

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA DE QUÍMICA

**Karine Ramos Duarte**



MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO  
DE MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE  
BIOCOMBUSTÍVEIS

RIO DE JANEIRO

2023

Karine Ramos Duarte

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA  
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Orientador(es): Yordanka Reyes Cruz

Rio de Janeiro

2023

## CIP - Catalogação na Publicação

D812m Duarte, Karine Ramos  
MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO DE  
MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS /  
Karine Ramos Duarte. -- Rio de Janeiro, 2023.  
71 f.

Orientadora: Yordanka Reyes Cruz.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de  
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Microalgas. 2. Biocombustíveis. 3. Prospecção  
Tecnológica. I. Cruz, Yordanka Reyes , orient. II.  
Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Karine Ramos Duarte

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA  
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Química da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de Engenheiro  
Químico.

Aprovado em 11 de julho de 2023.

---

Yordanka Reyes Cruz, D.Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Carla Reis de Araújo, D.Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

João Paulo da Silva Q. Menezes, D.Sc, Marinha do Brasil

Rio de Janeiro  
2023

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha família pelo apoio, amor e por sempre acreditarem em mim.

À minha mãe Karla e minha avó Salete por coisas que nem consigo colocar em palavras.

Aos meus anjinhos pai e vovô que estão no céu sempre olhando por mim.

Aos meus amigos Eduarda Milhomem e Gabriel Villaça por sempre estarem comigo até nos momentos difíceis. Aos amigos Carol Ribeiro e Leo Trote por estarem perto mesmo estando longe.

Aos amigos da UFRJ, em especial o período 2016.2 e agregados por me proporcionarem os melhores momentos que tive durante a faculdade. Obrigada por todas as risadas e todo o suporte.

Aos amigos Bia, minha gêmea e dupla da faculdade, Cami, minha protetora e companheira de festas, Zé, meu melhor amigo desse trabalho e melhor carona do Cachambi e Marcella, minha francesa favorita.

Aos amigos do Labtech, em especial João Menezes, que foi meu primeiro orientador e amigo fiel durante essa trajetória na UFRJ.

À orientadora Yordanka, pela orientação, disponibilidade e paciência.

## RESUMO

Duarte, Karine Ramos. MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A produção de biocombustíveis a partir de microalgas é uma solução promissora para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais associados a eles. Os biocombustíveis derivados de microalgas são considerados uma fonte de energia renovável, pois as microalgas podem ser cultivadas rapidamente e em grande escala e durante o processo de crescimento, elas absorvem dióxido de carbono da atmosfera, o que contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as microalgas têm uma capacidade única de acumular em suas células, grandes quantidades de lipídios (óleos), que podem ser extraídos e convertidos em biocombustíveis. A prospecção tecnológica é de extrema importância nesse contexto, pois permite identificar e avaliar novas tecnologias, processos e inovações que podem impulsionar as pesquisas no setor. Através da prospecção tecnológica, é possível analisar o estado atual da tecnologia, identificar lacunas e desafios a serem superados, bem como antecipar tendências futuras. Neste Trabalho de Conclusão de Curso utilizou-se das plataformas Scopus e Google Patents para identificar as principais tendências tecnológicas e científicas relacionadas à produção de biocombustíveis a partir de microalgas. Observou-se um aumento do interesse pelo assunto a partir de 2008, com aumento significativo nos últimos 10 anos. O principal biocombustível pesquisado é o Biodiesel, com destaque em todos os países. O Etanol se destaca na América do Sul. No cenário brasileiro, as regiões Sul e Sudeste se destacam em ambas as prospecções. As principais microalgas pertencem aos gêneros *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Botryococcus*, *Spirulina* e *Dunaliella*.

Palavras-chave: Microalgas. Biocombustíveis. Prospecção Tecnológica.

## ABSTRACT

Duarte, Karine Ramos. MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The production of biofuels from microalgae is a promising solution to reduce dependence on fossil fuels and mitigate the associated environmental impacts. Biofuels derived from microalgae are considered a renewable energy source because microalgae can be rapidly and extensively cultivated. During the growth process, they absorb carbon dioxide from the atmosphere, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions. Moreover, microalgae have a unique capacity to accumulate large quantities of lipids (oils) in their cells, which can be extracted and converted into biofuels. Technological prospecting is of utmost importance in this context as it allows for the identification and evaluation of new technologies, processes, and innovations that can drive research in the sector. Through technological prospecting, it is possible to analyze the current state of technology, identify gaps and challenges to be overcome, as well as anticipate future trends. In this dissertation, the Scopus and Google Patents platforms were used to identify the main technological and scientific trends related to biofuel production from microalgae. An increase in interest in the subject has been observed since 2008, with a significant increase in the last 10 years. Biodiesel is the main biofuel being researched, with prominence in all countries. Ethanol stands out in South America. In the Brazilian scenario, the South and Southeast regions stand out in both prospecting efforts. The main microalgae belong to the genera *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Botryococcus*, *Spirulina*, and *Dunaliella*.

Keywords: Microalgae. Biofuels. Technology Prospecting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – ESTRUTURA DE UMA CIANOBACTÉRIA.....	15
FIGURA 2 – ESTRUTURA DE UMA MICROALGA EUCARIONTE DO GRUPO CHLOROPHYCEAE. ....	16
FIGURA 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS MICROALGAS DE ACORDO COM SUA COLORAÇÃO E SUBSTÂNCIAS DE RESERVA. ....	16
FIGURA 4 – CURVA DE CRESCIMENTO DAS MICROALGAS.....	18
FIGURA 5 –IMAGENS REAIS DE SISTEMAS ABERTOS DE CULTIVO DE MICROALGAS.....	20
FIGURA 6 –IMAGENS REAIS DE FOTOBIORREACTORES.....	21
FIGURA 7 –REAÇÃO DE FORMAÇÃO DO TRIACILGLICEROL.....	24
FIGURA 8 – FRASCO CONTENDO BODIESEL PURO.....	24
FIGURA 9 –REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.....	25
FIGURA 10 –FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BODIESEL.....	26
FIGURA 11 – FRASCO CONTENDO ETANOL PURO. ....	27
FIGURA 12 – REAÇÃO DE PRODUÇÃO DE ETANOL.....	28
FIGURA 13 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL.....	28
FIGURA 14 – EXEMPLO DE REAÇÃO ENZIMÁTICA DE HIDRÓLISE ÁCIDA DA CELULOSE. ....	29
FIGURA 15 – PROCESSO SIMPLIFICADO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA. ....	30
FIGURA 16 – ESQUEMA DA BIOFOTÓLISE REALIZADA POR ALGAS VERDES E CIANOBACTÉRIAS. ....	32
FIGURA 17 – OBJETIVOS DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA. ....	34
FIGURA 18 – NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO NO MUNDO. ....	41
FIGURA 19 – PAÍSES COM MAIOR NÚMERO DE PESQUISAS SOBRE O TEMA. ....	41
FIGURA 20 – PRINCIPAIS ÁREAS QUE ENVOLVEM AS PESQUISAS SOBRE O TEMA NO MUNDO. .	42
FIGURA 21 – NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO NO BRASIL. ....	42
FIGURA 22 – NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR UNIVERSIDADE NO BRASIL. ....	43
FIGURA 23 – PERCENTUAL DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR REGIÃO DO BRASIL. ....	43
FIGURA 24 – PRINCIPAIS ÁREAS QUE ENVOLVEM AS PESQUISAS SOBRE O TEMA NO BRASIL ...	44
FIGURA 25 – NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR ANO NO MUNDO.....	44
FIGURA 26 – REPRESENTATIVIDADE DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR ANO NO MUNDO. ....	45
FIGURA 27 –NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR PAÍS. ....	45
FIGURA 28 –REPRESENTATIVIDADE DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR PAÍS. ....	46
FIGURA 29 –REPRESENTATIVIDADE DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR CONTINENTE.....	47
FIGURA 30 –PRINCIPAIS MICROALGAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	48
FIGURA 31 –PROPORÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE CADA MICROALGA PARA DIFERENTES BIOCOMBUSTÍVEIS.....	48



FIGURA 32 – QUANTIDADE TOTAL DE PATENTES POR BIOCOMBUSTÍVEL NO MUNDO. ....	50
FIGURA 33 – PROPORÇÃO ENTRE PATENTES CONCEDIDAS E SOLICITADAS POR BIOCOMBUSTÍVEL.....	50
FIGURA 34 - NÚMERO DE PATENTES POR ANO NO MUNDO. ....	51
FIGURA 35 – PROPORÇÃO ENTRE PATENTES CONCEDIDAS E SOLICITADAS POR ANO. ....	52
FIGURA 36 – DISTRIBUIÇÃO DE PATENTES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR ANO.....	53
FIGURA 37 – DISTRIBUIÇÃO DE SOLICITAÇÕES POR ESCRITÓRIO DE PATENTES. ....	54
FIGURA 38 – PROPORÇÃO DE PATENTES POR BIOCOMBUSTÍVEL POR CONTINENTE.....	54
FIGURA 39 – PRINCIPAIS ÁREAS CITADAS NAS PATENTES ATRAVÉS DO CPC. ....	55
FIGURA 40 – EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PATENTES POR ANO E BIOCOMBUSTÍVEL. ....	56
FIGURA 41 – PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DE ORIGEM DAS PUBLICAÇÕES.....	57
FIGURA 42 – PERCENTUAL DE PATENTES POR REGIÃO DO BRASIL.....	57
FIGURA 43 – PRINCIPAIS GÊNEROS DE MICROALGAS CITADAS NAS PATENTES.....	58
FIGURA 44 – PRINCIPAIS GÊNEROS DE MICROALGAS PARA CADA BIOCOMBUSTÍVEL.....	58

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE CULTIVOS DE MICROALGAS.....	18
TABELA 2. PRINCIPAIS ÁCIDOS GRAXOS PRESENTES NAS MICROALGAS.....	22
TABELA 3. COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO.....	23
TABELA 4. COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES DEFINIÇÕES PARA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA. .....	33
TABELA 5. BUSCAS APLICADAS E RESULTADOS NA PLATAFORMA SCOPUS.....	36
TABELA 6. BUSCAS APLICADAS E RESULTADOS NA PLATAFORMA GOOGLE PATENTS. ....	39
TABELA 7 – RECORRÊNCIA DOS PRINCIPAIS CÓDIGOS CPC NAS PATENTES.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA - America Invents Act - Lei Americana de Inovação  
CPC - Cooperative Patent Classification  
EBA - Associação Europeia de Biogás  
EPO – Escritório Europeu de Patentes  
ICP - International Patent Classification  
IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura  
INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial  
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
IRENA - Agência Internacional de Energias Renováveis  
JPO – Escritório Japonês de Patentes  
OMPI – Organização Mundial da Propriedade Intelectual  
PCT - Patent Cooperation Treaty - Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes  
PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel  
SIPO - Escritório Estatal de Propriedade Intelectual da República Popular da China  
TAG – Triacilglicerol  
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UFV – Universidade Federal de Viçosa  
USPTO - Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos  
WIPO - World Intellectual Property Organization  
WO - World Intellectual Property Organization – OMPI

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 MICROALGAS.....	15
2.1.1 ASPECTOS GERAIS.....	15
2.1.2 TIPOS DE METABOLISMO.....	17
2.1.3 CINÉTICA DE CRESCIMENTO.....	18
2.1.4 CONDIÇÕES PARA CULTIVO.....	19
2.1.5 SISTEMAS DE CULTIVO.....	20
2.1.6 TIPOS DE LIPÍDIOS E EXTRAÇÃO.....	21
2.1.7 LIPÍDIO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	24
2.2 BIOCOMBUSTÍVEIS PRODUZIDOS A PARTIR DE MICROALGAS.....	24
2.2.1 BIODIESEL.....	24
2.2.2 ETANOL.....	27
2.2.3 BIOGÁS.....	30
2.2.4 BIO-HIDROGÊNIO.....	31
3 PROSPRECÇÃO TECNOLÓGICA.....	33
3.1 CONCEITO E OBJETIVOS.....	33
3.2 METODOLOGIA.....	35
3.2.1 PESQUISA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS.....	35
3.2.2 PESQUISA DE PATENTES.....	37
4 RESULTADOS.....	40
4.1 PESQUISA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS.....	40
4.2 PESQUISA DE PATENTES.....	50
5 CONCLUSÕES.....	59
6 REFERÊNCIAS.....	60

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA

Os combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão, têm sido a principal fonte de energia para o mundo nas últimas décadas. No entanto, seu uso crescente tem levado a vários problemas ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Além disso, a extração e o uso desses combustíveis podem causar danos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. (PIVA, 2010)

Por isso, a busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis tem se tornado cada vez mais importante. Os biocombustíveis, que são produzidos a partir de biomassa renovável, como culturas energéticas, resíduos agrícolas e florestais, têm se destacado como uma alternativa promissora. Eles são considerados uma forma de energia renovável, pois sua produção não depende de recursos esgotáveis e podem ser produzidos de forma mais sustentável, sem causar impactos negativos significativos ao meio ambiente. (ORTENZIO *et al*, 2015)

Existem diversos tipos de biomassa que podem ser utilizadas na produção de biocombustíveis, dentre elas destacam-se aqueles produzidos pelos derivados de culturas convencionais como soja, milho e cana-de-açúcar. A atual problemática está no fato de que para obter tais matérias-primas se faz necessário o uso de áreas extensas de terras agricultáveis e altas quantidades de água, além da dependência por condições climáticas favoráveis e da demanda por outros derivados. (VIEIRA *et al*, 2014)

As microalgas são organismos que apresentam requisitos simples para seu desenvolvimento e podem ser produzidas em grandes quantidades e em ambientes controlados, evitando a competição com a produção de alimentos. Além disso, as microalgas podem ser cultivadas em diferentes fontes de água (doce, salgada ou salobra) e tem alta capacidade de captura de CO<sub>2</sub> e maior acúmulo de biomassa quando comparadas às plantas terrestres. (MENDES *et al*, 2012). Segundo a Embrapa Agroenergia, estima-se que é possível produzir 50 mil litros de óleo por hectare por ano a partir de microalgas, número 100 vezes maior do que o obtido a partir da soja.

Dessa forma, as microalgas surgem como uma alternativa promissora para o mercado energético, sendo capaz de produzir biocombustíveis de terceira geração, podendo assim

originar biodiesel, etanol, bioquerosene, bioplásticos, biogás e outros intermediários químicos. (MENDES *et al*, 2012)

A prospecção tecnológica é um processo que envolve a busca por novas tecnologias e inovações para uma determinada área de interesse e tem sido uma importante ferramenta para a identificação de novas tecnologias e inovações em diversas áreas, incluindo a biotecnologia. Um exemplo disso é o crescente interesse na utilização de microalgas como fonte de biomassa para a produção de biocombustíveis e outros produtos de alto valor agregado. A prospecção tecnológica tem permitido a identificação de novas espécies de microalgas com maior eficiência na produção de biomassa e em condições ambientais adversas, além de novos métodos de cultivo e processamento. Além disso, ela tem permitido a descoberta de novas aplicações para as microalgas, como a produção de cosméticos, alimentos funcionais, medicamentos e outros produtos biotecnológicos. (EMBRAPA, 2021)

Com o crescente interesse na utilização de microalgas como fonte de biomassa, a prospecção tecnológica tem desempenhado um papel crucial na identificação de novas tecnologias e inovações para tornar essa indústria cada vez mais viável e sustentável.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral levantar informações tecnológicas sobre a utilização de microalgas na produção de biocombustíveis.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos do presente trabalho enumeram-se os seguintes:

- Analisar a evolução do cenário patentário mundial relacionado à produção de biocombustível a partir de microalgas
- Analisar a evolução do cenário patentário no Brasil relacionado à produção de biocombustível a partir de microalgas
- Identificar tendências mundiais através de artigos científicos do processo de produção de biocombustíveis a partir de microalgas

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é constituído por 7 tópicos.

O tópico 1 apresenta a introdução do trabalho que descreve as principais motivações e os objetivos geral e específicos do mesmo.

O referencial teórico é apresentado no tópico 2, no qual são destacadas as principais características das microalgas, assim como os meios de cultivo e métodos de extração dos lipídeos. A revisão bibliográfica aborda ainda os principais biocombustíveis utilizados atualmente e que poderiam ser produzidos a partir de microalgas, além de descrever os métodos de obtenção dos mesmos.

O tópico 3 traz os conceitos e os objetivos fundamentais de uma Prospecção Tecnológica, além de abordar sua metodologia.

O tópico 4 consiste nos resultados obtidos ao realizar o mapeamento sobre a produção de bicomcombustíveis a partir de microalgas.

Finalmente, o tópico 5 apresenta as conclusões obtidas com o trabalho. As referências utilizadas na pesquisa estão listadas no tópico 6.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

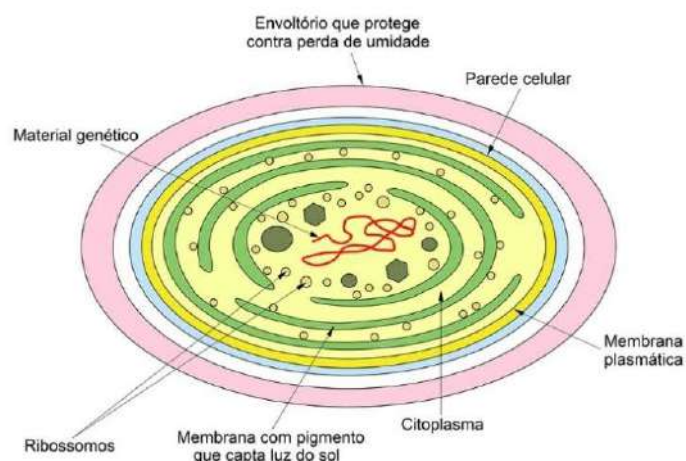
### 2.1 MICROALGAS

#### 2.1.1 ASPECTOS GERAIS

As microalgas são organismos que apresentam grande diversidade em termos de estrutura celular, metabolismo e características ecológicas. Elas podem ser encontradas nas formas unicelular, colonial, cenobial, filamentosos e sifonoso e são classificadas em dois grandes grupos: as microalgas procariontes e as microalgas eucariontes (TELES, 2016). Estima-se que existem de 70.000 a 1.000.000 de espécies, mas apenas cerca de 30.000 foram estudadas e analisadas. (REKTENVALD, 2022).

