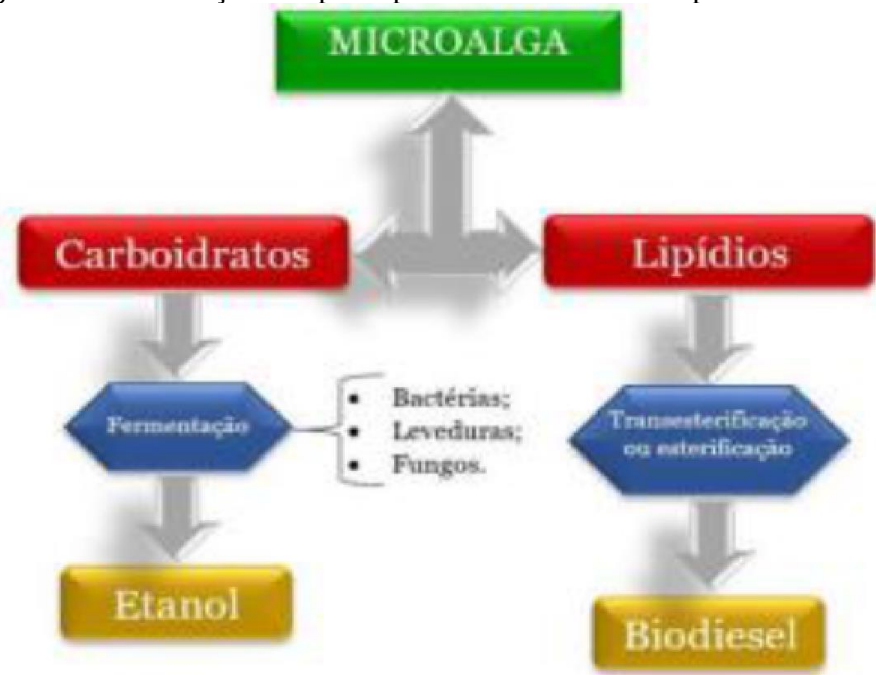
3.5.2.1.3 Etanol De Terceira Geração (E3G)

A produção de etanol a partir de microalgas tem ganhado bastante importância, no cenário mundial. As algas têm capacidade de produzir etanol, biodiesel, biogás e outros subprodutos, dependendo do processo e espécie utilizados. Os combustíveis de terceira geração, tem um fator muito importante, pois tem um elevado teor de hidrogênio, devido as proteínas e clorofilas das algas (LEARY, 2009; COSTA, 2011; MIAO, 2011

O etanol proveniente da fermentação dos açúcares das microalgas é comumente chamado de etanol de 3ª geração, por levar em conta o aproveitamento de resíduos e processos das gerações anteriores, dando origem a um biocombustível mais limpo. Quando comparado com demais fontes para a produção de biocombustíveis, os de 3ª geração têm um maior poder calorífico, baixa densidade e viscosidade. Espécies com alto teor de amido como Chlorella, Chlamydomonas, Dunaliella, Scenedesmus e Tetraselmis são as mais estudadas para produzir etanol devido a seus teores elevados de carboidratos (SILVA; SILVA, 2019).

A Figura 3.16, mostra a rota de produção do etanol e biodiesel, produzidos a partir de microalgas.

Figura 3.16 - Produção dos principais biocombustíveis a partir das microalgas



Fonte: Kose, (2016)

Tanto os produtos quanto os efluentes da cadeia de produção de etanol de primeira ou segunda geração são fontes potenciais de nutrientes para as microalgas. A produção de biocombustíveis de 3ª geração em larga escala, atualmente é pouco viável devido aos altos custos de investimento, contudo a integração com outros processos pode tanto viabilizar a produção de microalgas em maiores escalas, quanto melhorar parâmetros do próprio processo. A integração da indústria sucroenergética à produção de microalgas pode ser o incentivo inicial para abrirmos uma porta tecnológica de grande potencial (JESUS *et al.*, 2021).

3.5.3 Biogás

O biogás é produzido a partir da decomposição de matéria orgânica que passa por um processo chamado digestão anaeróbica, ou seja, por bactérias que se desenvolvem na ausência de oxigênio. É considerado um dos biocombustíveis mais promissores com potencial para mitigar, em certa medida, preocupações crescentes com combustíveis fósseis, referente à crise energética e às mudanças climáticas, e é uma mistura basicamente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), que ao ser purificada, pode ser usada para geração de calor ou eletricidade (RAMOS, 2017; AYALA-PARRA *et al.*, 2017).

