

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA DE QUÍMICA

**Raquel Kroger Cereja da Silva**



ESTUDO TECNOLÓGICO DA SÍNTESE DE FISCHER TROPSCH

RIO DE JANEIRO

2023

Raquel Kroger Cereja da Silva

## ESTUDO TECNOLÓGICO DA SÍNTESE DE FISCHER TROPSCH

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  
Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães

Rio de Janeiro

2023

Gerar a página da ficha catalográfica em <http://fichacatalografica.sibi.ufrj.br/> e substituir esta página por ela, no documento final.

Se o documento vier a ser impresso, esta página deverá ser impressa no verso da anterior (folha de rosto).

Raquel Kroger Cereja da Silva

## ESTUDO TECNOLÓGICO DA SÍNTESE DE FISCHER TROPSCH

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 20 de dezembro de 2023.

---

Yordanka Reyes Cruz

---

Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães

---

Carla Reis de Araújo

---

Carolina Vieiras Viêgas

Rio de Janeiro  
2023

## RESUMO

KROGER CEREJA DA SILVA, Raquel. **Estudo Tecnológico Da Síntese De Fischer Tropsch**. 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.

O esgotamento dos combustíveis fósseis, a crescente demanda mundial na indústria de commodities químicas e a necessidade de reduzir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera estimulam o desenvolvimento de processos alternativos para a conversão de energia. Nesse sentido, a conversão termocatalítica de monóxido de carbono em hidrocarbonetos de maior valor agregado através da síntese de Fischer-Tropsch (SFT) vem sendo motivo de estudo. O presente trabalho concentra-se em desenvolver uma revisão bibliográfica da FTS visando a produção de biocombustíveis drop-in a partir da biomassa. Para tanto, foi realizada uma análise dos artigos publicados na base de dados científicos Scopus a partir do ano 2003, para se obter um panorama de desenvolvimento da reação. As áreas de estudo investigadas na pesquisa consistiram nos catalisadores e reatores empregados, assim como o produto formado e as condições reacionais. Os dados analisados mostram um crescente interesse pelo processo ao longo dos anos, embora rotas químicas mais tradicionais da síntese ainda permanecerem como sendo o principal foco de pesquisa. Tecnologias mais recentes, como a rota biomass to liquid e o emprego de catalisadores nanoestruturados e bimetálicos apresentaram potencial de desenvolvimento. Ademais, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) regulamentou a Síntese de Bioquerosene e de Diesel verde a partir da rota de Fischer-Tropsch. Sendo assim, apesar do panorama atual revelar que certas tecnologias já estão consolidadas, como o emprego dos catalisadores a base de ferro e de cobalto, é interessante realizar um mapeamento tecnológico da SFT, pois ainda há oportunidades de estudo na área.

Palavras-chave: fischer-tropsch; biocombustível; biomassa

## ABSTRACT

KROGER CEREJA DA SILVA, Raquel. **Estudo Tecnológico Da Síntese De Fischer Tropsch**. 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 depletion of fossil fuels, the growing global demand in the chemical commodity industry and the need to reduce the emission of greenhouse gases into the atmosphere stimulate the development of alternative processes for energy conversion. In this sense, the thermocatalytic conversion of carbon monoxide into hydrocarbons with higher added value through Fischer-Tropsch synthesis (FTS) has been a subject of study (TAVARES, et. al., 2022). The present work focuses on developing a bibliographical review of the FTS aiming at the production of drop-in biofuels from biomass. To this end, an analysis of articles published in the scientific database Scopus from 2003 onwards was carried out, to obtain an overview of the development of the reaction. The study areas investigated in the research consisted of the catalysts and reactors used, as well as the product formed and the reaction conditions. The data analyzed shows a growing interest in the process over the years, although more traditional chemical routes of synthesis still remain the main focus of research. More recent technologies, such as the biomass to liquid (BTL) route and the use of nanostructured and bimetallic catalysts, showed potential for development (DE OLIVEIRA, 2022). Furthermore, the National Petroleum Agency (ANP) regulated the Synthesis of Biokerosene and green Diesel using the Fischer-Tropsch (FT) route. Therefore, despite the current panorama revealing that certain technologies are already consolidated, such as the use of iron and cobalt-based catalysts, it is interesting to carry out a technological mapping of FTS, as there are still opportunities for study in the area.