As microalgas procariontes, também conhecidas como cianobactérias ou algas azuis, são organismos unicelulares que apresentam uma estrutura celular relativamente simples, sem um núcleo definido e outras organelas membranosas. Em vez disso, elas possuem uma região chamada nucleóide, onde o material genético é armazenado, e outras estruturas como cloroplastos, ribossomos e vacúolos (PRIYADARSHANI, 2012). As microalgas procariontes são importantes produtores primários em ecossistemas aquáticos e terrestres, e podem ser encontradas em uma variedade de habitats, desde água doce até ambientes extremos como desertos e fontes termais.

**Figura 1 – Estrutura de uma cianobactéria.**



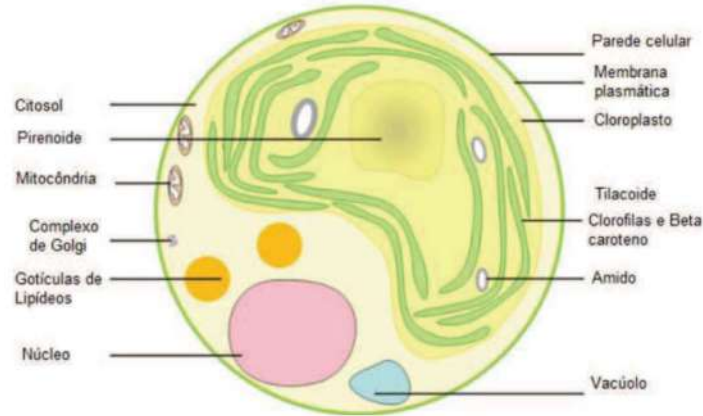
Fonte: Invivo (2022)

Já as microalgas eucariontes são organismos unicelulares que apresentam uma estrutura celular mais complexa, com um núcleo definido e outras organelas membranosas, como



mitocôndrias e cloroplastos. Essas organelas desempenham papéis importantes no metabolismo celular, incluindo a produção de energia e a realização da fotossíntese.

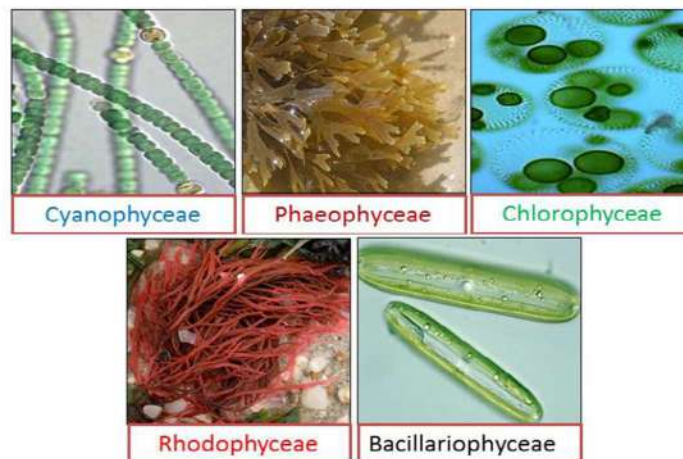
**Figura 2 – Estrutura de uma microalga eucarionte do grupo Chlorophyceae.**



Fonte: Teles (2016)

As microalgas eucariontes são encontradas em uma variedade de ambientes, incluindo água doce e salgada, solo e até mesmo no ar, e podem apresentar uma grande diversidade de formas e tamanhos. Os principais grupos são: Chlorophyceae (Algas verdes), Phaeophyceae (Algas marrons), Rhodophyceae (Algas vermelhas) e Bacillariophyceae (Diatomáceas). (CAVALCANTI, 2016)

**Figura 3 – Classificação das microalgas de acordo com sua coloração e substâncias de reserva.**



Fonte: Cavalcanti (2016)

A reprodução das microalgas pode ser sexuada ou assexuada e pode ser influenciada por fatores ambientais, como a disponibilidade de nutrientes, a intensidade da luz, a temperatura e a salinidade. A reprodução assexuada ocorre através de divisão celular simples, na qual uma

célula se divide em duas células filhas idênticas. Já a reprodução sexuada acontece por meio da fusão de gametas, que são células especializadas para a reprodução. A fertilização ocorre quando um gameta masculino se funde com um gameta feminino, formando um zigoto que eventualmente se desenvolve em uma nova célula de microalga. Alguns tipos de microalgas também podem se reproduzir através de formas intermediárias de reprodução, como a formação de esporos ou zoósporos, que são células de resistência e podem suportar condições ambientais adversas. (BICUDO *et al*, 2010)

### 2.1.2 TIPOS DE METABOLISMO

As microalgas, assim como em todos seus aspectos, possuem uma grande diversidade de metabolismos. Dentre os principais tipos, destacam-se o fototrófico, o heterotrófico, o mixotrófico e o fotoheterotrófico. (DINO, 2018)

No metabolismo fototrófico, as microalgas utilizam a energia da luz solar para produzir compostos orgânicos a partir do dióxido de carbono e nutrientes inorgânicos, como nitrogênio, fósforo e potássio. Esse tipo de metabolismo é comum em microalgas que são cultivadas para a produção de biomassa, biocombustíveis e produtos químicos. (AHMAD *et al*, 2011)

No metabolismo heterotrófico, as microalgas obtêm energia a partir de compostos orgânicos presentes no meio ambiente, como carboidratos, lipídios e proteínas. Esse tipo de metabolismo é comum em microalgas que crescem em ambientes escuros ou que são cultivadas em sistemas fechados para a produção de compostos de alto valor agregado. (AHMAD *et al*, 2011)

Já no metabolismo mixotrófico, as microalgas combinam características dos metabolismos fototrófico e heterotrófico. Nesse caso, as microalgas são capazes de produzir compostos orgânicos a partir da fotossíntese e podem absorver nutrientes orgânicos do meio ambiente para atender suas necessidades nutricionais. (PAULINO, 2020)

Por fim, no metabolismo fotoheterotrófico, as microalgas utilizam a energia da luz solar para produzir compostos orgânicos, mas também precisam de compostos orgânicos adicionais para atender suas necessidades nutricionais. Esse tipo de metabolismo é comum em microalgas que crescem em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes inorgânicos, como em águas salobras ou salinas. (PAULINO, 2020)

Em resumo, a escolha do tipo de metabolismo de uma microalga depende das condições de cultivo e dos objetivos específicos do projeto. Cada tipo de metabolismo apresenta vantagens e desvantagens, sendo importante avaliar qual é o mais adequado para cada aplicação.

**Tabela 1. Comparação das características de diferentes tipos de cultivos de microalgas.**

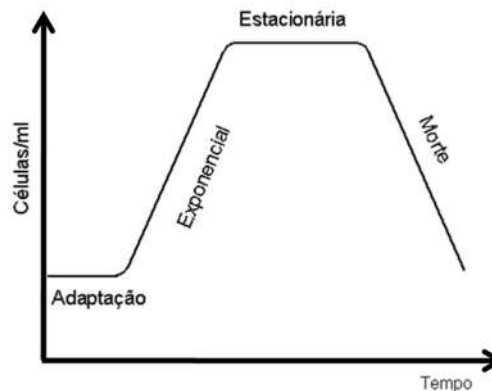
	<b>Fototrófico</b>	<b>Heterotrófico</b>	<b>Mixotrófico</b>	<b>Fotoheterotrófico</b>
<b>Fonte de energia</b>	Luz	Orgânica	Luz e orgânica	Luz
<b>Fonte de carbono</b>	Inorgânica	Orgânica	Inorgânica e orgânica	Orgânica
<b>Densidade celular</b>	Baixa	Alta	Média	Média
<b>Custo</b>	Baixo	Médio	Alto	Alto
<b>Principais desvantagens</b>	Baixa densidade	Alto custo de substrato	Alto custo de substrato e equipamento	Alto custo de substrato e equipamento
	Contaminação em sistema aberto	Risco de contaminação	Risco de contaminação	Risco de contaminação

Fonte: Adaptado de Dino (2018)

### 2.1.3 CINÉTICA DE CRESCIMENTO

O crescimento das microalgas segue o comportamento mostrado na Figura 4. Seguindo basicamente 4 fases principais: Adaptação, exponencial, estacionária e morte.

**Figura 4 – Curva de crescimento das microalgas.**



Fonte: Dino (2018)

A duração de cada fase depende da espécie e das condições de cultivo e elas podem ser descritas da seguinte forma: (DINO, 2018 *apud* ANDRADE, 2014)

- **Adaptação:** Fase de adaptação ao novo meio. Crescimento praticamente nulo.
- **Exponencial:** Fase posterior à adaptação. As células estão crescendo e se reproduzindo em velocidade máxima.
- **Estacionária:** Pausa na divisão celular. Concentração máxima de células e taxa de reprodução é igual a taxa de mortalidade. Crescimento Nulo.
- **Morte:** Taxa de mortalidade supera a de reprodução e o número de células tende a diminuir. Perda da capacidade de divisão celular.

#### 2.1.4 CONDIÇÕES PARA CULTIVO

As condições nutricionais ideais para o cultivo de microalgas podem variar dependendo da espécie, mas em geral, elas precisam, além de uma fonte de energia, de macronutrientes como nitrogênio, fósforo, carbono, enxofre, magnésio, potássio e cálcio e micronutrientes como ferro, manganês, zinco e cobre. (ANDRADE, 2014)

Alguns dos principais fatores que afetam o crescimento das espécies são:

- **Luz:** A intensidade, duração e qualidade da luz podem afetar significativamente o crescimento das microalgas. Em geral, precisam de luz suficiente para realizar a fotossíntese, mas a intensidade e a duração ideais podem variar de acordo com a espécie.
- **Nutrientes:** As microalgas precisam de fontes de nutrientes como nitrogênio e fósforo para crescerem e se reproduzirem. Estes nutrientes podem ser fornecidos em formas de sais inorgânicos ou compostos orgânicos, como ureia ou nitrato de amônio.
- **pH:** O pH ideal para o cultivo de microalgas pode variar dependendo da espécie, mas geralmente fica na faixa entre 7,0 e 9,0. Alterações significativas no pH podem afetar o crescimento e a reprodução das espécies.
- **Temperatura:** A temperatura ideal para o cultivo de microalgas também pode variar dependendo da espécie, mas geralmente fica na faixa entre 20°C e 30°C. Temperaturas muito altas ou muito baixas podem afetar negativamente o crescimento e a reprodução das espécies.

- **CO<sub>2</sub>**: as microalgas utilizam o dióxido de carbono para realizar a fotossíntese, portanto, a disponibilidade de CO<sub>2</sub> pode ser um fator importante a ser considerado. A adição de CO<sub>2</sub> pode aumentar a produtividade.

Cada espécie de microalga pode ter suas próprias necessidades específicas e a otimização dessas condições pode ser importante para maximizar a produção de biomassa e lipídios. (DA PAZ, 2021)

### 2.1.5 SISTEMAS DE CULTIVO

Os sistemas de cultivo de microalgas podem ser classificados em dois tipos principais: fechados e abertos. Os sistemas de cultivo abertos incluem lagoas, tanques e lagunas, que são amplamente utilizados na produção em larga escala de microalgas. Esses sistemas são simples e de baixo custo, mas apresentam desafios em relação à contaminação, evaporação e controle de condições de cultivo. Além disso, a produção é limitada pelas condições climáticas e sazonais. (EMBRAPA, 2016)

Existe uma grande variedade de formas e tamanhos para o design de sistemas abertos. Dentre os principais estão apenas as lagoas abertas simples (Figura 5A), onde não há mecanização para homogeneização, Raceway (Figura 5B), pistas circulares também chamadas de sistema de fluxo e lagoas circulares (Figura 5C), que apresentam um braço mecânico ao centro. O modelo mais utilizado atualmente é o Raceway Paddle Wheel Mixed Open Ponds (Figura 5D), um tanque de circulação contínua que evita sedimentação e permite uma iluminação bastante uniforme. Mesmo sendo de fácil funcionamento, sua grande desvantagem está no alto gasto energético e na contaminação da biomassa com outros microrganismos (LUCHE, 2020). Os tipos de sistemas abertos citados podem ser observados na Figura 5.

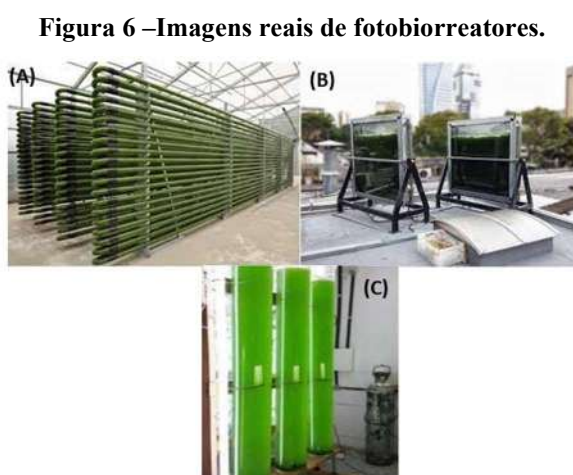
**Figura 5 –Imagens reais de sistemas abertos de cultivo de microalgas.**



Fonte: Elaboração Própria

Os sistemas de cultivo fechados incluem tubos de vidro e sistemas de membrana para produções em menor escala e os fotobiorreatores como principal forma para larga escala. Esses sistemas são projetados para manter as condições de cultivo ideais, como temperatura, pH e iluminação, o que resulta em uma maior produtividade e qualidade da biomassa produzida. No entanto, esses sistemas são mais caros e complexos de operar e requerem maior investimento em manutenção. (EMBRAPA, 2016)

Assim como para os sistemas abertos, existem diversas formas de fotobiorreatores. Dentre eles, os mais conhecidos são os tubulares (Figura 6A), nos quais os tubos devem maximizar a exposição a luz, podendo ser instalados horizontalmente, inclinados na vertical, em espiral, em placas (Figura 6B), construídos através da junção de duas placas transparentes que permitem grande superfície de iluminação, e os em colunas (Figura 6C), que possuem mais eficiência no processo de agitação, maior taxa de transferência de gases e maior controle das condições de meio de cultivo (LUCHE, 2020). Os tipos de fotobiorreatores citados podem ser observados na Figura 6.



Fonte: Elaboração Própria

Em resumo, a escolha do sistema de cultivo de microalgas depende do objetivo do cultivo, da escala de produção, da disponibilidade de recursos e das condições ambientais locais.

#### 2.1.6 TIPOS DE LIPÍDIOS E EXTRAÇÃO

A composição lipídica das microalgas é formada por ácidos graxos, incluindo os saturados, monoinsaturados e poli-insaturados. Alguns dos principais ácidos graxos encontrados em microalgas estão exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Principais ácidos graxos presentes nas microalgas.

Nome descritivo	Nome sistemático	Átomos de Carbono	Duplas Ligações
<b>Láurico</b>	Dodecanóico	12	0
<b>Mirístico</b>	Tetradecanóico	14	0
<b>Palmítico</b>	Hexadecanóico	16	0
<b>Palmitoléico</b>	Hecadecenóico	16	1
<b>Estearico</b>	Octadecanóico	18	0
<b>Oleico</b>	Octadecenóico	18	1
<b>Linoleico</b>	Octadecadienóico	18	2
<b>Alfa-Linolênico</b>	Octadecatrienóico	18	3
<b>Gama-Linolênico</b>	Octadecatrienóico	18	3
<b>Homo Gama-Linolênico</b>	Eicosatrienóico	20	3
<b>Araquidônico</b>	Eicosatetraenóico	20	4
<b>EPA</b>	Eicosapentaenóico	20	5
<b>DHA</b>	Docosahexaenóico	22	6

Fonte: Adaptado de Andrade (2014).

O tipo, teor e perfil lipídico das microalgas depende da temperatura, pH, idade da cultura, tipo de microalga e concentração de nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo no meio de cultivo. Eles podem ser encontrados em diferentes formas, incluindo triglicérides, fosfolipídios, glicolipídios, esteróis, carotenoides e outros compostos lipídicos. (DA PAZ, 2021).

Existem várias técnicas para extrair lipídios de microalgas, e a escolha da técnica depende do tipo de microalga e da finalidade da extração. Atualmente, o método mais utilizado é a extração com solvente. (ANDRADE, 2014)

Algumas das principais formas de extração de lipídios de microalgas incluem:

- Extração com solvente: A extração com solvente é uma técnica comum que envolve a adição de um solvente orgânico aos cultivos de microalgas para extrair os lipídios. O solvente comumente utilizado é o clorofórmio-metanol, mas outros solventes como éter de petróleo, éter etílico, acetona, acetato de etila e hexano também podem ser usados. Essa técnica é relativamente simples e eficiente, mas pode ser cara e pode causar a destruição parcial dos ácidos graxos insaturados.

- **Extração por prensagem:** A extração por prensagem envolve a aplicação de pressão mecânica sobre a microalga para quebrar a célula e liberar o óleo. Esta técnica é relativamente simples e pode ser realizada em pequena escala, mas pode ser ineficiente para espécies de microalgas com paredes celulares rígidas.
- **Extração com fluidos supercríticos:** A extração com fluidos supercríticos é uma técnica relativamente nova que envolve a utilização de um fluido supercrítico, geralmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para extrair os lipídios. Esta técnica é eficiente e não utiliza solventes tóxicos, mas pode ser cara e requer equipamentos especializados.
- **Extração com micro-ondas:** A extração com micro-ondas é uma técnica relativamente nova que envolve a utilização de micro-ondas para aquecer as células de microalgas e liberar os lipídios. Esta técnica é rápida e eficiente, mas pode ser cara e requer equipamentos especializados.