O processo pode ser natural ou em biodigestores construídos para esse fim. No digestor anaeróbio, tem-se o processo que ocorre através de uma série de reações, sendo elas, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. As etapas ocorrem em sequência e na metanogênese, onde nela é formada a parte principal: o metano (CASTRO; MATEUS, 2016).

Sua produção tem sido cada dia mais significativa no cenário energético nacional. A capacidade instalada em geração distribuída continuou seu movimento ascendente de 2019 para 2020, quando alcançou 42 MW, tendo como principais insumos os resíduos agroindustriais, animais e urbanos (ANEEL, 2020).

As principais fontes de produção de biogás em escala comercial no Brasil são: a parcela orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU); rejeitos da produção de açúcar e etanol de cana, como vinhaça e torta de filtro e dejetos da pecuária suína. Em menor escala, também são utilizados:

resíduos da produção de alimentos em geral (amido de mandioca e suco de laranja, como exemplos mais comuns); descarte de restaurantes; dejetos da pecuária bovina e avícola e efluentes sanitários (MILANEZ *et al.*, 2018).

O Brasil possui elevado potencial de produção de biogás, considerando os setores sucroenergético, saneamento, proteína animal e produção agrícola. Segundo a Associação Brasileira de biogás entre 2019 e 2020 a produção de biogás no Brasil apresentou um crescimento de 23%, o número de plantas em operação também cresceu em 22%. Entretanto, apenas 2% do potencial brasileiro está sendo aproveitado. Existem 638 plantas de biogás com fins energéticos em produção no Brasil, dentre as quais 14 no Nordeste, responsáveis por 9,5% da produção nacional em 2020 (Figura 3.17) (CIBIOGÁS, 2020).

Figura 3.17 - Plantas e produção de biogás com fins energéticos no Brasil em 2020

Região/Estados	Nº plantas	Volume (milhões Nm³/ano)	Part. (%)
Nordeste	14	173	9,5
Pernambuco	5	103	5,6
Bahia	4	8	0,4
Ceará	2	32	1,7
Maranhão	2	4	0,2
Paraíba	1	26	1,4
Brasil	638	1.829,2	100,0

Fonte: Cibiogás (2021)

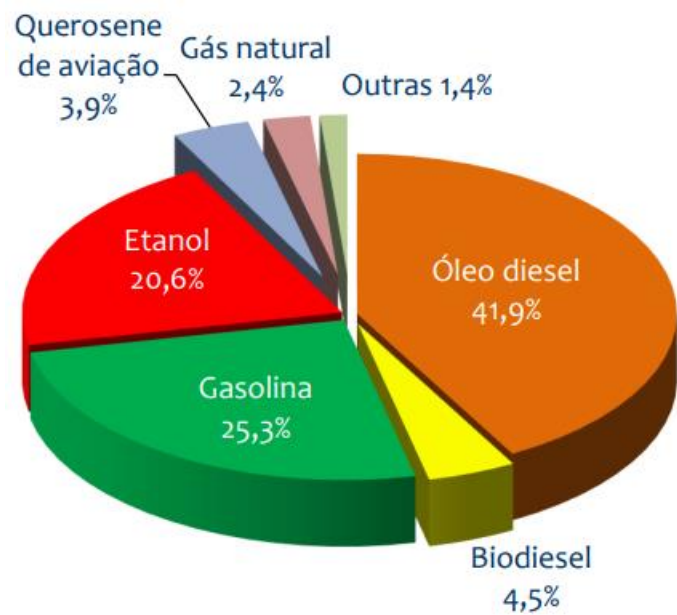
3.6 Bioquerosene de aviação

Por definição da Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011, Art. Nº 6, XXXI, o bioquerosene de aviação é uma “substância derivada de biomassa renovável que pode ser usada em turborreatores e turbopropulsores aeronáuticos ou, conforme regulamento, em outro tipo de aplicação que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil” (BRASIL, 2011).

Segundo a EPE (2019), as condições climáticas e ambientais do Brasil favorecem o desenvolvimento do bioquerosene, pois, os resíduos da cana de açúcar e madeira, da indústria siderúrgica, do processamento de proteínas animais e óleo de cozinha usado geram grandes volumes no país e podem estes ser usados para este fim, favorecendo o uso do bioquerosene de aviação como substituto do querosene comum.

Dados da EPE (2020) mostraram que a utilização do querosene de aviação consumiu 3,9% de energia em 2019. A empresa (EPE) afirma que em 2021 o setor de transporte incluindo a aviação, consumiu 32,5% de energia, ficando em primeiro lugar no ranking de consumo nacional. A Figura 3.18 mostra a participação em termos de percentagem das fontes de energia utilizadas nos transportes em 2019, incluindo o percentual de querosene de aviação citado acima.

Figura 3.18 - Participação das fontes de energia nos transportes em 2019



Fonte: EPE (2020)

Ademais, em novembro de 2021 foi publicado a Lei Nº 14.248, de 25 de novembro de 2021 que institui o Programa Nacional de Bioquerosene. O projeto tem como premissa incentivar a pesquisa com estimular a produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.

O setor de aviação firmou compromisso com a IATA, em reduzir até 2050 50% da pegada de carbono. Este percentual é com relação ao que foi emitido pelos motores de aviões em 2005 (ZAMPAR, 2019). Diante disso, para cooperar com a meta, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natura e Biocombustível (ANP), através da resolução nº 63 adotada em 2013, afirma que os biocombustíveis podem ser misturados ao querosene de aviação em até 50% em volume.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou que o Brasil vem crescendo sua produção de biocombustíveis, principalmente originados de matéria-prima antiga, como a cana-de-açúcar. No entanto, os combustíveis advindos do milho e dos resíduos agroindustriais também vêm crescendo sua participação, devido à preocupação com o meio ambiente e o aquecimento global causados pelos gases poluentes, emitidos pelas fontes fósseis. O etanol de segunda geração já tem sua produção em larga escala, pois o Brasil já conta com duas plantas para produção exclusiva deste biocombustível. O etanol de milho e o biodiesel teve crescimento elevado durante os últimos 10 anos.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), o Brasil produziu cerca de 29,9 bilhões de litros de etanol em 2021, resultando em uma produção inferior ao ano anterior. Entretanto, o crescimento de etanol a base de milho teve um avanço crescente ao longo dos anos. Em 2021, a produção de etanol de milho chegou a 3,3 bilhões de litros.

Ademais, os incentivos governamentais como a Política Nacional de Biocombustíveis (RENOVABIO), e as legislações que obrigam a adição de biodiesel ao diesel, tem influenciado positivamente no aumento da produção deste combustível. Segundo a empresa citada no início do parágrafo, até dezembro de 2021, já foram produzidos quase 54 bilhões de litros de biodiesel.

Adiante, o biogás é um biocombustível bastante promissor para o país, tendo em vista as quantidades exorbitantes de resíduos agroindustriais e urbanos produzidos no Brasil. Entre 2019 e 2020, a produção nacional deste combustível apresentou um acréscimo de 23%. O país já conta com 638 plantas com fins energéticos. A capacidade instalada em geração distribuída alcançou em 2020 42 MW (ANEEL, 2020).

A poluição gerada pelo querosene comum no setor de aviação tem colocado o Brasil em Alerta, na busca de alternativas sustentáveis. De acordo com ZAMPAR (2019), o setor de aviação firmou compromisso com a IATA, para reduzir em 50% a pegada de carbono até 2050. O Brasil, através da Agência Nacional de Petróleo, gás Natural e Biocombustível, resolve cooperar para as metas de descarbonização neste setor, permitindo a adição de até 50% de combustível alternativo ao querosene comum.