**Tabela 3. Comparação das vantagens e desvantagens dos principais métodos de extração.**

<b>Método de extração</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Extração com solvente</b>	Alta eficiência de extração, rápido, simples e fácil de operar, facilmente adaptável para produção em larga escala	Pode ser tóxico e prejudicial ao meio ambiente, a recuperação do solvente pode ser cara e trabalhosa
<b>Extração por prensagem</b>	Simple e de baixo custo, não requer o uso de solventes	Eficiência de extração relativamente baixa, não é adequado para extração de lipídios intracelulares
<b>Extração com fluido supercrítico</b>	Mais segura e ambientalmente amigável do que a extração com solvente, alto teor de pureza, pode ser utilizado para extração seletiva de componentes específicos	Equipamento caro, requer condições específicas de pressão e temperatura, pode levar a perda de compostos termos sensíveis
<b>Extração com micro-ondas</b>	Rápido e eficiente, reduz a quantidade de solvente necessária, baixo custo operacional	Requer equipamento específico e pode ser caro, pode levar a perda de compostos termos sensíveis

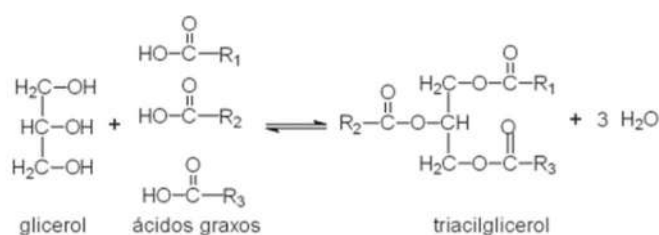
Fonte: Elaboração Própria baseada em Kumar (2015) e Zorn (2019).



### 2.1.7 LIPÍDIO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

O lipídio mais relevante para a produção de biocombustíveis a partir de microalgas é o triacilglicerol (TAG). Isso ocorre porque o TAG é um lipídio neutro de alta densidade energética e, portanto, é uma fonte ideal de matéria-prima para a produção de biocombustíveis. (ZENEVICZ, 2015). A reação de formação do triglicerídeo pode ser observada na Figura 7.

**Figura 7 –Reação de formação do triacilglicerol.**



Fonte: Merçon (2010).

As microalgas podem produzir grandes quantidades de TAG em resposta a condições de estresse, como a falta de nutrientes ou a exposição a altas temperaturas. Por isso, é possível estimular a produção em condições controladas para aumentar a produção de biomassa e, consequentemente, a quantidade de lipídios disponíveis para a produção de biocombustíveis.

## 2.2 BIOCOMBUSTÍVEIS PRODUZIDOS A PARTIR DE MICROALGAS

As microalgas podem ser utilizadas para a produção de vários tipos de biocombustíveis, principalmente biodiesel derivado de óleo extraído, etanol, bio-hidrogênio produzido fotobiologicamente e biogás, produzido pela digestão anaeróbica da biomassa algal (PEREIRA *et al*, 2012).

### 2.2.1 BIODIESEL

O biodiesel (Figura 8) é um combustível renovável produzido a partir de fontes naturais, como óleos vegetais (soja, palma, girassol, algodão, amendoim e outros), óleos extraídos de microalgas, gorduras animais e pelo reuso de óleo. Ele pode ser utilizado em motores de combustão interna, substituindo parcial o diesel convencional. (EMBRAPA, 2021)

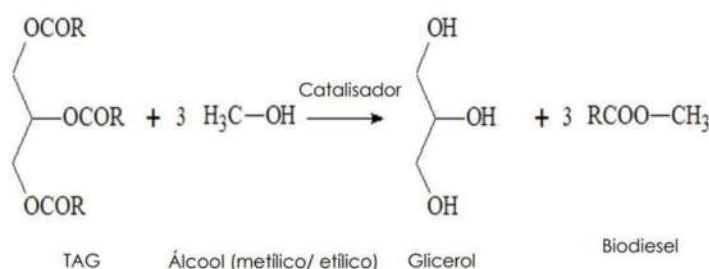
**Figura 8 – Frasco contendo Biodiesel puro.**



Fonte: Visão Agro (2022).

O método mais comum para a produção do biodiesel envolve um processo químico conhecido como transesterificação, que transforma os óleos e gorduras em ésteres metílicos ou etílicos. Esse processo utiliza álcool e um catalisador para quebrar as moléculas de óleo ou gordura em cadeias menores de ésteres, resultando em biodiesel e glicerina como subproduto. (PEREIRA *et al*, 2012). A reação para obtenção do biodiesel pode ser observada na Figura 9.

**Figura 9 –Reação de transesterificação.**



Fonte: Nascimento *et al* (2020).

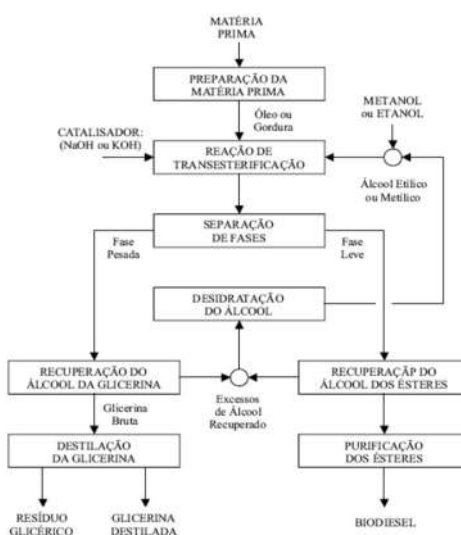
A produção do biodiesel pode ser dividida em diversas etapas, que envolvem desde a escolha da matéria-prima até a purificação do produto. Dentre essas etapas, podemos destacar:

- Escolha da matéria-prima: que pode ser óleos vegetais ou óleos extraídos de microalgas, gorduras animais ou óleos residuais, sendo importante considerar a disponibilidade e o custo dos insumos.
- Preparação do óleo (Refino): onde é feita a retirada de fosfolipídios, ácidos graxos livres e umidade do óleo escolhido, para garantir a qualidade do produto.
- Transesterificação: processo onde ocorre a mistura do óleo preparado com álcool e um catalisador, gerando a separação do glicerol e a formação de ésteres metílicos ou etílicos, que são o biodiesel propriamente dito.

- Separação e Lavagem: etapa onde acontece retirada do glicerol, normalmente por decantação, e a posterior lavagem do biodiesel para remover resíduos de glicerol, álcool e catalisador.
- Secagem: processo final onde o biodiesel é submetido a uma etapa de secagem a pressão reduzida, para garantir sua qualidade e estabilidade.

Cada etapa da produção do biodiesel é importante para garantir a qualidade e eficiência do produto, e sua efetividade pode variar de acordo com a matéria-prima e o processo utilizado.

**Figura 10 – Fluxograma do processo de produção do Biodiesel.**



Fonte: Delatorre (2011).

O cenário do biodiesel tem se mostrado cada vez mais promissor tanto no Brasil quanto no mundo. No Brasil, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi instituído em 2004, estabelecendo a obrigatoriedade da adição de biodiesel ao diesel fóssil comercializado no país. A partir de abril de 2023, a mistura aumentou de 10% para 12% e há planos de aumentar para B15 em 2026. O país, em 2022, foi o segundo maior produtor mundial de biodiesel, com uma produção anual que ultrapassa os 6 bilhões de litros. (CNA, 2022).

A nível mundial, a demanda pelo biodiesel tem crescido significativamente, impulsionada por questões ambientais e pela busca por fontes de energia renováveis. De acordo com Forbes (2022), o mundo produziu cerca de 151 milhões de metros cúbicos de biodiesel em 2021 e a expectativa é de que produza ainda mais nos próximos anos. Alguns países, como a Alemanha e a França, têm políticas de incentivo à produção e uso de biocombustíveis, o que tem impulsionado a indústria do biodiesel em escala global. Segundo publicação da Forbes

(2022) , entre 2011 e 2020, os cinco principais produtores de biodiesel foram Estados Unidos, Indonésia, Brasil, China e Alemanha.

Além disso, a diversificação das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel tem permitido a ampliação do mercado e redução dos custos de produção. O desenvolvimento de novas tecnologias também tem contribuído para a eficiência e sustentabilidade do setor. Diante desse cenário, o biodiesel tem se consolidado como uma alternativa importante na matriz energética mundial, podendo contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a transição para uma economia de baixo carbono. (BNDES, 2021)

### 2.2.2 ETANOL

O etanol é um biocombustível obtido a partir da fermentação de açúcares presentes em matérias-primas como a cana-de-açúcar, milho, beterraba, entre outras. É considerado uma fonte renovável de energia e uma alternativa aos combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel, devido à sua menor emissão de gases poluentes. O etanol é amplamente utilizado como combustível para veículos em todo o mundo, com destaque para países como o Brasil, que é um dos maiores produtores e consumidores do mundo. Além disso, também é utilizado na produção de produtos químicos, farmacêuticos e de cosméticos. Estima-se que uma tonelada de cana é capaz de gerar oitenta litros de etanol de 1ª geração. (RAIZEN, 2022)

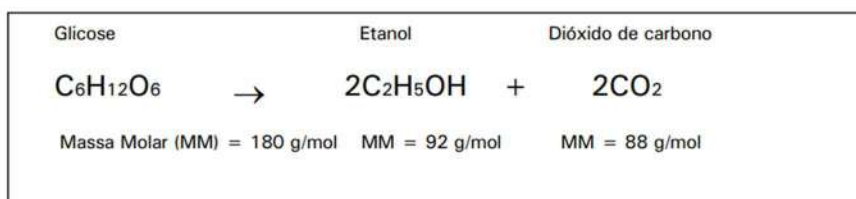
**Figura 11 – Frasco contendo Etanol puro.**



Fonte: SBM (2015).

A principal reação química envolvida na produção de etanol é a fermentação alcoólica. A fermentação alcoólica é um processo bioquímico no qual os açúcares são convertidos em etanol e dióxido de carbono por meio da ação de leveduras. (GÓES-FAVONI *et al*, 2018)

**Figura 12 – Reação de produção de Etanol.**



Fonte: Ilha *et al* (2008).

O fluxograma do principal processo de produção de etanol envolve as seguintes etapas:

- Moagem: A matéria-prima é moída para expor os açúcares ou amidos presentes nela.
- Fermentação: Os açúcares ou amidos fermentáveis são misturados com leveduras selecionadas, que convertem os açúcares em etanol e dióxido de carbono através do processo de fermentação.
- Destilação: O líquido fermentado é destilado para separar o etanol da água e outros compostos presentes. Esse processo é realizado em colunas de destilação.
- Desidratação: O etanol obtido da destilação ainda contém uma certa quantidade de água, que é removida por processos de desidratação, como a destilação azeotrópica ou a utilização de peneiras moleculares, resultando no etanol anidro.
- Armazenamento e distribuição: O etanol purificado é armazenado e distribuído para uso como biocombustível, aditivo de gasolina ou para outras finalidades.

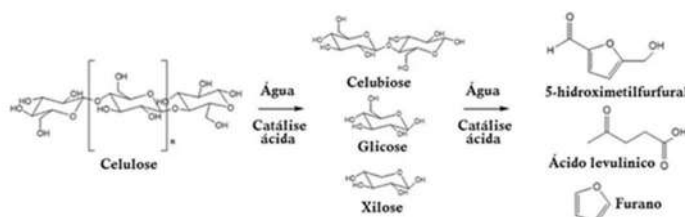
**Figura 13 – Processo de produção de Etanol.**



Fonte: Raízen (2022).

As microalgas podem ser utilizadas como uma fonte potencial para a produção de etanol por meio de um processo chamado de bioconversão. Os carboidratos presentes nas microalgas são convertidos em açúcares fermentáveis, como a glicose, por meio de um processo chamado de hidrólise. Esse processo envolve a quebra dos carboidratos em açúcares menores utilizando enzimas ou ácidos. (ASTOLFI, 2011 *apud* PEREIRA, 2010)

**Figura 14 – Exemplo de reação enzimática de Hidrólise ácida da Celulose.**



Fonte: Arantes, (2013).

O Brasil tem uma longa tradição na produção e uso de etanol como combustível. O etanol é amplamente utilizado como alternativa à gasolina, seja na forma de etanol hidratado, que pode ser usado puro em veículos flexfuel, ou como etanol anidro, adicionado à gasolina em uma proporção determinada por lei. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, o etanol anidro é misturado em toda a gasolina comercializada no território nacional na proporção de 27% em volume, sendo esse teor estabelecido pelo Poder Executivo entre 18% e 27,5%. (MME, 2022)

A produção de etanol no país é baseada principalmente na cana-de-açúcar, que é uma cultura abundante e bem adaptada ao clima brasileiro. O setor sucroenergético brasileiro é altamente eficiente e competitivo, com usinas modernas e tecnologias avançadas de produção. Os estados de São Paulo e Paraná são os maiores produtores do país, tendo, respectivamente, 60% e 8% da produção total proveniente de cana-de-açúcar. As maiores empresas do setor são: Raízen, Biosev e Copersucar. (RAÍZEN, 2022). No cenário mundial, o Brasil fica em segundo lugar no ranking de maiores produtores, estando atrás apenas dos Estados Unidos e sendo seguido por União Europeia, China e Índia (RFA, 2022). Nos últimos anos vem avançando também a produção de etanol a partir do amido de milho.

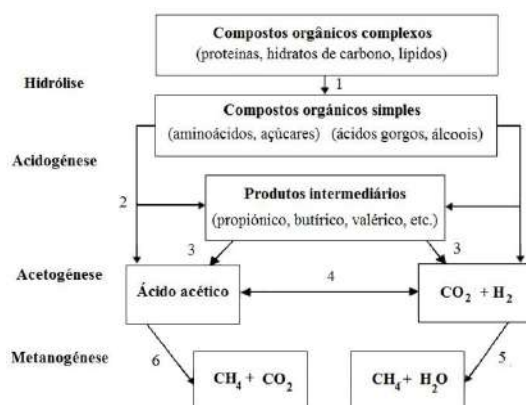
### 2.2.3 BIOGÁS

O biogás é composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mas também pode conter pequenas quantidades de outros gases, como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). O metano é o componente principal do biogás e é responsável pelo seu potencial energético. O biogás pode ser utilizado para diversas finalidades, como a geração de energia térmica e elétrica, aquecimento de água, produção de vapor ou como combustível para veículos. (PETESA, 2018 *apud* BNDES, 2018)

O biogás é produzido através da decomposição de matéria orgânica por meio de um processo chamado digestão anaeróbica. Esse processo ocorre na ausência de oxigênio e é realizado por microrganismos, principalmente bactérias, em um ambiente chamado de biodigestor. Durante a digestão, os microrganismos convertem a matéria orgânica em biogás, liberando metano e dióxido de carbono como subprodutos. (ABAD, 2015)

A matéria orgânica utilizada na produção de biogás pode incluir resíduos de origem vegetal, como restos de alimentos, resíduos agrícolas, esterco animal, lodo de esgoto. As microalgas contêm uma proporção significativa de compostos orgânicos em sua biomassa, como carboidratos, lipídios e proteínas, compostos altamente fermentáveis. Logo, as microalgas são consideradas um substrato ideal para a produção de biogás. (HENRARD, 2013)

**Figura 15 – Processo simplificado da digestão anaeróbia.**



Fonte: Abad, 2015.

A produção de biogás no Brasil está em crescimento, impulsionada por fatores como a busca por fontes de energia renovável, políticas governamentais favoráveis, incentivos fiscais e regulamentações ambientais. O país possui um grande potencial devido à sua vasta base agrícola, agroindústria e geração de resíduos orgânicos. (BNDES, 2018)

De acordo com a CIBiogás, houve um aumento de 16% no número de plantas em operação e 10% no volume de biogás produzido em 2021, em comparação ao ano anterior no Brasil. Os dados levantados pela instituição científica contabilizam a existência de 811 usinas no país, sendo a maior concentração no estado de Minas Gerais. Estima-se que no ano de 2021 as plantas em operação produziram 2,3 bilhões de Nm<sup>3</sup> de biogás. (CIBIOGÁS, 2022)

De acordo com o Portal Energia e Biogás, sete países (Alemanha, EUA, Reino Unido, Itália, China, França e Brasil) possuem 73,8% das plantas de produção de energia elétrica com biogás, no mundo. Conforme os dados apresentados em IRENA (2023), a capacidade instalada no Brasil em 2022 correspondia a 2,27% da capacidade mundial.

#### 2.2.4 BIO-HIDROGÊNIO

O bio-hidrogênio, também conhecido como hidrogênio renovável ou hidrogênio musgo é um tipo de hidrogênio produzido a partir de fontes renováveis, como biomassa, resíduos orgânicos ou microrganismos. É considerado uma fonte de energia limpa e sustentável, pois sua produção não gera emissões líquidas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ou outros poluentes atmosféricos, sendo assim considerado o combustível ecológico do futuro. (EMBRAPA, 2021).

Existem várias formas de produzir bio-hidrogênio, mas uma das principais é através da fermentação anaeróbica da biomassa ou de resíduos orgânicos por bactérias específicas, conhecidas como bactérias fotossintéticas ou fermentativas. Essas bactérias quebram os componentes orgânicos em um ambiente anaeróbico, liberando gás hidrogênio como produto final. (CAMMAROTA, 2014)

As microalgas podem ser utilizadas tanto na produção de hidrogênio por fermentação anaeróbica quanto por biofotólise da água. Na fermentação anaeróbica, as microalgas são cultivadas em condições anaeróbicas, ou seja, na ausência de oxigênio. Nesse processo, as microalgas degradam a biomassa e produzem hidrogênio como subproduto. Já a biofotólise da água é um processo no qual as microalgas utilizam a energia da luz solar para realizar a quebra da molécula de água em hidrogênio e oxigênio. Esse processo ocorre durante a fotossíntese, em que as microalgas capturam a energia solar e a convertem em energia química. (MACHADO, 2016)

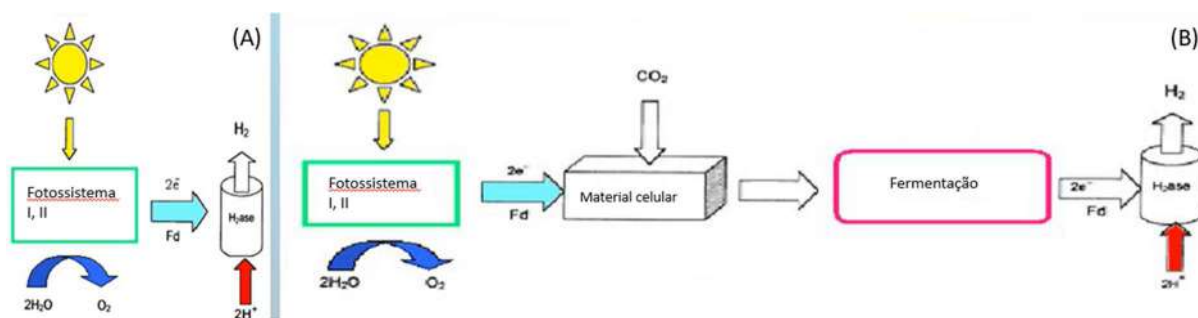
Existem dois métodos clássicos de biofotólise, a direta e a indireta. A biofotólise direta pode ser definida como a dissociação da molécula de água por ação da energia luminosa. O processo ocorre de forma natural durante a fotossíntese em algas verdes, convertendo moléculas de água em gases oxigênio e hidrogênio quando submetidas a condições especiais. Já a



biofotólise indireta tem a separação das etapas de produção de hidrogênio e oxigênio, com as duas fases acontecendo temporalmente separadas.