REFERÊNCIAS

- ABIOVE. Biodiesel. 2021. Disponível em: <<https://www.abiove.org.br/biodiesel/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.
- ABREU, F.R; RAMOS, SY; VIERA, J.N.S. Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel Diretrizes, desafios e perspectivas. **Revista de política agrícola**. Ano XV – Nº 3 – jul./ago./set. 2006. Disponível em:
- ADITIYA, H. B. *et al.* Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 631–653, 2016.
- ALBUQUERQUE, D.D. S. Estudo da obtenção inédita de etanol anidro da algaroba para inovadora aplicação na produção de biodiesel. XX. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, 2022.
- ANEEL. (2020). Geração Distribuída. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=2>. Acesso em: 29 agosto de 2023.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Biocombustíveis. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/biocombustiveis>>. Acesso em: 29 agosto de 2023.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. RenovaBio. 2021. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>>. Acesso em: 29 ago. de 2023.
- AYALA-PARRA, P. *et al.* Nutrient recovery and biogás generation from the anaerobic digestion of waste biomass from algal biofuel production. **Renew Energy**, 2017.
- BASTOS, V. D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2007. 33 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2527>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- BNDES; CGEE; FAO; CEPAL. Bioetanol de cana-de-açúcar Energia para o desenvolvimento Sustentável. 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/eudes/Downloads/Bioetanol%20da%20cana-de-acucar_P.pdf>. Acesso em: 29 ago. de 2023.
- BONASSA, G. *et al.* Bioquerosene: Panorama da produção e utilização no Brasil. **Revista brasileira de energias renováveis**. v. 3, n. 1, p. 97-106, 2014.
- BRASIL, Brasil avança no setor de biocombustíveis. **Serviços e Informações do Brasil**, 12 de Jul. 2021. DISPONÍVEL EM: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/07/brasil-avanca-no-setor-de-biocombustiveis/>>. Acesso em: 29 agosto de 2023.
- BRASIL, Lei Nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis; o § 1º do art. 9º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores; as Leis nºs 10.336, de 19 de dezembro de 2001, e 12.249, de 11 de junho de 2010; o Decreto-Lei nº 509, de 20 de março de 1969, que dispõe sobre a transformação do Departamento dos Correios e Telégrafos em empresa pública; a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios; revoga a Lei nº 7.029, de 13 de setembro de 1982; e dá outras providências. Brasília, 2011. Legislação Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/_Ato20112014/2011/Lei/L12490.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.490%2C%20DE%2016%20DE%20SETEMBRO%20DE%202011>

.&text=Alterar%20as%20Leis%20n%C2%BA%209.478,o%20%C2%A7%201%C2%BA%20do%20art.>. Acesso em: 30 de setembro de 2023.

BRASIL, Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm>. Acesso em: 30 de setembro de 2023.

BRASIL, Lei Nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm>. Acesso em: 29 ago. de 2023.

BRASIL, Lei Nº 14.248, de 25 de novembro de 2021. Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14248.htm>. Acesso em: 01 out. de 2023.

BRASSOLATTI, T. F. Z. *et al.* Etanol de Primeira e Segunda Geração. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, Boituva, v. 12, n. 12, 2016. Disponível em: <<http://rinte.ifsp.edu.br/>>. Acesso em: 29 ago. de 2023.

CAMPOREZI, J.D; DIAS, S.R. Produção de Etanol de Milho Via Sacarificação E Fermentação Simultânea. Trabalho de Conclusão de Curso. Venda Nova do Imigrante – ES, 2021.

CANAL ENERGIA. **FS Bioenergia vai construir mais três Usinas de Etanol de Milho no Mato Grosso. 2019.** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53095121/fs-bioenergia-vai-construir-mais-tres-usinas-de-etanol-de-milho-no-mato-grosso>>. Acesso em: 29 ago. de 2023.

CARVALHO, A.P.C; FERREIRA, R.K. A Utilização de Biocombustíveis como Alternativa Sustentável na Matriz Energética Brasileira. Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade, v.5, n.3 - 2014. Disponível em: < [268169549.pdf \(core.ac.uk\)](https://core.ac.uk/doi/pdf/10.13069/268169549)>. Acesso em: 29 ago. de 2023.

CASTRO, D. D. S.; MATEUS, V. O. Produção de Biogás a Partir de Restos de Alimentos Coletados em um Restaurante: Uma Experiência a Ser Disseminada. UNIFACS, 2016.

CIBIOGÁS. Panorama do Biogás no Brasil 2020. Nota Técnica: Nº 001/2021. Foz do Iguaçu, março de 2021. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1_1.pdf. Acesso em: 30 de mar. de 2023.

CINELLI, Bernardo Alves. Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial. Dissertação. Rio de Janeiro - RJ, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Levantamento safra brasileira de cana, v. 4 - Safra 2017/18, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-57, 2017.

COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. The role of biochemical engineering in the production of biofuels from microalgae. **Bioresource Technology**. V.102, p. 2-9, 2011.

CRUZ, A. D. D. Produção de biogás utilizando macrófitas aquáticas, 2020. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis) - Universidade Federal da Paraíba, 2020.

COSTA, A.C. F. M.; DANTAS, J; FERNADES, P.C.R; FREITAS, N.L, LEAL, E; MAPOSSA, A.B; PONTES, J.R.N. Biodiesel production on bench scale from different sources of waste oils by using NiZn magnetic heterogeneous nanocatalyst. **International**

Journal of Energy Research, v. 45, ed. 7, p. 10924-10945, 2021.
<<https://doi.org/10.1002/er.6577>>.

DE PAULA, J. N. Biocombustíveis: uma realidade. 2013. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Formas Alternativas de Energia) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

EMIDIO, C.M.P.O. Produção de biogás a partir de resíduos da produção de biodiesel de óleo e gordura residual. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, 2021.

EMIDIO, C.M.P. O *et al.* Seleção do suporte de imobilização da lipase de *Candida rugosa* visando a hidrólise do óleo de gordura residual na síntese de biodiesel por hidroesterificação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., [Anais]. UFSCar – São Carlos, SP, 2017

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2013. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-129/topico-100/Relatório%20Síntese%202013.pdf>>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2014. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-128/topico-98/Relatório%20Síntese%202014.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2015. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-95/Relatório%20Síntese%202015.pdf>>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-126/topico-92/Relatório_Síntese_2016.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-81/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relatório%20Síntese%202018-ab%202017vff.pdf>>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20Síntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório%20Síntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

[abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf)>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise de conjuntura dos biocombustíveis: 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-688/NT-EPE-DPG-SDB-2022-02_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_2021.pdf> Acesso em: 29 setembro de 2023.

FAROBIE, O. *et al.* Valorization of brown macroalgae *Sargassum plagiophyllum* for biogas production under different salinity conditions. **Bioresource Technology Reports**, v. 22, p. 101403, 2023.

FREITAS, L.A. Produção de etanol de segunda geração utilizando bagaço de sorgo sacarino, forrageiro e biomassa. Tese (doutorado em microbiologia agropecuária). 2017. 179p. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017.

GUIMARÃES, D.D; MAIA, B.S; MILANEZ, A.Y. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o brasil. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, mar. 2021

GRAND VIEW RESEARCH. Biofuels Market Size, Share & Trends Analysis Report By Form (Solid, Liquid, Gaseous), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, Central & South America, Middle East & Africa), And Segment Forecasts, 2020 - 2027. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biofuelsmarket/request/rs1>. Acesso em: 15 setembro de 2023.

GRANJO, J. F. O. *et al.* Integrated production of biodiesel in a soybean biorefinery: Modeling, simulation and economical assessment. **Energy**, v. 129, p. 273-291, 2017.

HOSSAIN, A.B.M.S; SALLEH A.; BOYCE A.M.; CHOWDHURY P.; NAQQIUDIN ,M. Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. **American Journal of Biochemistry and Biotechnology** v. 4, p. 250 – 254, 2008.

IBP. Evolução da produção de biocombustíveis no mundo. 2022. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/evolucao-da-producao-de-biocombustiveis-no-mundo/#:~:text=A%20produção%20global%20de%20biocombustíveis%20%28etanol%2C%20biodiesel%20e,seguidos%20pelo%20Brasil%20com%20710%20mil%20b%2Fd%20%2826%2C4%25%29.>>>. Acesso em: setembro de 2023.

IEA. Bioenergy. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-andtechnologies/bioenergy>>. Acesso em: setembro de 2023.

JESUS, W.M.; TININIS, A.G.; TININIS, C.R.C.S. Microalgas como substrato para etanol de terceira geração: uma reflexão. **COGITARE**, v. 4, n. 2, p. 44-57, IFSP – Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Matão, 2021.

JIAO, J.; LI, J.; BAI, Y. Ethanol as a vehicle fuel in China: A review from the perspectives of raw material resource, vehicle, and infrastructure. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 832–845, 2018.