Assim na biofotólise indireta, o gás carbônico serve como carregador de elétrons entre a reação de quebra da água, que produz oxigênio, e as reações catalisadas pela enzima hidrogenase. Desta maneira, as algas passam por um ciclo de fixação do gás carbônico em carboidratos seguido por sua conversão em hidrogênio. (DIAS, 2017)

Figura 16 – Esquema da biofotólise realizada por algas verdes e cianobactérias.



Fonte: Monteiro *et al*, 2007.

O mercado mundial de bio-hidrogênio está emergindo como uma área de grande potencial e interesse na transição para fontes de energia mais sustentáveis. De acordo com artigo publicado no Globo.com em janeiro de 2023, o consumo de hidrogênio no mundo terá de aumentar pelo menos seis vezes nos próximos 30 anos para que sejam alcançadas as metas globais de descarbonização e o consumo de hidrogênio verde terá de passar das atuais 90 milhões de toneladas/ano para 527 milhões de toneladas/ano a partir de 2050. Um estudo da Carbon Tracker revelou que pelo menos 25 países já se comprometeram a investir cerca de US\$ 73 bilhões em hidrogênio verde em 2022. Aproximadamente 14% desses recursos será oriundo da Alemanha. (FGV, 2023)

A demanda tem crescido impulsionada por diversos fatores, incluindo a busca por alternativas aos combustíveis fósseis, a adoção de políticas de energia renovável e a conscientização ambiental. Países como Alemanha, Japão e Austrália estão investindo significativamente em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de produção com o objetivo de impulsionar sua utilização em setores como transporte, indústria e armazenamento de energia. (CAVALCANTE, 2022).

O panorama do bio-hidrogênio no Brasil ainda está em desenvolvimento, mas o país tem um grande potencial para a produção e utilização dessa forma de energia limpa devido aos seus

recursos naturais abundantes, como biomassa e resíduos orgânicos, que podem ser utilizados como matéria-prima para a sua produção. Existem pesquisas e iniciativas em andamento no país, tanto a partir de resíduos agrícolas e agroindustriais, como também a partir de microalgas e bactérias, além disso, o governo tem demonstrado interesse no desenvolvimento de energias renováveis como parte de suas políticas de redução de emissões de carbono e diversificação da matriz energética. (GLOBO, 2023)

No entanto, é importante ressaltar que o mercado de bio-hidrogênio ainda enfrenta desafios, como o custo de produção, a falta de infraestrutura e a necessidade de escalabilidade para tornar a produção comercialmente viável.

### 3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

#### 3.1 CONCEITO E OBJETIVOS

Prospecção tecnológica é um processo que busca identificar e avaliar tecnologias emergentes, com o objetivo de antecipar tendências e oportunidades de inovação. Ela envolve a pesquisa constante de fontes de informação relevantes, como patentes, publicações científicas e eventos especializados, além do estabelecimento de parcerias com empresas de tecnologia e universidades. Os resultados dessa prática são usados para orientar a tomada de decisões estratégicas, como investimentos em pesquisa e desenvolvimento e lançamento de novos produtos e serviços. Em resumo, a prospecção tecnológica é uma ferramenta importante para a identificação de oportunidades e riscos no mercado, permitindo adaptação e constante evolução. (SEBRAE, 2022). No Brasil, o termo é chamado de “prospecção, estudos do futuro e prospectiva” e internacionalmente *forecast(ing)*, *foresight(ing)* e *future studies*. (DA PAZ, 2021)

De acordo com Da Paz (2021), a prospecção teve seu início no Japão e desde então tem desenvolvido um papel essencial ajudando sociedades e economias a definirem áreas estratégicas para investir a curto prazo. Diferentes autores têm diferentes definições para o termo, abaixo um breve resumo:

**Tabela 4. Comparação entre diferentes definições para Prospecção Tecnológica.**

Autor	Definição
Irvine e Martin (1984)	A prospecção tecnológica é um exercício sistemático voltado para o futuro de longo prazo da ciência, tecnologia e inovação, a fim de tomar decisões políticas atualizadas

<b>Coelho (2003)</b>	A prospecção tecnológica é um conjunto de exercícios de prospecção com foco na capacidade funcional ou no tempo e fazendo previsões para o futuro da tecnologia e levando em consideração condições externas que afetam suas metas estabelecidas. A prospecção auxilia líderes a adotarem posições estratégicas e avaliando-se do ponto de vista evolucionista, garantindo uma vantagem competitiva
<b>Kupfer (2004)</b>	A prospecção tecnológica é uma forma sistemática de mapeamento dos desenvolvimentos tecnológicos e científicos futuros que têm potenciais significativos de influenciar indústrias, a economia ou a sociedade
<b>Tigre (2006)</b>	A prospecção tecnológica envolve uma série de esforços ordenados que analisam um grupo de atores e fatores envolvidos no processo de inovação e criação, considerando as inter-relações e tentando fazer previsões e identificar potenciais, evoluções e quaisquer efeitos da mudança tecnológica. É uma aposta de como a tecnologia irá se comportar no futuro, do ponto de vista de utilização, inovação e aceitação da tecnologia. Além disso, a prospecção carrega um elevado grau de subjetividade estando sujeita à muitos critérios e incertezas, cabendo uma verificação.
<b>SECTES/CEDEPLAR (2009)</b>	A prospecção tecnológica se baseia na visão sistêmica do futuro a longo prazo da ciência, tecnologia, economia e sociedade, com o objetivo de identificar as áreas de pesquisas estratégicas e as tecnologias emergentes que tenham tendência de gerar benefícios sociais e econômicos

---

Fonte: Elaboração Própria baseada em Da Paz (2021) e Guedes (2023)

Segundo Guedes (2023), o principal objetivo da prospecção tecnológica é descrito com referência à identificação de tecnologias emergentes e áreas de pesquisa com maior chance de trazer lucros e melhorias sociais, sendo também utilizada para mapear oportunidades ou ameaças a um segmento do mercado, antecipando e orientando as mudanças do setor, estabelecendo as prioridades e avaliando os possíveis riscos, além de descobrir novas demandas e acompanhar as tendências da economia, sociedade, tecnologia e meio ambiente. Abaixo, os objetivos gerais e específicos da prospecção tecnológica.

**Figura 17 – Objetivos da prospecção tecnológica.**

<b>Objetivo Geral</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar áreas de pesquisa estratégica e as tecnologias genéricas emergentes que têm a propensão de gerar os maiores benefícios econômicos e sociais</li> </ul>
<b>Objetivos Específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar oportunidades ou ameaças futuras segundo as forças que orientam o futuro (desejável e indesejável);</li> <li>• Construir futuros (desejáveis e indesejáveis), antecipando e entendendo o percurso das mudanças;</li> <li>• Subsidiar e orientar o processo de tomada de decisão em ciência, tecnologia e inovação;</li> <li>• Identificar oportunidades e necessidades mais relevantes para a pesquisa futura, estabelecendo prioridades e avaliando impactos possíveis;</li> <li>• Promover a circulação de informação e de conhecimento estratégico para a inovação;</li> <li>• Prospectar os impactos das pesquisas atuais e da política tecnológica;</li> <li>• Descobrir novas demandas sociais, novas possibilidades e novas ideias;</li> <li>• Monitorar seletivamente as áreas econômica, tecnológica e ambiental;</li> </ul>

Fonte: Da Paz, 2021.

Recomenda-se a utilização simultânea de abordagens e práticas prospectivas distintas, pois a combinação e diversidade reduzem as desvantagens e obstáculos inerentes aos exercícios prospectivos em nível individual. Por essa razão, as atividades prospectivas geralmente incorporam uma combinação de métodos quantitativos e qualitativos. (GUEDES, 2023). Esse trabalho combina a pesquisa de artigos científicos e patentes para a prospecção tecnológica.

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 PESQUISA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

A estratégia adotada no trabalho para prospecção tecnológica do mercado a longo prazo foi a de analisar artigos científicos relevantes. Os artigos científicos fornecem insights valiosos sobre as mais recentes pesquisas, descobertas e inovações em diversas áreas tecnológicas. Eles abrangem desde avanços em ciência básica até aplicações práticas de tecnologias emergentes.

Através da revisão sistemática desses artigos, é possível identificar novas abordagens, metodologias e conceitos que podem influenciar significativamente o desenvolvimento tecnológico. Além disso, os artigos científicos também ajudam a compreender as limitações e desafios enfrentados pelas tecnologias em estágio inicial, fornecendo uma visão mais realista sobre seu potencial e possíveis obstáculos a serem superados. Ao combinar a análise de artigos científicos com outras fontes de informação, é possível obter uma visão abrangente e embasada

sobre as direções futuras da tecnologia, permitindo uma prospecção mais precisa e informada. (DE OLIVEIRA, 2012)

De acordo com a Elsevier, a plataforma Scopus é uma das principais ferramentas de pesquisa acadêmica e científica disponíveis atualmente. É reconhecida por sua ampla cobertura, abrangência global e por oferecer acesso a um vasto número de periódicos científicos revisados por pares, conferências, livros e patentes. Ela também possui recursos avançados de pesquisa e análise, permitindo aos usuários explorar e descobrir informações relevantes em seus campos de interesse. Por meio da Scopus, é possível acessar dados atualizados, identificar tendências e acompanhar o progresso da pesquisa em suas áreas de interesse. A plataforma desempenha um papel fundamental no avanço do conhecimento científico e na promoção da colaboração e inovação em diversas áreas do saber.

O interesse mundial pelo tema de biocombustíveis começou a se intensificar no início do século XXI, principalmente a partir do ano 2000. Esse interesse foi impulsionado por vários fatores, incluindo preocupações crescentes com a segurança energética, a dependência de combustíveis fósseis, as mudanças climáticas e a busca por fontes de energia mais limpas e renováveis. Nesse período, governos, instituições de pesquisa, empresas e a sociedade em geral começaram a direcionar mais atenção para os biocombustíveis como alternativas aos combustíveis fósseis. Desde então, o interesse pelos biocombustíveis tem continuado a crescer, com pesquisas e desenvolvimentos constantes. (RAÍZEN, 2021).

Dessa forma, a pesquisa por artigos na plataforma Scopus se deu num período de 2000 a 2023 de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 5. Buscas aplicadas e resultados na plataforma Scopus.**

<b>Busca</b>	<b>Resultado</b>
(TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( biodiesel ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethanol ) OR TITLE-ABS-KEY ( biogas ) OR TITLE-ABS-KEY ( biohydrogen ) OR TITLE-ABS-KEY ( hydrogen ) OR TITLE-ABS-KEY ( biofuel ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )	6.330
( TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( biodiesel ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )	2.936

( TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( ethanol ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )	525
( TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( biogas ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )	573
( TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( hydrogen ) OR TITLE-ABS-KEY ( biohydrogen ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )	848

---

Fonte: Elaboração Própria.

### 3.2.2 PESQUISA DE PATENTES

As patentes são um aspecto essencial do sistema de propriedade intelectual que busca proteger as invenções e assegurar incentivos para a inovação. Uma patente é um direito legal concedido pelo governo a um inventor ou titular da patente, conferindo-lhes o exclusivo direito de utilizar, comercializar e impedir terceiros de produzir, usar ou vender a invenção protegida durante um período determinado. (INPI, 2020)

Uma patente pode ser concedida para diferentes tipos de invenções, desde produtos e processos industriais até métodos de negócio e até mesmo certos tipos de software. No entanto, para obter uma patente, a invenção deve atender a certos critérios, como ser nova, apresentar atividade inventiva e ter aplicação industrial. Além disso, é importante respeitar os prazos, taxas e processos estabelecidos pelas autoridades responsáveis pela concessão de patentes em cada país. (INPI, 2020). As patentes desempenham um papel fundamental na proteção e estímulo à inovação, incentivando a criação de novas tecnologias, promovendo o progresso científico e tecnológico e impulsionando o desenvolvimento econômico. (PASCOALI, 2017)

Existem vários escritórios de patentes em todo o mundo que desempenham um papel crucial na concessão e proteção de direitos de propriedade intelectual. Os principais são: (USP, 2017)

- United States Patent and Trademark Office (USPTO): O USPTO é o escritório de patentes dos Estados Unidos. É um dos maiores e mais influentes escritórios de patentes do mundo, e suas decisões e políticas têm um impacto significativo no campo da propriedade intelectual globalmente.

- European Patent Office (EPO): O EPO é responsável pela concessão de patentes em países membros da Convenção Europeia de Patentes. Ele oferece um procedimento centralizado para a obtenção de patentes em vários países europeus, permitindo que os inventores protejam suas invenções em uma ampla área geográfica.
- Japan Patent Office (JPO): O JPO é o escritório de patentes do Japão e é responsável pela concessão de patentes no país. É conhecido por sua eficiência e qualidade nos exames de patentes.
- State Intellectual Property Office of the People's Republic of China (SIPO): O SIPO é o escritório de patentes da China e desempenha um papel fundamental na concessão e proteção de patentes no país. Com o crescimento acelerado da economia chinesa nas últimas décadas, o SIPO ganhou importância como um dos escritórios de patentes mais ativos e com grande número de solicitações de patentes.
- World Intellectual Property Organization (WIPO): Embora não seja um escritório de patentes específico, a WIPO é uma agência das Nações Unidas responsável por promover a proteção da propriedade intelectual em todo o mundo. No Brasil, é conhecida como Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Ela fornece serviços de registro internacional de patentes, como o sistema PCT.

O sistema PCT (Patent Cooperation Treaty) é um tratado internacional que simplifica o processo de obtenção de proteção de patentes em múltiplos países. Ele permite que os requerentes de patentes solicitem proteção internacional para suas invenções através de um único pedido, em vez de submeter solicitações individuais em cada país desejado. Com o sistema PCT, o requerente pode buscar proteção em até 157 países que são membros do tratado, simplificando e agilizando o processo. (WIPO, 2023)

Existem diferentes tipos de códigos relacionados às patentes que são utilizados para classificá-las e identificá-las. Os dois principais sistemas de códigos utilizados são: (INPI, 2020)

- ICP (International Patent Classification): Sistema de classificação estabelecido pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) e amplamente utilizado em nível internacional. Ele divide as tecnologias em diferentes áreas e subclasses, facilitando a busca e o acesso a documentos de patentes em todo o mundo.
- CPC (Cooperative Patent Classification): Sistema de classificação desenvolvido em cooperação entre o Escritório de Patentes e Marcas dos Estados Unidos (USPTO) e o Escritório Europeu de Patentes (EPO). Ele foi projetado para harmonizar a classificação

de patentes em nível global e é amplamente utilizado em várias jurisdições ao redor do mundo.

Tanto o ICP quanto o CPC desempenham um papel crucial na organização e pesquisa de informações de patentes.

Existem diferentes plataformas disponíveis para a busca de patentes. A Google Patents é uma ferramenta online fornecida pelo Google que permite pesquisar e acessar informações sobre patentes de todo o mundo. Nela, os usuários podem pesquisar por palavras-chave, números de patentes, nomes de inventores, entre outros critérios, para encontrar documentos relevantes. A plataforma oferece recursos avançados de pesquisa, como filtros por data, país e tipo de patente (Solicitadas ou Concedidas), tornando mais fácil refinar os resultados de busca. (GOOGLE, 2023)

A principal diferença entre analisar patentes solicitadas e patentes concedidas reside no estágio do processo de patente em que se encontram. Patentes solicitadas estão em processo de análise e exame, enquanto patentes concedidas já passaram por essa análise e receberam proteção legal. A análise de patentes solicitadas permite identificar tendências tecnológicas, monitorar a concorrência e avaliar a originalidade das invenções, enquanto a análise de patentes concedidas fornece uma visão mais aprofundada da atividade inventiva, identifica tecnologias patenteadas e ajuda a evitar violações de direitos de propriedade intelectual. (MCTI, 2020)

O Google Patents é um valioso recurso para pesquisadores, inventores, profissionais da área de propriedade intelectual e qualquer pessoa interessada em acessar informações de patentes de forma eficiente e abrangente. Esse trabalho fez uso da Google Patents para estudar a evolução entre patentes solicitadas e concedidas ao longo dos anos de 2000 até a atualidade (mesmo período considerado na análise de artigos científicos). A pesquisa na plataforma foi feita de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 6. Buscas aplicadas e resultados na plataforma Google Patents.**

<b>Código de Busca</b>	<b>Patentes Solicitadas</b>	<b>Patentes Concedidas</b>	<b>Total</b>
<b>("biodiesel") (production) ("microalgae" OR "microphytes") after:priority:20000101 type:PATENT</b>	5.810	3.449	9.259



("ethanol") (production) ("microalgae" OR "microphytes") after:priority:20000101 type:PATENT	4.757	2.176	6.933
("biohydrogen" OR "hydrogen") (production) ("microalgae" OR "microphytes") after:priority:20000101 type:PATENT	4.596	2.196	6.792
("biogas") (production) ("microalgae" OR "microphytes") after:priority:20000101 type:PATENT	754	332	1.086

Fonte: Elaboração Própria

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PESQUISA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

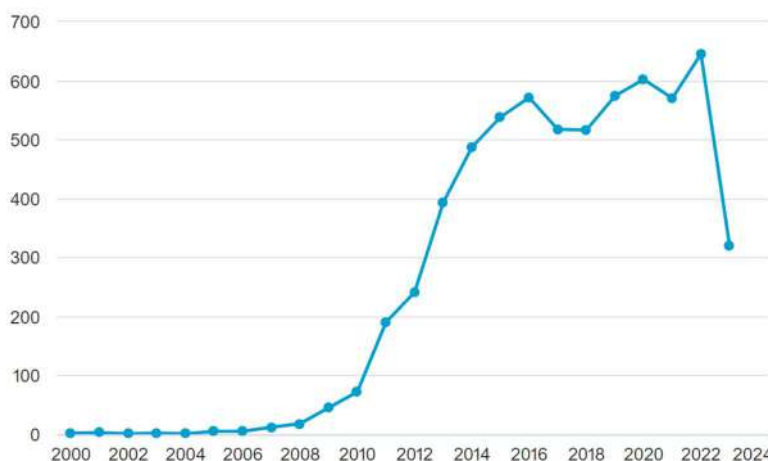
A primeira parte da pesquisa por artigos científicos se deu a partir de uma pesquisa geral e mundial do uso de microalgas para produção dos biocombustíveis citados nos trabalhos. A partir da busca foi possível perceber que o Biodiesel é o biocombustível que tem o maior número de pesquisas, enquanto o etanol, o menor. O código usado para a busca geral na plataforma Scopus foi:

- (TITLE-ABS-KEY ( microalgae ) OR TITLE-ABS-KEY ( microphytes ) AND TITLE-ABS-KEY ( biodiesel ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethanol ) OR TITLE-ABS-KEY ( biogas ) OR TITLE-ABS-KEY ( biohydrogen ) OR TITLE-ABS-KEY ( hydrogen ) OR TITLE-ABS-KEY ( biofuel ) AND TITLE-ABS-KEY ( production ) ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )

É possível observar no gráfico abaixo um aumento significativo das pesquisas sobre o tema dos anos 2000 até a atualidade, concentrado principalmente nos últimos 15 anos. De 2009 até o primeiro pico em 2016, observa-se um aumento de 1169% do número de artigos publicados. O ano com maior número de publicações é 2022, com 645 documentos. Ao levar

em consideração os 6 primeiros meses de 2023, já existem 320 trabalhos, mostrando potencial de atingir o mesmo patamar ou até mesmo ultrapassar o ano de 2022.

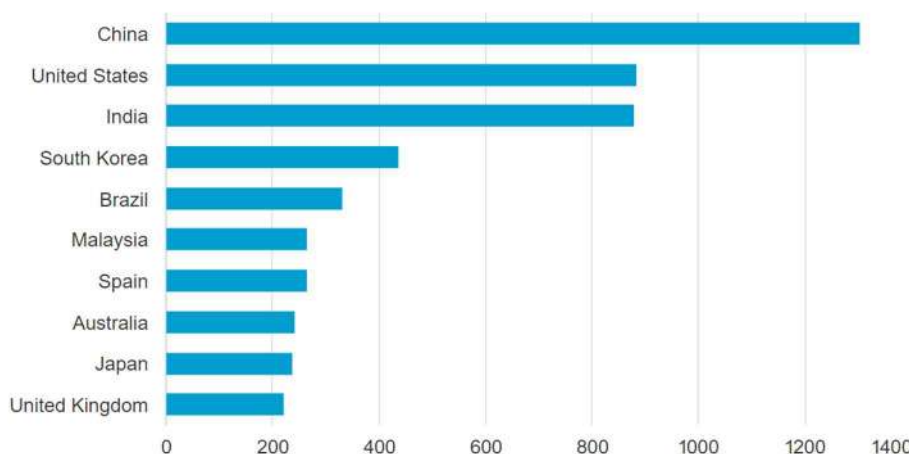
**Figura 18 – Número de publicações por ano no mundo.**



Fonte: Scopus, 2023.

Ao realizar um estudo sobre localidade, com o objetivo de avaliar os países em que o tema selecionado foi publicado, foi gerado o gráfico abaixo:

**Figura 19 – Países com maior número de pesquisas sobre o tema.**



Fonte: Scopus, 2023.

Dessa forma, é possível observar que a China lidera as pesquisas sobre produção de biocombustíveis a partir de microalgas, com 1302 documentos publicados, seguida dos Estados Unidos, com 883 e Índia com 877. O Brasil fica em 5º lugar, com 331 artigos.

Ao analisar as principais áreas nas quais os artigos estão inseridos, chegou-se ao seguinte gráfico:

**Figura 20 – Principais áreas que envolvem as pesquisas sobre o tema no mundo.**



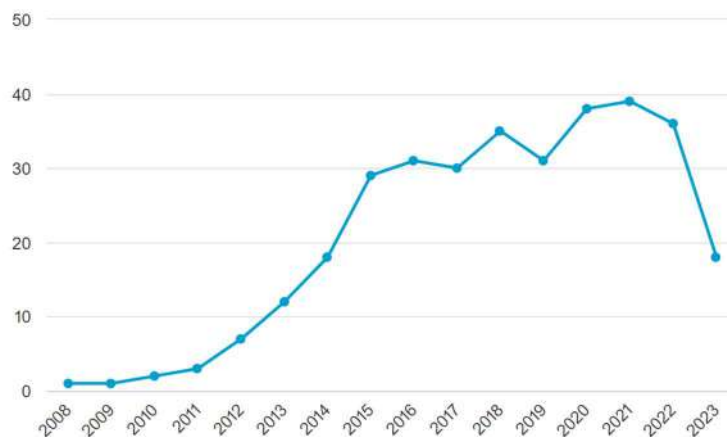
Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

O gráfico mostra que as principais áreas de pesquisa no mundo são Ciência Ambiental, Energia e Engenharia Química, seguidas de Bioquímica Genética e Biologia Molecular e Ciências Agrárias e Biológicas.

A fim de entender melhor o cenário brasileiro, o mesmo código foi utilizado com limitação apenas para o país (Figura 19). Ao contrário do cenário mundial, os estudos sobre o tema no Brasil tiveram início apenas em 2008, mantendo média menor que 10 publicações até 2013. Um aumento expressivo de 158% no número de se deu no período de 2013 até 2016, no qual o país saiu de um patamar de 12 artigos para 31.

O ano de 2022 no Brasil, diferentemente do mundo, apresentou uma queda em relação ao ano anterior, com apenas 36 publicações, 3 a menos que 2021. Até o momento do ano de 2023, já foram publicados 18 trabalhos e espera-se que até o final do ano, pela projeção, seja alcançado ou ultrapassado o patamar de 2022.

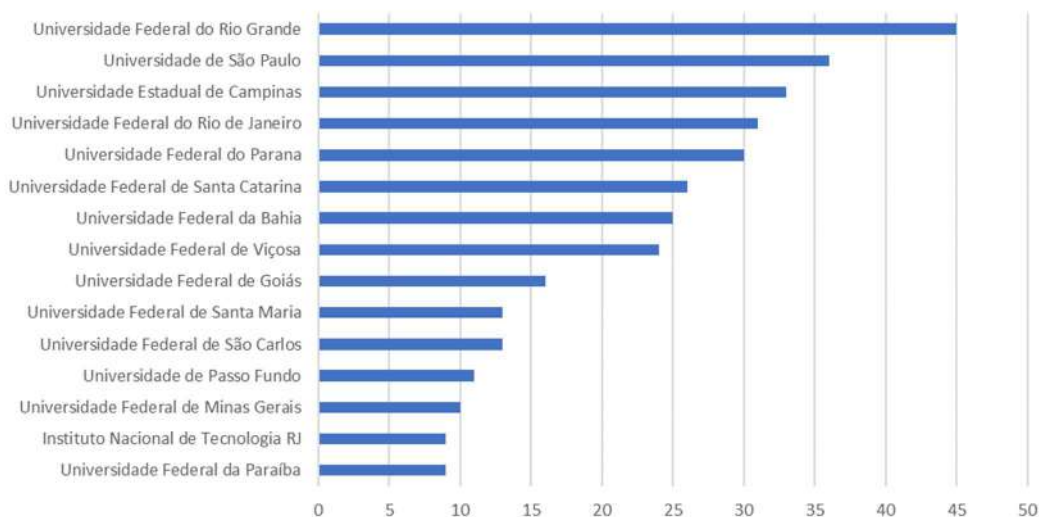
**Figura 21 – Número de publicações por ano no Brasil.**



Fonte: Scopus, 2023.

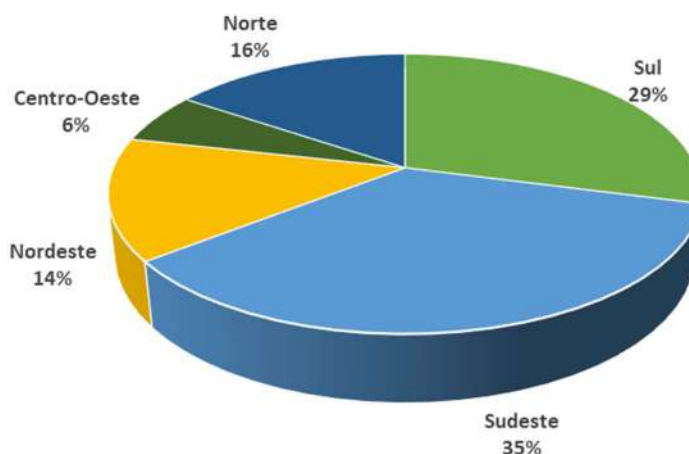
O estudo sobre localidade no território brasileiro foi feito a partir das instituições de origem das publicações. A Figura 21 mostra as 15 principais, sendo elas em sua maioria universidades, enquanto o gráfico na Figura 22 mostra o percentual de trabalhos por região do Brasil utilizando a lista completa da plataforma Scopus. É possível concluir que a Universidade do Rio Grande do Sul apresenta maior número de artigos (45), mas na totalidade, a região Sudeste é a líder nas pesquisas. A UFRJ apresenta 31 publicações e fica em 4º lugar no Brasil, estando atrás apenas da UFRS, da USP e da Unicamp.

**Figura 22 – Número de publicações por universidade no Brasil.**



Fonte: Scopus, 2023.

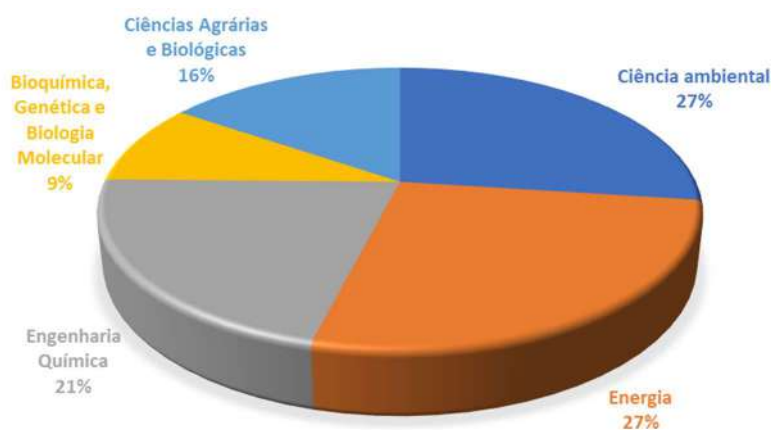
**Figura 23 – Percentual do número de publicações por região do Brasil.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

As áreas de pesquisa no Brasil seguem quase as mesmas tendências do resto do mundo, nas quais as principais são Ciência Ambiental e Energia apresentando o mesmo percentual de 27% e Engenharia Química com 21% do total, seguidas de Bioquímica Genética e Biologia Molecular e Ciências Agrárias e Biológicas que englobam os outros 25%.

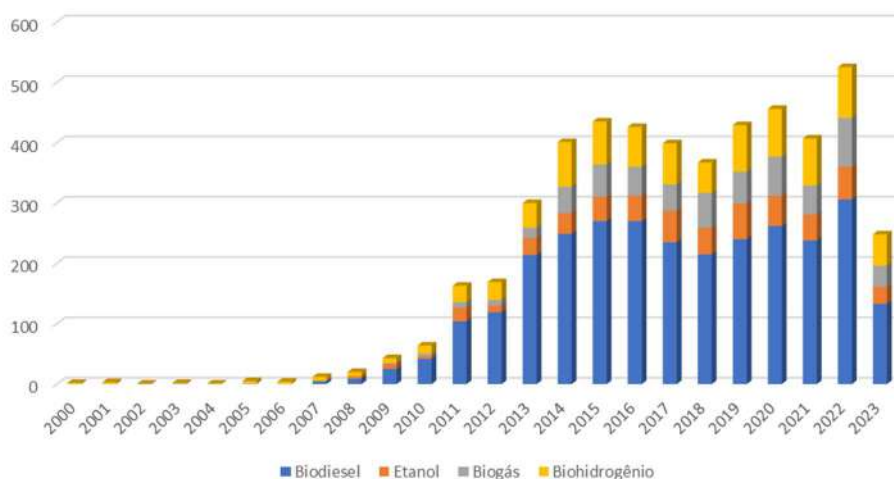
**Figura 24 – Principais áreas que envolvem as pesquisas sobre o tema no Brasil.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

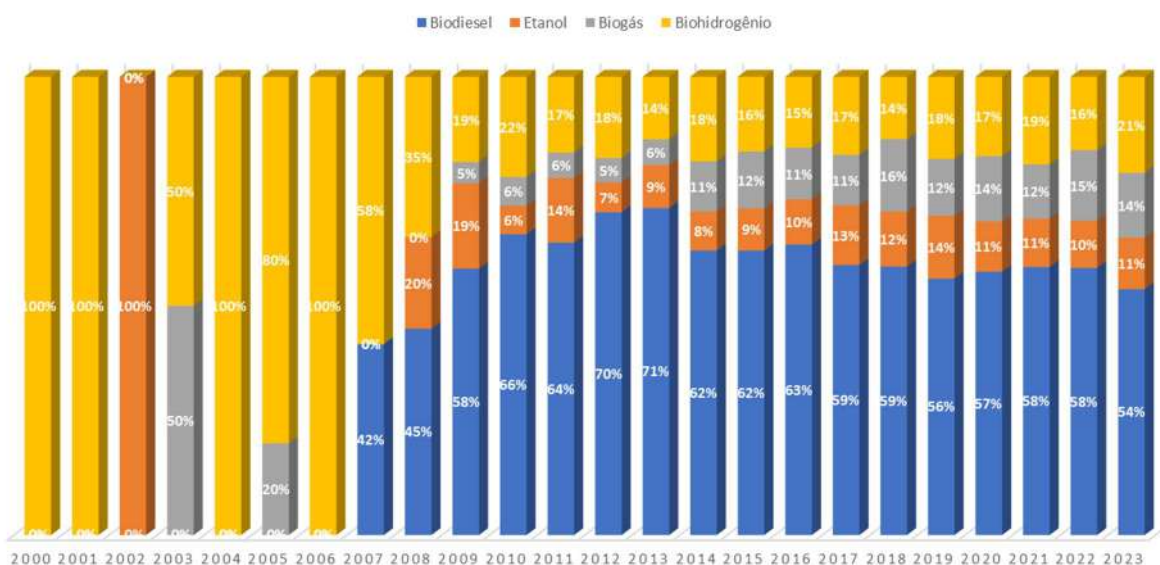
A segunda parte da pesquisa do trabalho teve como objetivo detalhar e especificar a primeira parte do mesmo. Utilizando os outros códigos contidos na Tabela 5 do capítulo 3, foram gerados dados referentes a cada biocombustível descrito no capítulo 2: Biodiesel, Etanol, Biogás e Bio-hidrogênio e esses, foram compilados em gráficos para análise.

**Figura 25 – Número de publicações por biocombustível por ano no mundo.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

**Figura 26 – Representatividade do número de publicações por biocombustível por ano no mundo.**



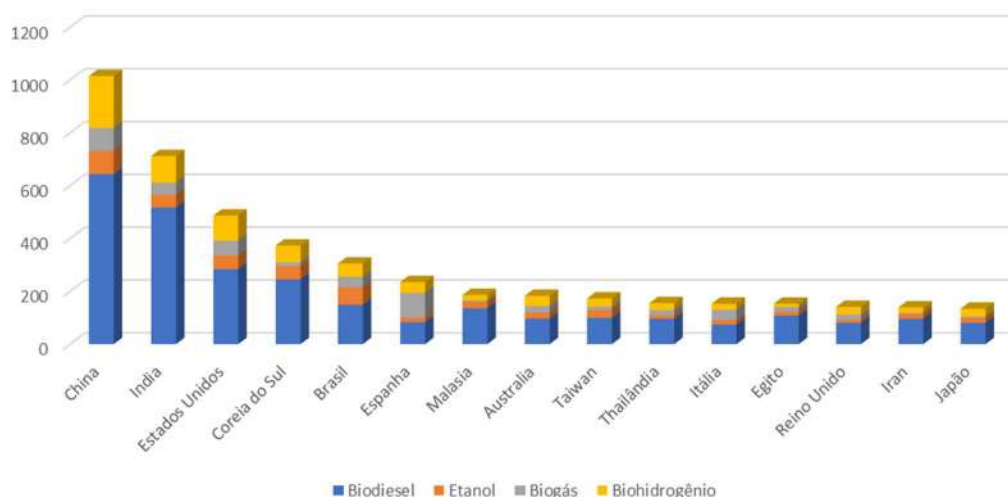
Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

O gráfico da Figura 26 mostra que no período entre os anos 2000 e 2006, as pesquisas com microalgas eram principalmente voltadas para o Bio-Hidrogênio. A partir de 2007 é possível observar o biodiesel ganhando espaço e evoluindo ano a ano até atingir um patamar no qual é o principal biocombustível estudado no mundo quando ligado ao tema das microalgas.

O biogás aparece em pesquisas pontuais em 2003 e 2005 e com recorrência a partir de 2009, mas só ganha importância a partir de 2013. Já o etanol, aparece no ano de 2002 e só retorna em 2008, quando tem seu pico de representatividade. Em 2023, o bio-hidrogênio aparece com mais representatividade quando comparado a anos anteriores, o que pode ser explicado pelo fato de que é considerado o combustível do futuro.