JÚNIOR, C.M.N. Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação ex post do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira. 2022. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação)

- Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília DF, 2022.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, 2010.
- KOVÁCS, E. Pretreatment of lignocellulosic biogas substrates by filamentous fungi. **Journal of Biotechnology**, v. 360, p. 160-170, 2022.
- KOZAK, R.H.; LUZ JR, L.F.L.; KAMINSKI, M.; NDIAYE.P.M. Bioetanol, biodiesel e biocombustíveis: perspectivas para o futuro. **Ipea, regional, urbano e ambiental**, 2009.
- KUSUMO, F. *et al.* Optimisation of biodiesel production from mixed *Sterculia foetida* and rice bran oil. **International Journal of Ambient Energy**, p. 1–11, 2021.
- LEARY, D., VIERROS, M., HAMON, G., ARICO, S., MONAGLE, C. **Marine genetic resources**: a review of scientific and commercial interest. *Marine Policy*. V. 33 , n.2, p. 183–194, 2009.
- LIMA, Urgel de Almeida; AQUARRONE, Eugênio; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willisaldo; coordenadores. **Biotecnologia industrial**, volume III, 1ª ed. Editora Edgard Blucher LTDA, 2001.
- LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. O etanol de segunda geração no Brasil – Políticas e redes sociotécnicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 34, n. 100, 2019.
- MA F E HANNA MA. Biodiesel production: a review. **Bioresources Technology** v. 70, p. 1 – 15, 1999.
- MANOCHIO, C. Produção de bioetanol de cana de açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas, MG, 2014.
- MAPA. (2021). Sustentabilidade/Agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 11 maio 2023.
- MELO, N.R. Etanol 2G: Processo produtivo e contexto atual no Brasil, 2020. Monografia em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia-MG, 2020.
- MERIATNA, *et al.* Biodiesel production using waste banana peel as renewable base catalyst. **Materials Today: Proceedings**, 2023.
- MIAO, X., WU, Q., YANG, C. Production of liquid biofuels from renewable resources. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, p. 52-68, 2011.
- MICHAL, P. *et al.* Production of biogas from the industrial hemp variety, *Tiborszálási*. **Environmental Technology and Innovation**, v. 31, p. 103185, 2023.
- MOHIDDIN, M. N. B. *et al.* Evaluation on feedstock, technologies, catalyst and reactor for sustainable biodiesel production: a review **J. Ind. Eng. Chem.**, v. 98, p. 60-81, 2021.
- MOURA, N. J. C. Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação ex post do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira. 2022. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília DF. 103 fl.
- MÜLLER, C. *et al.* Resíduos de cana-de-açúcar e milho como matéria prima do etanol 2G: atualidades e perspectivas. In: VOIGT, C. L. (org.). **Impactos das Tecnologias na**

Engenharia Química 3. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, p. 8-22, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.3191901042>. Acesso em: 28 março, 2023.

MUNIR, M. *et al.* Biodiesel production from novel non-edible caper (*Capparis spinosa* L.) seeds oil employing Cu–Ni doped ZrO₂ catalyst. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, p. 110558, 2021.

PACHECO, T. F. Produção de etanol: Primeira ou segunda geração? 1. ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, P.6, 2011.

PASSOS, D.S. Biocombustíveis: estratégia de longo prazo do brasil e a barreira da concorrência internacional. Trabalho de conclusão de curso (Ciência Econômicas) - Universidade Federal de Bahia, 2009.

PAULA, J.N. Biocombustíveis: uma realidade. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia- Universidade Federal de Lavras-MG, 2013.

PITARELO, A. P. *et al.* Effect of moisture content in the steam treatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1502–1509, 2012.

PYDIMALLA, M. *et al.* Sustainable biodiesel: A comprehensive review on feedstock, production methods, applications, challenges, and opportunities. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

RAELE, R.; BOAVENTURA, J. M. G.; FISCHMANN, A. A.; SARTURI, G. Scenarios for the second-generation ethanol in Brazil. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 87, p. 205-223, 2014.

RAÍZEN. Etanol De Segunda Geração: Potencial E Oportunidades. 2023. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol-de-segunda-geracao>>. Acesso em: 20 de set. 2023

RAMOS, A. S. G. Projeção de um Biodigestor para degradação de Resíduos Animais e Produção de Biogás e Biofertilizante, Adaptado para Zona Rural. Relatório de Conclusão de Curso (Engenharia em Energias Renováveis). Mindelo, 2017.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. RFA, 2020. Markets & Statistics Annual Ethanol Production. **U. S. & World ethanol production**. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>>. Acesso em: 23 maio 2023.

ROCHA-MENESES, Lisandra; RAUD, Merlin; ORUPOLD, Kaja; KIKAS, T. Second-generation bioethanol production: A review of strategies for waste valorisation. **Agronomy Research**, v. 15, n. 3, p. 830-847, 2017.