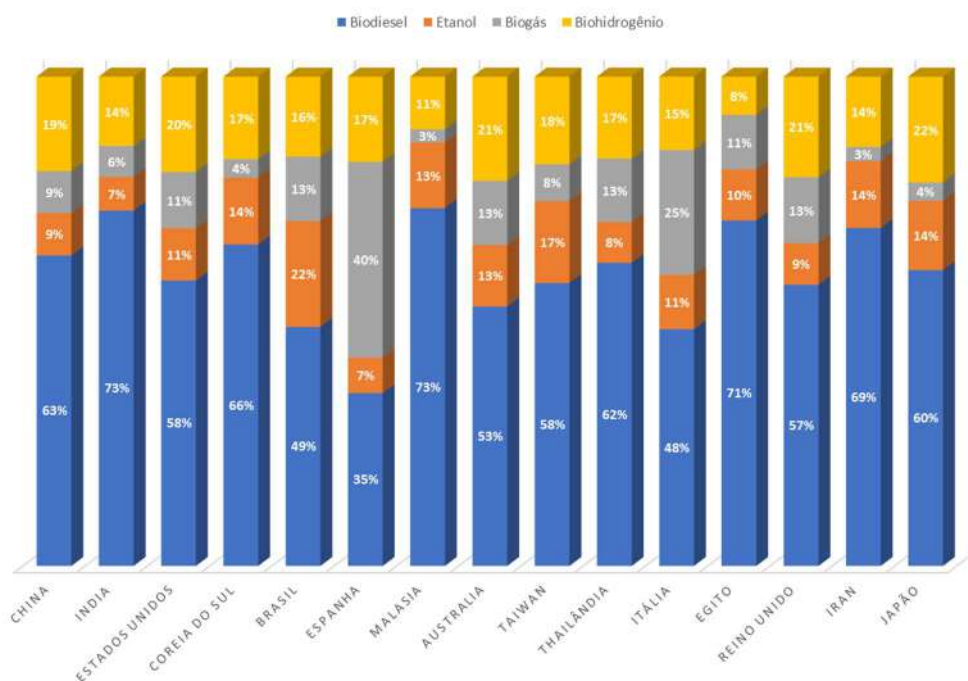
Quanto a localidade, foram reunidos dados referentes aos 15 países com maior número de publicações e foram gerados os seguintes gráficos:

**Figura 27 –Número de publicações por biocombustível por país.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

**Figura 28 – Representatividade do número de publicações por biocombustível por país.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

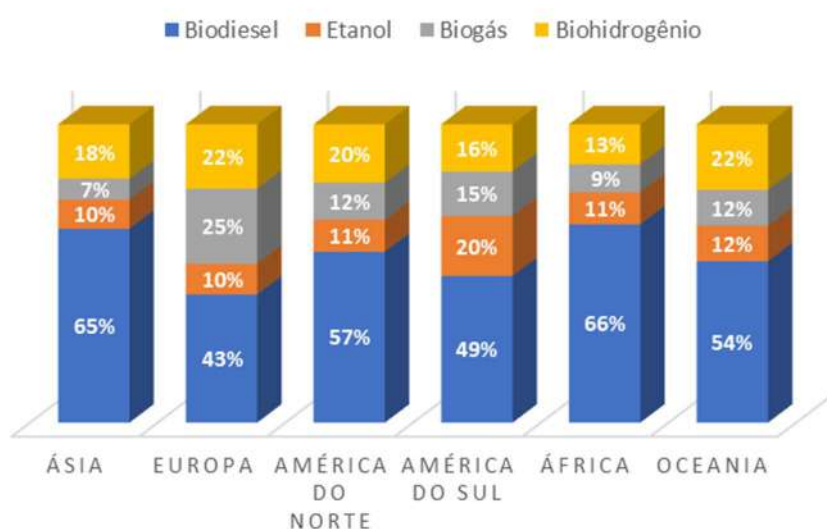
A partir dos gráficos das Figuras 27 e 28, é possível chegar a algumas conclusões:

- Todos os principais países se destacam nas pesquisas relacionadas à produção de Biodiesel.
- O Brasil se destaca nas pesquisas relacionadas ao etanol, com 22% relacionadas ao mesmo, maior percentual quando comparado a outros países.

- A Espanha se destaca no estudo da produção do biogás, com 40% de suas pesquisas relacionadas ao mesmo. Em segundo lugar está a Itália, com 25%.
- O Japão se destaca quando o tema é Bio-Hidrogênio, com 22% das pesquisas, maior percentual quando comparado a outros países. Ele é seguido do Reino Unido e da Austrália, com 21%.

Os resultados foram reunidos também por continente e o seguinte gráfico foi gerado:

**Figura 29 – Representatividade do número de publicações por biocombustível por continente.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

Ao analisar o gráfico da Figura 29, é possível concluir que todos os continentes têm a predominância do Biodiesel em suas pesquisas, porém a Europa se destaca em relação ao Biogás e a América do Sul em relação ao Etanol. O Bio-Hidrogênio não apresenta tanta discrepância no cenário mundial, mas se destaca levemente na Europa e na Oceania.

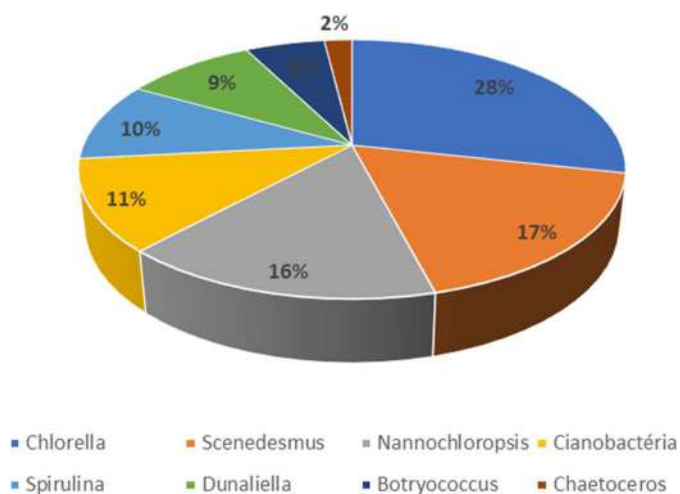
A diferença no investimento entre a Europa no biogás e a América do Sul no etanol pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo as condições geográficas, recursos naturais disponíveis, políticas energéticas e tradições econômicas. De acordo com a European Biogas Association (EBA), o biometano deve ser um dos protagonistas em energias renováveis na Europa nos próximos 30 anos. Estima-se que o gás responda por entre 30% e 40% do consumo da região em 2050. Sendo assim, é natural que a Europa esteja mais focada nele do que outros continentes. (ENGIE, 2022)



Por outro lado, a produção de etanol é uma atividade econômica importante na América do Sul, com uma longa tradição e experiência acumulada, já que ele é mais utilizado como um substituto da gasolina do que em outros continentes. (IPEA, 2010). Dessa forma, é natural que esses biocombustíveis sejam destaque mesmo quando relacionados a microalgas.

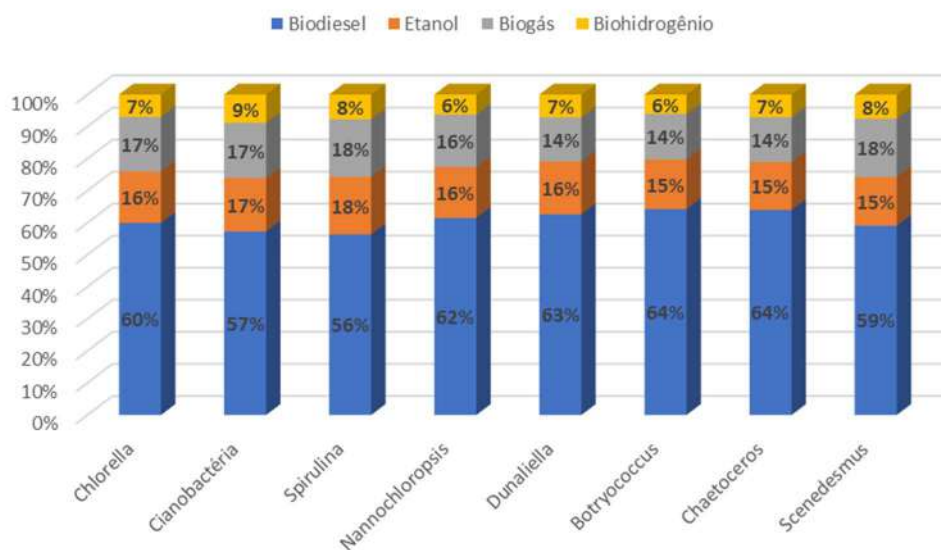
Por fim, as principais microalgas utilizadas nas pesquisas podem ser vistas no gráfico da Figura 30. Percebe-se uma predominância no uso da *Chlorella* (28%), seguida por *Scenedesmus* (17%) e *Nannochloropsis* (16%).

**Figura 30 –Principais microalgas utilizadas na produção de biocombustíveis.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

**Figura 31 –Proporção da utilização de cada microalga para diferentes biocombustíveis.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Scopus, 2023.

A Figura 31 mostra que todas as microalgas são utilizadas em sua maioria para a produção de Biodiesel, porém a Spirulina se destaca para o Etanol e a Scenedesmus para o Biogás.

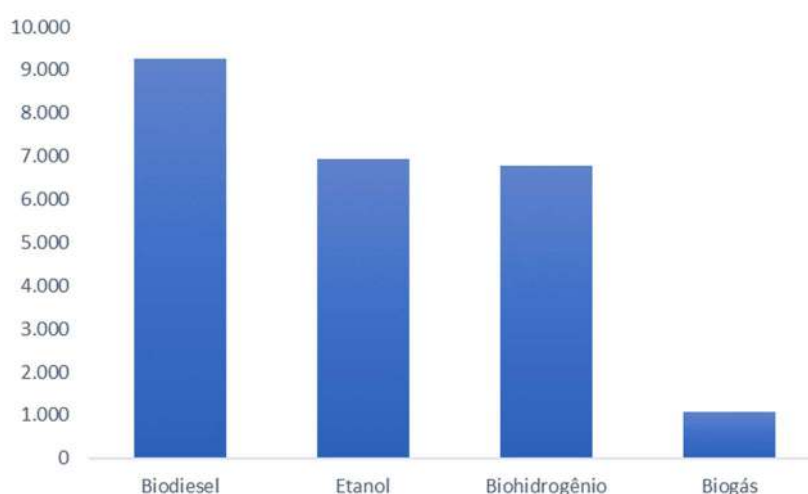
As espécies de microalgas mencionadas são frequentemente estudadas e utilizadas na produção de biocombustíveis devido a algumas características específicas, sendo elas: (DANTAS, 2013)

- Alto teor de lipídios: Essas espécies de microalgas possuem a capacidade de acumular grandes quantidades de lipídios (óleos) em suas células. Os lipídios são uma fonte de energia densa que pode ser extraída e convertida em biocombustíveis.
- Crescimento rápido: Essas microalgas, em geral, têm um rápido crescimento, permitindo a produção em grande escala em curtos períodos de tempo. Isso torna possível obter uma alta produtividade de biomassa em um curto espaço de tempo.
- Eficiência fotossintética: As microalgas têm alta eficiência fotossintética, ou seja, são capazes de converter eficientemente a luz solar em biomassa através da fotossíntese. Isso as torna capazes de produzir grandes quantidades de matéria orgânica usando energia solar como fonte primária.
- Tolerância a condições adversas: Algumas dessas espécies de microalgas, como Nannochloropsis e Dunaliella, são conhecidas por sua capacidade de tolerar condições ambientais extremas, como altas salinidades ou altas temperaturas. Isso pode facilitar o cultivo dessas espécies em diferentes ambientes, incluindo áreas com recursos limitados.

## 4.2 PESQUISA DE PATENTES

A primeira parte da pesquisa por patentes se deu a partir de uma pesquisa geral do uso de microalgas para produção dos biocombustíveis pela plataforma Google Patents. A partir da busca realizada conforme a Tabela 6, observa-se que assim como nas pesquisas por artigos, o Biodiesel é o biocombustível que tem o maior número de patentes, enquanto o Biogás, o menor, conforme Figura 32.

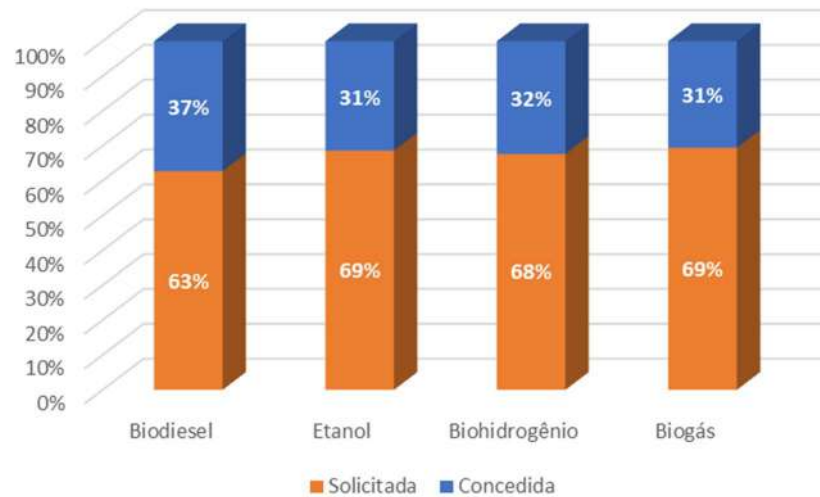
**Figura 32 – Quantidade total de patentes por biocombustível no mundo.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

A proporção entre patentes concedidas e solicitadas por biocombustível pode ser observada na Figura 33. Todos apresentaram praticamente o mesmo peso entre as duas classificações, porém o Biodiesel é o que apresenta maior porcentagem (37%) de patentes concedidas. Isso pode ser explicado por fatores como a maior maturidade de sua tecnologia em comparação a outros biocombustíveis e suas aplicações comerciais bem estabelecidas. Ao longo dos anos, foram realizados avanços significativos no desenvolvimento de processos de transesterificação e estabilização e na produção em escala comercial. (EMBRAPA, 2021). A demanda por biodiesel como alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento nessa área, resultando assim em um maior número de patentes concedidas.

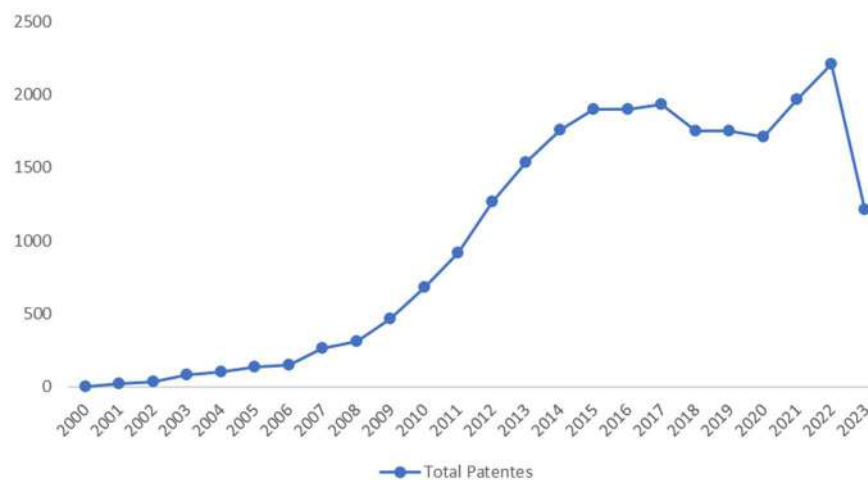
**Figura 33 – Proporção entre patentes concedidas e solicitadas por biocombustível.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

Ao gerar o gráfico de patentes por ano no mundo (Figura 34), foi possível observar que o número de patentes seguiu o mesmo comportamento que o número de artigos gerado nos resultados da seção 4.1, na qual a importância das inovações começa a ganhar força em 2009 até atingir seu maior nível entre os anos de 2016 e 2017, com aumento de aproximadamente 327%. O ano com maior número de patentes é 2022, com 2209 documentos. Ao levar em consideração os primeiros meses de 2023, já existem 1211 solicitações, mostrando também potencial para atingir o mesmo patamar ou até ultrapassar o ano de 2022, assim como observado na prospecção de artigos.

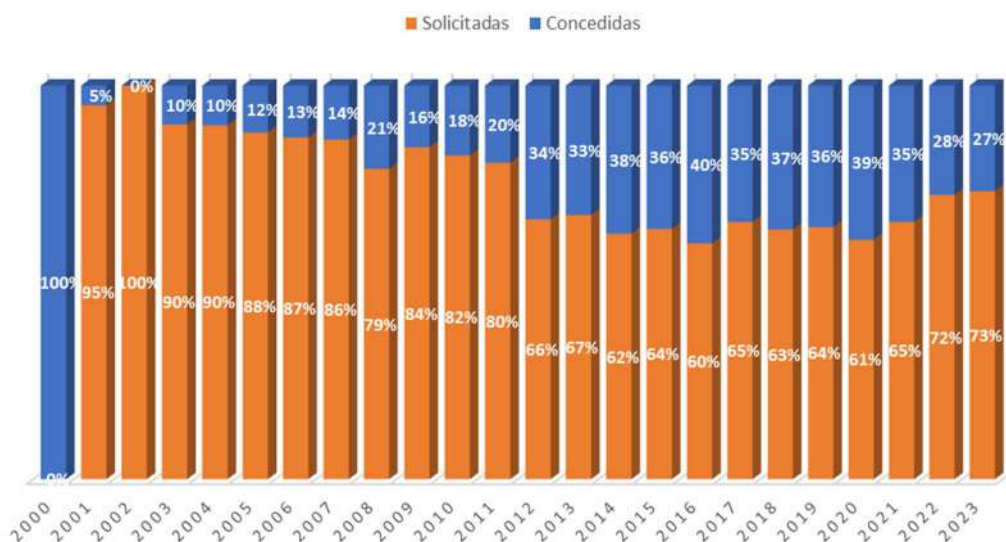
**Figura 34 - Número de patentes por ano no mundo.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

Ao fazer a análise para entender a proporção entre patentes solicitadas e concedidas, gerou-se o seguinte gráfico:

**Figura 35 – Proporção entre patentes concedidas e solicitadas por ano.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

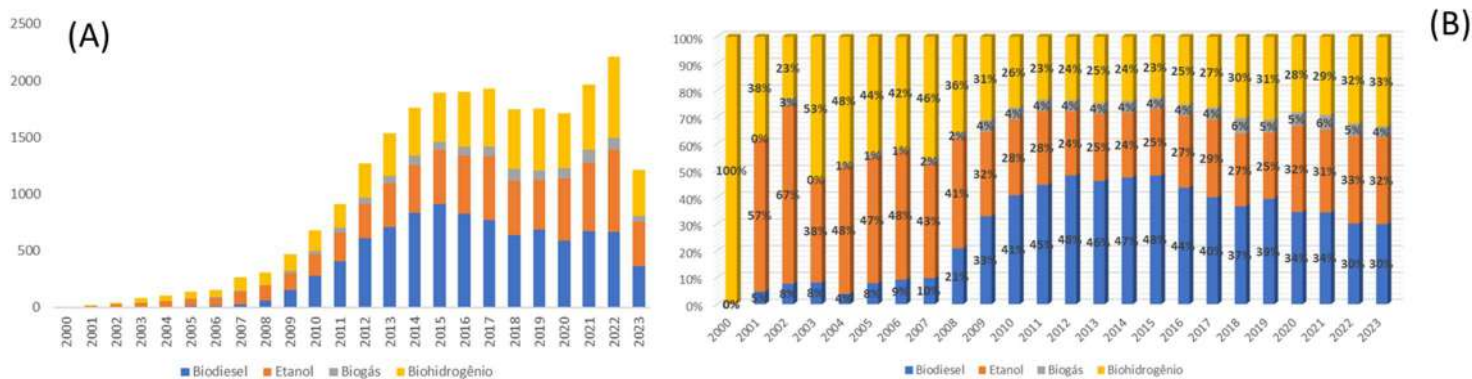
Percebe-se que ocorre um aumento expressivo (14%) da concessão de patentes entre 2011 e 2012. De acordo com a literatura, em 2012, ocorreram mudanças relevantes no cenário de patentes. Nos Estados Unidos, foi implementado o America Invents Act (AIA), uma reforma significativa que introduziu importantes alterações no sistema de concessão de patentes, incluindo a mudança do critério "first-to-invent" para "first-inventor-to-file", alinhando-se com o sistema de prioridade usado em muitos outros países. (USPTO, 2023). Além disso, houve um aumento nas atividades de inovação em países emergentes, como China, Índia e Brasil que começaram a desempenhar um papel mais proeminente no cenário global de patentes. (INOVA, 2013).

A Figura 36-A mostra a quantidade de patentes por biocombustível por ano e a Figura 36-B mostra a proporção de cada um. Assim como na prospecção por artigos, foi possível observar um interesse mundial focado no Bio-hidrogênio entre os anos 2000 e 2007 e um aumento pelo interesse sobre o Biodiesel a partir de 2008. Esse aumento pode ser explicado por fatores como a crise econômica global de 2008, o aumento nos preços do petróleo, mudanças regulatórias e políticas favoráveis, bem como preocupações ambientais e mudanças climáticas, que impulsionaram as pesquisas sobre o mesmo nesse período. (IPEA, 2015)

Observou-se também um leve aumento do interesse pelo Bio-hidrogênio a partir de 2018, atingindo e mantendo o patamar na média de 30%. A utilização do Hidrogênio como vetor energético vem sendo analisada desde a década de 90, quando entrou na pauta de discussões do Protocolo de Quioto para o atendimento da demanda de energia em diversos fatores. (MYTELKA, 2008).

Em 2018, houve avanços significativos na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao Bio-hidrogênio, incluindo desenvolvimento de métodos mais eficientes de produção. Além disso, organizações internacionais, como a Agência Internacional de Energia (AIE) e a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), intensificaram seus esforços para promover o uso do hidrogênio como uma solução energética de baixa emissão de carbono. De acordo com a IRENA, é esperado que até o ano de 2050 o hidrogênio verde tome a posição do petróleo e do gás natural, se tornando o principal recurso energético utilizado e que até 2025, cerca de 6% do consumo final de energia global esteja associado ao hidrogênio verde. (USP, 2022)

**Figura 36 – Distribuição de patentes por biocombustível por ano.**



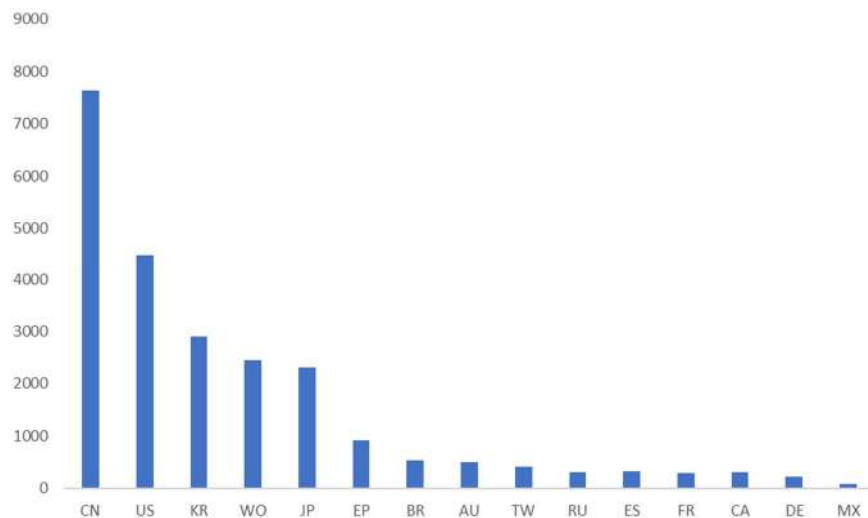
Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

Quanto a localidade, foram reunidos dados referentes aos 15 escritórios de patentes com maior número de solicitações e foi gerado o gráfico da Figura 37, onde observou-se um domínio do escritório CN, referente a China, com quase 8000 publicações. Em segundo lugar temos os Estados Unidos e em terceiro Coreia do Sul. O Brasil fica em sétimo lugar com pouco mais de 500 patentes totais.

O Escritório de Patentes WO (World Intellectual Property Organization, em inglês) é uma agência especializada das Nações Unidas responsável pela promoção e proteção da propriedade intelectual em nível global. O WO administra o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT, na sigla em inglês), que é um sistema internacional de depósito e busca de

patentes. Ele permite que os solicitantes de patentes depositem um único pedido de patente internacional, que é reconhecido em diversos países membros do tratado. Isso simplifica o processo de proteção de patentes em múltiplas jurisdições, permitindo que os solicitantes estendam sua proteção para vários países de uma só vez. (PATENTSCOPE, 2023). Assim, o WO engloba publicações de diversos países do mundo.

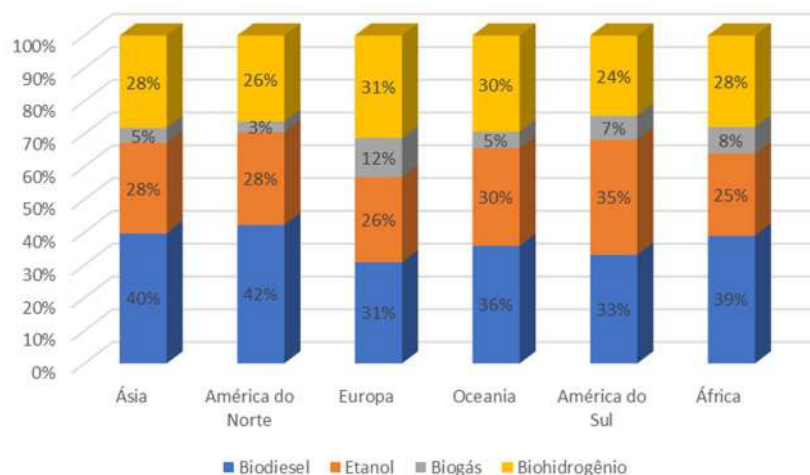
**Figura 37 – Distribuição de solicitações por escritório de patentes.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

A fim de refinar mais a análise, foi realizado um agrupamento por continente. O escritório WO foi desconsiderado, já que ele apresenta aproximadamente 2500 documentos e para descobrir a origem certa seria necessário investigar cada um dos depósitos. Foi então gerado o gráfico da Figura 37. Nele, é possível observar, assim como na prospecção de artigos, que o Biodiesel lidera o mix em todos os continentes, enquanto a América do Sul se destaca em relação ao Etanol e Europa em relação ao Biogás. O Bio-hidrogênio mantém praticamente o mesmo patamar em todo o mundo.

**Figura 38 – Proporção de patentes por biocombustível por continente.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

A plataforma Google Patents, além de tudo, é capaz de fornecer os principais códigos CPC mencionados nas publicações. A definição do código CPC pode ser encontrada no Capítulo 3, seção 3.2.2 desse trabalho. A Tabela 7 mostra a recorrência encontrada na pesquisa.

**Tabela 7 – Recorrência dos principais códigos CPC nas patentes.**

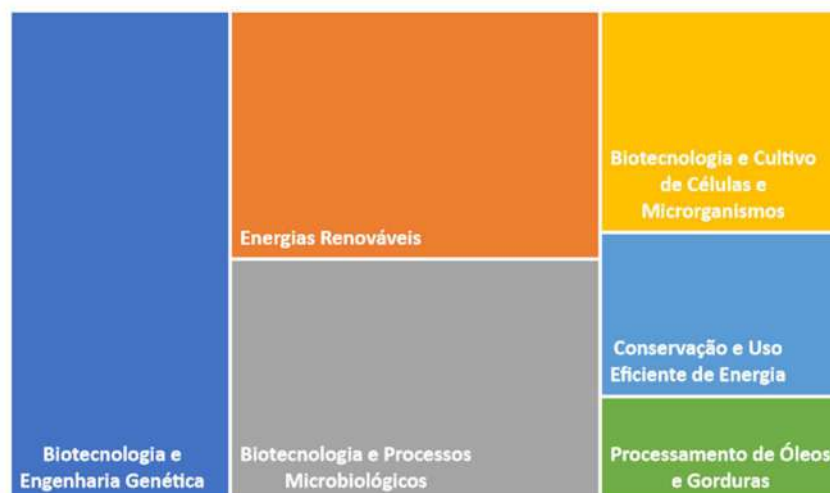
CPC	Recorrência
C12N	48,5%
Y02E	41,3%
C12P	40,2%
C12M	24,5%
Y02P	18,1%
C11B	11,7%

Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

A partir dos códigos CPC, foi possível estabelecer quais as principais áreas citadas nos documentos. A lista com a definição de cada um dos códigos pode ser encontrada no próprio website da Cooperative Patent Classification. Sabendo que o mesmo documento pode ser englobado por mais de um código, o seguinte gráfico foi gerado:

**Figura 39 – Principais áreas citadas nas patentes através do CPC.**



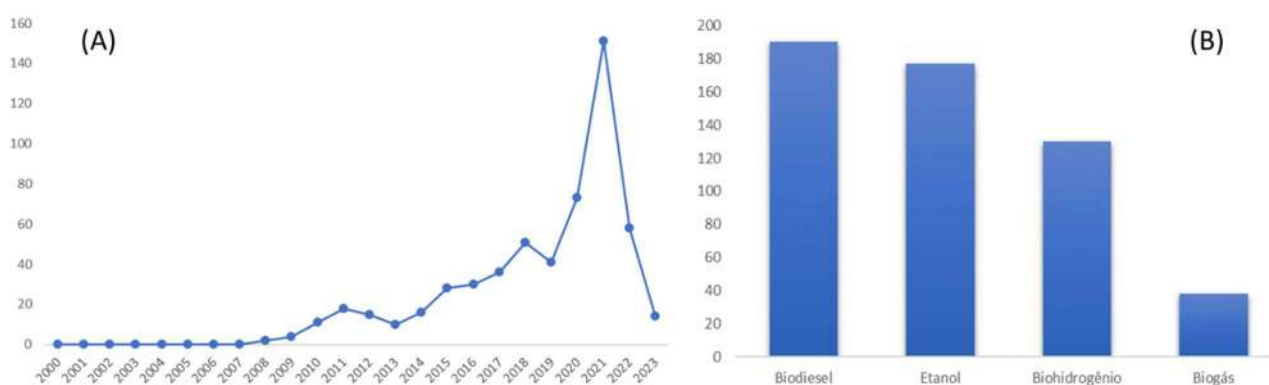


Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents e no CPC, 2023.

A partir da Figura 39, observou-se que as principais área mencionadas são relacionadas a Biotecnologia, Processos Microbiológicos e Energias Renováveis.

O cenário Brasileiro se assemelha ao resto do mundo, seguindo o comportamento de aumento do interesse pelo assunto a partir de 2008 e com pico em 2021 (diferente do resto do mundo que foi 2022). O Biodiesel também é o biocombustível com mais solicitações e concordando com o cenário da América Do Sul, tem-se o Etanol em segundo lugar. As informações foram compiladas na Figura 40-A, com a evolução de publicações por ano e na Figura 40-B, com o número total por biocombustível.

**Figura 40 – Evolução do número de patentes por ano e biocombustível.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

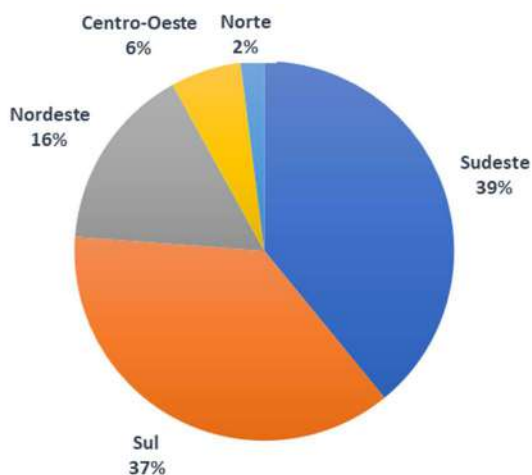
O estudo sobre localidade no território brasileiro foi feito a partir das instituições de origem das publicações. A Figura 41 mostra as 15 principais, sendo elas em sua maioria universidades, enquanto o gráfico da Figura 42 mostra o percentual de trabalhos por região do Brasil. É possível concluir que a Universidade do Paraná apresenta maior número de patentes publicadas, mas na totalidade, a região Sudeste é a líder. A Petrobras tem suas publicações em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e com a Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Figura 41 – Principais instituições de origem das publicações.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

**Figura 42 – Percentual de patentes por região do Brasil.**

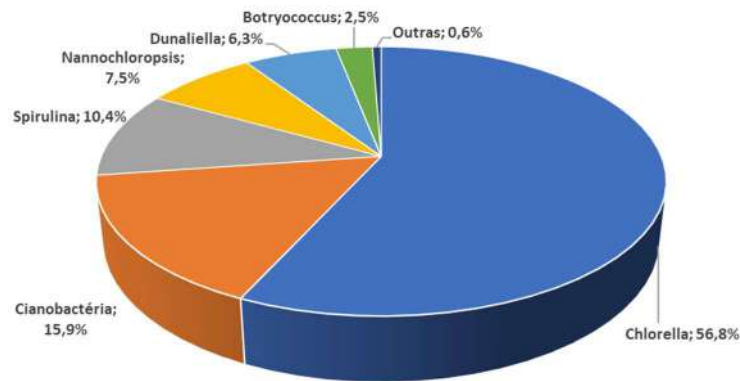


Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023.

A pesquisa por áreas recorrentes através do código CPC gerou o mesmo gráfico que para o cenário mundial, logo, as principais área mencionadas são relacionadas a Biotecnologia, Processos Microbiológicos e Energias Renováveis.

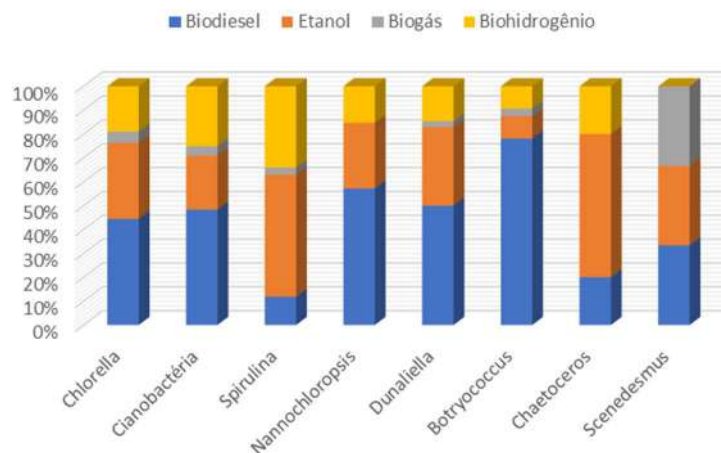
Por fim, foi feita uma pesquisa mais detalhada em relação ao conteúdo de cada publicação, foi possível mapear os principais gêneros de microalgas utilizadas nas patentes (Figuras 43 e 44). Percebe-se que o gênero *Chlorella* fica em evidência, com quase 57% de representatividade, seguidas por outras cianobactérias que tem quase 16%. A *Spirulina* é também uma cianobactéria, mas apresenta destaque entre as outras e tem 10,4% de representatividade.

**Figura 43 – Principais gêneros de microalgas citadas nas patentes.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

**Figura 44 – Principais gêneros de microalgas para cada biocombustível.**



Fonte: Elaboração Própria baseada em pesquisa na Google Patents, 2023

A Figura 44 mostra que a maioria das microalgas é utilizada principalmente para produção de Biodiesel. A Spirulina se destaca na produção de Etanol e Bio-Hidrogênio e a Scenedesmus na produção de Biogás, assim como na pesquisa por artigos.

## 5 CONCLUSÕES

A realização da prospecção tecnológica é de extrema importância para acompanhar e antecipar as tendências e avanços tecnológicos em diferentes áreas. Realizar a prospecção em plataformas diferentes amplia as chances de identificar inovações e oportunidades que podem estar ocorrendo em áreas relacionada, permitindo uma visão mais abrangente e a possibilidade de transferência de conhecimento e aplicação cruzada de tecnologias. Neste trabalho foi realizada a prospecção por artigos na plataforma Scopus e a de patentes pela Google Patents. Os resultados das prospecções seguiram o mesmo comportamento tanto para o cenário mundial quanto para o cenário brasileiro, apenas com algumas pequenas discrepâncias.

Foi possível concluir que o interesse por microalgas como fonte de biocombustíveis começou a surgir nas últimas décadas, mais precisamente na primeira metade dos anos 2000 devido à crise energética e à volatilidade nos preços do petróleo. A dependência excessiva dos combustíveis fósseis e a instabilidade no mercado de energia levaram a uma busca por alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis. Os biocombustíveis foram identificados como uma alternativa promissora e as microalgas surgiram como uma potencial matéria-prima devido às suas características únicas.

Esses organismos possuem uma capacidade excepcional de acumular grandes quantidades de lipídios que podem ser extraídos e convertidos em biocombustíveis. Além disso, as microalgas têm um rápido crescimento e uma alta taxa de fotossíntese, o que significa que podem produzir biomassa em uma escala muito maior do que outras fontes de biomassa, como plantas terrestres. Outra vantagem das microalgas é que elas podem ser cultivadas em uma variedade de ambientes e esse cultivo pode ajudar a purificar águas residuais, atuando como um processo de tratamento ecológico (CASTRO, 2020). As espécies de microalgas mais utilizadas são dos gêneros Chlorella, Nannochloropsis, Botryococcus, Spirulina e Dunaliella.