SALLET, Cíntia Letícia; ALVIM, Augusto Mussi. **Biocombustíveis**: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. 2011. Disponível em: http://www.economiaetecnologia.ufpr.br/arquivos_servidor/revista/25%20Capa/Cintia%20Leticia%20Sallet%20-%20Augusto%20Mussi%20Alvim.pdf>. Acesso em: 23 maio 2023.

SAMPAIO, A.M.P.D.M. A política nacional de biocombustíveis e as metas brasileiras no acordo de paris: uma proposta de avaliação a partir da legislação. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

SANTOS, F.; EICHLER, P.; QUEIROZ, J. H.; GOMES, F. Production of second-generation ethanol from sugarcane. *In: Sugarcane Biorefinery, Technology and perspectives*, p. 195-228, 2020.

SANTOS, F. I. V. Bioquerosene de aviação: panorama e perspectiva do biocombustível. 2015. Monografia (Graduação em Gestão do Agronegócio), Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 2015.

SEBAYANG *et al.* Optimization of ultrasound-assisted oil extraction from *Carica candamarcensis*; A potential Oleaginous tropical seed oil for biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 211, p. 434-444, 2023.

Setor do etanol de milho participa de reunião técnica com representantes da ANP, 18 de nov. 2022. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/2022/11/18/setor-do-etanol-de-milho-participa-de-reuniao-tecnica-com-representantes-da-anp/>. Acesso em: 30 de set, 2023.

SILVA, E.F.D. Produção de Etanol Segunda Geração (E2G) em biorreatores a partir da biomassa do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão bibliográfica. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial, do Centro de Tecnologia) - Universidade Federal da Paraíba, 2022.

SILVA, B. M.; SILVA, W. S. D. Um panorama da implantação do etanol de 3ª geração como uma fonte de energia sustentável. **ENGEVISTA**, v. 21, n. 1, p. 176-192, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/13289>. Acesso em: 31 abr, 2023.

SILVA, O. A. **Perspectivas e inovações na área do biodiesel**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal da Paraíba, 2020.

SILVA, J.; MALTA, V.; SANTOS-ROCHA, M.; ALMEIDA, R.; GOMES, M.; VICENTE, C.; BARBOSA, K. Hidrólise enzimática, fermentação e produção de biocombustíveis através da coroa de Ananas comosus. **Química Nova**, v. 41, n. 10, p. 1127-1131, 2018.

SOARES, G.A. O avanço das tecnologias de segunda geração e seus impactos na indústria do etanol, 2016. Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

SOLARTE-TORO, J. C. *et al.* Avaliação de biogás e gás de síntese como vetores de energia para geração de calor e energia usando biomassa lignocelulósica como matéria-prima. **Electron J Biotechnol**, 2018.

STATISTA. Market value of biofuels worldwide in 2020 and 2021, with a forecast until 2030. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/217179/global-biofuels-market-size/>. Acesso em: 4 abr, 2023.

STEPHEN, J.; MABEE, W.; SADDLER, J.. Will second-generation ethanol be able to compete with first-generation ethanol? Opportunities for cost reduction. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 6, p. 159-176, 2012.

SUMARDIONO, S. *et al.* Effect of physical and biological pretreatment on sugarcane bagasse waste-based biogas production. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

TANTAYOTAY, T. *et al.* In-depth investigation of the bioethanol and biogas production from organic and mineral acid pretreated sugarcane bagasse: Comparative and optimization studies. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, p. 102499, 2022.

UNEM. Alta na Produção de Milho Sustenta crescimento do Mercado de Etanol. 2022. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/2022/10/06/alta-na-producao-de-milho-sustenta-crescimento-do-mercado-de-etanol/>. Acesso em: 29 ago. de 2023.

VIDAL, M. F. Produção e Mercado de Etanol. Caderno Setorial ETENE, n. 159, p.1-9, abr. 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021_CDS_159.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

WETTERLUND, E. *et al.* Optimal use of forest residues in Europe under different policies – second generation biofuels versus combined heat and power. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 3, p. 3-16, 2016.

ZAMPAR, M.V.D.C. Biocombustíveis no futuro da aviação. Monografia em Ciências Aeronáuticas. Universidade do Sul de Santa Catarina - SC, 2019.

ZART, V. P. M. *et al* 1.5G Ethanol: a discussion about the combination between first and second generation ethanol. *Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo a mesa*. **CIAGRO**, 2020.