Tanto o cenário mundial quanto o cenário brasileiro mostram predominância em relação ao Biodiesel e menos relevância em relação ao Biogás. O continente Asiático é líder quando se analisa a quantidade de artigos e patentes e o continente Europeu possui maior foco em Biogás do que os outros, enquanto a América do Sul se destaca para o Etanol. No Brasil, as regiões com mais pesquisas e patentes são Sudeste e Sul.

Quanto ao estudo de patentes, foi possível concluir que houve um aumento do número de concessões a partir de 2012 com a implementação do America Invents Act (AIA) e que o Biodiesel é o biocombustível com maior número de publicações e patentes concedidas, devido a sua maior maturidade tecnológica. Além disso, as principais áreas envolvidas nos documentos são relacionadas a Biotecnologia, Processos Microbiológicos e Energias Renováveis.

Em conclusão, o estudo da produção de biocombustíveis a partir de microalgas é de grande importância devido às suas vantagens significativas. O Biodiesel já é bem desenvolvido em todo o mundo e continua sendo muito pesquisado. O Bio-hidrogênio é o biocombustível com maior potencial de desenvolvimento devido ao seu título de “combustível do futuro” por ser altamente eficiente em termos de densidade energética e podendo ser armazenado e transportado facilmente. Ele vem ganhando espaço nos últimos anos e tende a crescer ainda mais no futuro.

## 6 REFERÊNCIAS

ABAD, Paula Melero. Valorização de resíduos agroindustriais por processos de digestão anaeróbia. Universidade de Coimbra. Julho de 2025. 10.13140/RG.2.2.35695.23201. Disponível em: <[https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/98912/1/TeseFinal\\_PaulaMelero2%20%28Reparado%29%20Final.pdf](https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/98912/1/TeseFinal_PaulaMelero2%20%28Reparado%29%20Final.pdf)>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

ABREU, F. C. P. A versatilidade das microalgas nas aplicações biotecnológicas. Revista Blog do Profissão Biotec, v.8, 2021. Disponível: <<https://profissaobiotec.com.br/a-versatilidade-das-microalgas-nas-aplicacoes-biotecnologicas/>> Acesso em: 05 mar. 2023.

AHMAD, A.L.; Yasin, N.H.M; Derek, C.J.C.; Lim, J.K. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 584-593, 2011.

ALVES, Elton & Inoue, Keles & Borges, Alisson. (2010). Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. 10.13140/RG.2.1.3467.4085.

AMARO, H.M.; Guedes, A.C.; Malcata, F.X. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. Applied Energy, v. 88, p. 3402-3410, 2011.

ANDRADE, Lidiane Maria de. Produção de microalgas e caracterização de sua composição protéica e lipídica via espectrometria de massas. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/T.3.2014.tde-11082015-152508.

ARANTES, Ana Carolina. Dissertação: Heteropoliácidos como catalisadores em reações de hidrólise de celulose. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/642/1/DISSERTAÇÃO\\_Heteropoliácidos%20como%20catalisadores%20em%20reações%20de%20hidrólise%20de%20celulose.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/642/1/DISSERTAÇÃO_Heteropoliácidos%20como%20catalisadores%20em%20reações%20de%20hidrólise%20de%20celulose.pdf). Acesso em: 22 jun. 2023.

ASTOLFI, Angela Luiza. Iastolfinfluência da concentração de substrato microalgal sobre a hidrólise a partir de enzimas amilolíticas. – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: < [https://www.upf.br/\\_uploads/Conteudo/simposio-sial-anais/2018/ciencia/c-54.pdf](https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/simposio-sial-anais/2018/ciencia/c-54.pdf) > Acesso em: 22 jun. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Biodiesel e diesel verde no Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2021. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696\\_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf). Acesso em: 07 mai. 2023.

BARCELLOS, A. D.; BARRETO, A. G. da S. S.; MACHADO, B. A. S.; DRUZIAN, J. I. Microalgas e seu potencial de uso. Cadernos de Prospecção, v. 5, n. 4, p. 178, 2014. DOI:10.9771/cp.v5i4.11461. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/11461>>. Acesso em: 05 mar. 2023.

BICUDO, CEM., and MENEZES, M. Introdução: As algas do Brasil. In: FORZZA, RC., org., et al. INSTITUTO DE PESQUISAS JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. p. 49-60. Vol. 1. ISBN 978-85-8874-242-0. Disponível em: SciELO Books

BIODIESEL - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

CAMMAROTA, M. C. et al; HYDROGEN PRODUCTION BY ANAEROBIC FERMENTATION - GENERAL ASPECTS AND POSSIBILITY OF USING BRAZILIAN AGROINDUSTRIAL WASTES. Química Nova, 2014.

CANAL RURAL. Conselho deve decidir sobre aumento da mistura de biodiesel no diesel; entenda impactos no setor. Canal Rural, 2022. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/mercado-e-cia/conselho-deve-decidir-sobre-aumento-da-mistura-de-biodiesel-no-diesel-entenda-impactos-no-setor/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

CASTRO, A. A.; KONRAD, O.; MARDER, M.; FILHO, M. G. Cultivo de microalgas para tratamento de águas residuais: revisão de literatura. Revista Geama, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 60–71, 2020. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3346>. Acesso em: 2 jul. 2023.

CAVALCANTE, R.; OLIVEIRA, D. PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL. 2022. Disponível em: <[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td\\_2787\\_web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf)>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

CAVALCANTI, Davi de Lima. Potencial biotecnológico de *Chlorella vulgaris*: Aplicação em biocélulas a combustível fotossintética, produção de energia e sequestro de CO<sub>2</sub>. Recife, 2016.

CNA. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA. Mercado em Foco: Combustível. Brasília. 2022. Disponível em: <[https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/files/dtec.mercado-em-foco10.combustivel.vf.30set2022\\_compressed.pdf](https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/files/dtec.mercado-em-foco10.combustivel.vf.30set2022_compressed.pdf)>. Acesso em: 30 março. 2023.

DANTAS, Danielli. Atividades biológicas das preparações obtidas das Clorofíceas *Chlorella vulgaris* e *Scenedesmus subspicatus* Chodat e suas potenciais aplicações biotecnológicas. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13360/1/Tese%20Danielli%20Dantas.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

DA PAZ, Amanda. Mapeamento tecnológico dos métodos de extração de lipídeos de microalgas. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Janeiro de 2021.

DELATORRE, A. B. Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. *Biológicas & Saúde*, v. 1, n. 1, 24 jun. 2011.

DE OLIVEIRA, M. M. M.; QUENTAL, C. M. A prospecção tecnológica como ferramenta de planejamento estratégico para a construção do futuro do Instituto Oswaldo Cruz. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde*, [S. l.], v. 6, n. 1, 2012. DOI: 10.3395/reciis.v6i1.607. Disponível em: <<https://www.reciis.icict.fiocruz.br/index.php/reciis/article/view/607>>. Acesso em: 08 abr. 2023.

DIAS, Fernando Gallego. Modelagem, ajuste e validação experimental do processo de geração de hidrogênio via cultivo de microalgas em fotobiorreatores compactos. Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. 2017.

DINO, Fábio Toshio. Avaliação de desempenho de novo protótipo de fotobiorreator opaco com iluminação interna através de fibras ópticas para cultivo de microalgas. Universidade Federal Do Rio de Janeiro. 2018.

EMBRAPA, Agência de Informação Tecnológica da Embrapa. Biohidrogênio 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/bio-hidrogenio>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

EMBRAPA. Biodiesel. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

EMBRAPA AGROENERGIA. Microalgas. Agroenergia em Revista. 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153095/1/Agroenergia-Revista-microalgas-ed10-red.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2023.

ENGIE. Biometano pode responder por 40% do consumo de gás da Europa. Além da Energia, 2022. Disponível em: <https://www.alemnaenergia.engie.com.br/biometano-pode-responder-por-40-do-consumo-de-gas-da-europa/>. Acesso em: 08 abr. 2023.



FGV. Panorama Internacional e Desafios do Hidrogênio Verde. Portal FGV, 15 abr. 2021. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/artigos/panorama-internacional-desafios-hidrogenio-verde>>. Acesso em: 08 abr. 2023.

FORBES. Dia Internacional do Biodiesel: como o sustentável biocombustível é produzido? Forbes Agro, São Paulo, 10 ago. 2022. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/08/dia-internacional-do-biodiesel-como-o-sustentavel-biocombustivel-e-produzido/>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

GÓES-FAVONI, S. P. DE et al. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 4, p. 285–296, 23 maio 2018.

GUEDES, Luisa Banar. Tendências tecnológicas de produtos de cuidados com o cabelo a partir de um viés sustentável. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2023.

GLOBO. Um Só Planeta. Mercado de R\$ 150 bilhões por ano: Brasil pode liderar produção mundial de hidrogênio verde, aponta estudo internacional. Um Só Planeta, Rio de Janeiro, 20 jan. 2023. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2023/01/20/mercado-de-r-150-bilhoes-por-ano-brasil-pode-liderar-producao-mundial-de-hidrogenio-verde-aponta-estudo-internacional.ghtml>>. Acesso em: 2 fev. 2023.

HENHARD, ADRIANO ARRUDA. Produção e purificação de biogás utilizando microalga spirulina sp. LEB-18. Universidade Federal do Rio Grande. 1 jan. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.furg.br/handle/1/6318>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

ILHA, EUNICE et al. Rendimento e eficiência da fermentação alcoólica na produção de hidromel. 1 jan. 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP-2009-09/56928/1/BP84.pdf>>. Acesso em: 7 maio. 2023.

Inclusão social e desenvolvimento territorial. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mda/biodiesel/arquivos/cartilha-do-programa-nacional-de-producao-e-uso-de-biodiesel-pnpb.pdf>>. Acesso em: 7 maio. 2023.

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Perguntas frequentes sobre patentes. Site do INPI, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/perguntas-frequentes/patentes>. Acesso em: 7 maio. 2023.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Perguntas frequentes - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/perguntas-frequentes/patentes>. Acesso em: 05 mar. 2023.

INVIVO. Cianobactérias: como elas transformaram a vida na Terra?. 2022. Disponível em: <https://www.invivo.fiocruz.br/biodiversidade/cianobacterias/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

INOVA. Agência da Inovação da Unicamp. Crescimento nos depósitos de patentes do Brasil supera o dos países emergentes, mas fica abaixo da média mundial em 2012. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.inova.unicamp.br/2013/04/2393/>. Acesso em: 10 mar. 2023

IPEA. Estudo apresenta perspectivas para etanol e biodiesel. Portal IPEA, 2010. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/4819-estudo-apresenta-perspectivas-para-etanol-e-biodiesel?>

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Renewable capacity statistics 2023. ISBN: 978-92-9260-525-4. Abu Dhabi, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023> Acesso em: 20 de maio de 2023.

KUMAR, Sanjeev et al. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. Trends in Food Science & Technology, v. 42, n. 1, p. 81-89, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926414001088>. Acesso em: 13 maio 2023.

LUCHE, Daniela Ercole Dale. Avaliação da produção de biomassa e clorofila pela microalga *Chlorella minutissima* em presença de fármacos antimicrobianos. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2020.

MACHADO, Rafaela Gonçalves. Investigação da produção de hidrogênio por fotofermentação empregando cultura pura e co-cultura. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.345>

MENDES, Maria Cristina de Queiroz. Coleção de microalgas de ambientes dulciaquícolas naturais da Bahia, Brasil, como potencial fonte para a produção de biocombustíveis: uma abordagem taxonômica. 2012. Universidade Federal da Bahia. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000300019>

MERÇON, Fábio. “O que é uma Gordura Trans?”. Universidade de São Paulo, Química Nova, 2010. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/427823/LOT2007/gorduratrans.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2023

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mda/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>. Acesso em: 07 mai. 2023.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Patentes. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2020. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/Patentes/patentes.html>. Acesso em: 07 mai. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). CNPE passa a ter competência para fixar teor de etanol anidro na gasolina. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-passa-a-ter-competencia-para-fixar-teor-de-etanol-anidro-na-gasolina>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

MONTEIRO, Henrique Carlos; SOUZA, Jairo Zago de; ALMEIDA, Rennan Nascimento de. Produção Biológica de Hidrogênio. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Alimentos, Centro Tecnológico, fevereiro de 2007.

MYTELKA, L., & BOYLE, G. “Making Choices about Hydrogen - Transport issues for developing countries”. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press, 2008.

NASCIMENTO, Tassio & Maciel, Maria & Bertini, Luciana & Rios, Maria. (2020). Avaliação do óleo e biodiesel de soja (*glycine max*) a partir de parâmetros físico-químicos. *Brazilian Journal of Development*. 6. 12685-12694. 10.34117/bjdv6n3-218.

OLIVEIRA, M. M. M. DE; QUENTAL, C. M. A prospecção tecnológica como ferramenta de planejamento estratégico para a construção do futuro do Instituto Oswaldo Cruz. *RECIIS*, v. 6, n. 1, 30 mar. 2012.

ORTENZIO, Ygor Tadeu et al. Cultivo de microalgas utilizando resíduos agroindustriais para a produção de biocombustíveis: perspectivas e desafios. Fatec Piracicaba, 2015.

PAULINO, Larissa Bastos. Purificação do biogás e transferência de dióxido de carbono para suplementação nutricional de culturas algáceas em colunas de transferência de massa gás-líquido. Universidade Federal do Espírito Santo. 2020.

PASCOALI, Marco. Universidade Federal de Santa Catarina. A Importância do Registro de Marcas e Patentes. Disponível em: <<https://via.ufsc.br/a-importancia-do-registro-de-marcas-e-patentes/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

PATENTSCOPE. WIPO. Disponível em: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> />. Acesso em: 25 jun. 2023.

PEREIRA, C. M. P. et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. *Química Nova*, v. 35, p. 2013–2018, 2012.

PEREIRA, Francisco. (2010). *BIOCHEMISTRY IN A CHEMICAL APPROACH* (in portuguese); *BIOQUÍMICA NUMA ABORDAGEM QUÍMICA*. 10.13140/RG.2.2.17251.14889.

PETESA - Projeto de Eficiência Energética e Tecnologias Sociais Aplicadas. Blog Biogás. Disponível em: <https://petesa.eng.ufba.br/blog/biogas>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

PIVA, Rodrigo Barcellos. *Economia Ambiental Sustentável: Os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26107/000755427.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

PRYADARSHANI, Indira and Biswajit Rath. “Commercial and industrial applications of micro algae - A review.” *Environmental Science, Biology*. 2012.

RAÍZEN. *Biocombustíveis: afinal, quais são as suas vantagens?*. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/biocombustiveis>>. Acesso em: 10 jan 2023.

REKTENVALD, Jonas Henrique. *Produção de Biodiesel a partir de microalgas: Uma análise técnica-financeira*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2022. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29543/4/biodieselmicroalgas.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA). *Annual Ethanol Production*. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

RODRIGUES, Thayanya. *Avaliação da produção de biohidrogênio a partir da microalga Chlamydomonas reinhardtii*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2016. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2905/2/Thayanya%20Rodrigues%202016.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

SBM. *Produção de etanol de segunda geração será tema de simpósio durante o XXVIII Congresso Brasileiro de Microbiologia – SBM*. Disponível em: <https://sbmicrobiologia.org.br/producao-de-etanol-de-segunda-geracao-sera-tema-de-simposio-durante-o-xxviii-congresso-brasileiro-de-microbiologia/>>. Acesso em: 14 maio. 2023.

SEBRAE/PR. *Prospecção tecnológica*. Disponível em: <https://sebraepr.com.br/comunidade/artigo/prospeccao-tecnologica>. Acesso em: 13 maio 2023.

SCOPUS. *O maior banco de dados da literatura revisada por pares*. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>>. Acesso em: 20 de maio de 2023

TELES, Valérya Carneiro. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DAS MICROALGAS *Micractinium* sp. e *Chlamydomonas biconvexa* CULTIVADAS EM VINHAÇA E CO<sub>2</sub> PARA APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1044652/1/DissertacaoOrientadorBrunoBrasilValeryaTeles2016.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

USP. Relatório da OMPI revela retrato das atividades de patenteamento no mundo. USP, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.abcd.usp.br/noticias/relatorio-da-ompi-revela-retrato-das-atividades-de-patenteamento-no-mundo/>. Acesso em: 10 maio. 2023.

USP. Série "Energia: Considerado o Combustível do Futuro, Hidrogênio Verde Ganha Espaço". Jornal da USP, Ribeirão Preto, 2022. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-considerado-o-combustivel-do-futuro-hidrogenio-verde-ganha-espaco/>. Acesso em: 10 maio. 2023.

USPTO. U.S. Patent and Trademark Office. America Invents Act (AIA) frequently asked questions. USPTO, 2023. Disponível: <https://www.uspto.gov/patents/laws/america-invents-act-aia/america-invents-act-aia-frequently-asked>. Acesso em: 11 junho. 2023

VIEIRA, G. E. G., Nunes, A. P., Teixeira, L. F., & Colen, A. G. N. (2014). Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. *Revista Liberato*, 15(24), 167–178. Recuperado de <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/319>

VISÃO AGRO. Mudanças no biodiesel do Brasil poderiam restringir sebo e palma e beneficiar soja. *Visão Agro*, São Paulo, data de publicação. Disponível em: <https://visaoagro.com.br/agronegocio/mudancas-no-biodiesel-do-brasil-poderiam-restringir-sebo-e-palma-e-beneficiar-soja/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

ZABED, Hossaim et al. Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 117. 2020. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109503>.

ZENEVICZ, Mara Cristina Picoli. Hidroesterificação enzimática de óleos de soja e de fritura em sistema de ultrassom. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/156524>. Acesso em: 13 maio 2023.

ZORN, Savienne. Obtenção de Lipídeos de Microalgas para Produção de Biodiesel. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019. Disponível em: [https://sites.usp.br/ppgeq/wp-content/uploads/sites/537/2019/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Final\\_Savienne-Zorn.pdf](https://sites.usp.br/ppgeq/wp-content/uploads/sites/537/2019/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Final_Savienne-Zorn.pdf). Acesso em: 13 maio 2023.