Keywords: Fischer-Tropsch 1. Biofuel 2. Biomass 3.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Emissões globais de CO <sub>2</sub> provenientes da combustão de energia e de processos industriais e sua variação anual, 1900-2022.....	13
Figura 2 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2021 (GtCO <sub>2</sub> e).....	13
Figura 3 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades dos setores de energia.....	14
Figura 4 – Consumo de combustíveis na atividade de transporte.....	15
Figura 5 – Evolução da intensidade de carbono (gCO <sub>2</sub> e/MJ) dos energéticos no setor de transporte.....	16
Figura 6 – Ciclo de carbono dos combustíveis de origem fóssil e dos biocombustíveis.....	16
Figura 7 – Esquema das principais reações e matérias primas para a produção do gás de síntese.....	18
Figura 8 – Esquemático da reação de reforma a vapor.....	20
Figura 9 – Esquemático da reação de reforma a seco.....	22
Figura 10 – Esquemático da reação de gaseificação.....	26
Figura 11 – Esquema simplificado da síntese de Fischer Tropsch.....	27
Figura 12 – Principais reações da síntese Fischer-Tropsch.....	27
Figura 13 – Mecanismo da síntese Fischer-Tropsch na superfície de um catalisador.....	28
Figura 14 – Modelo de operação do Fundo Setorial de Petróleo e Gás natural (CTPETRO).....	30
Figura 15 – Distribuição por país dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.....	34
Figura 16 – Distribuição temporal dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.....	35
Figura 17 - Distribuição por instituição dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.....	36
Figura 18 - Distribuição das faixas de temperatura da Síntese de FT.....	37
Figura 19 - Distribuição das faixas de pressão da Síntese de FT.....	38
Figura 20 - Distribuição dos catalisadores da Síntese de FT.....	39
Figura 21 - Distribuição dos produtos da Síntese de FT.....	40
Figura 22 - Distribuição das matérias primas da Síntese de FT.....	41
Figura 23 - Distribuição dos tipos de reatores da Síntese de FT.....	42
Figura 24 - Distribuição da razão de H <sub>2</sub> /CO da Síntese de FT.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de Carbono Equivalente
CTL	Coal To Liquid
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FAEE	Fatty Acid Ethyl Esters
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FT	Fischer Tropsch
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito De Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
H <sub>2</sub>	Gás Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Água
HC	Hidrocarbonetos
HTS	High Temperature Shift
IEA	International Energy Agency
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LTS	Low Temperature Shift
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
NH <sub>3</sub>	Amônia
NiO	Óxido de Níquel
PIB	Produto Interno Bruto
QAV	Querosene de Aviação
RANP	Resolução da Agência Nacional de Petróleo
RVC	Relação Vapor/Carbono
SPK-FT	Synthesized Paraffinic Kerosine
SFT	Síntese de Fischer Tropsch

UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>111.1 JUSTIFICATIVA</b>
	11
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
1.3 OBJETIVOS	12
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b>	<b>12</b>
<b>1.3.2 Objetivo Específico</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
2.2 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE	18
<b>2.2.1 REFORMA A VAPOR</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 REFORMA À SECO</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3 REFORMA AUTO TÉRMICA (OU COMBINADA)</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4 GASEIFICAÇÃO</b>	<b>25</b>
2.3 SÍNTESE DE FISCHER-TROPSCH	27
2.4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	30
<b>2.4.1 Artigos Científicos</b>	<b>31</b>
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>33</b>
3.1 MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA	33
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>35</b>
4.1 ANÁLISE POR PAÍS	35
4.2 ANÁLISE TEMPORAL	36
4.3 ANÁLISE POR INSTITUIÇÃO	37
4.4 ANÁLISE DA TEMPERATURA REACIONAL	38
4.5 ANÁLISE DA PRESSÃO REACIONAL	38
4.6 ANÁLISE DO TIPO DE CATALISADOR	39
4.7 ANÁLISE DO TIPO DE PRODUTO	40
4.8 ANÁLISE DO TIPO DE MATÉRIA PRIMA DO GÁS DE SÍNTESE	41
4.9 ANÁLISE DO TIPO DE REATOR DA SÍNTESE DE FISCHER-TROPSCH	42
4.10 ANÁLISE DA RAZÃO H <sub>2</sub> /CO	43
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>45</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A - LISTA DE ARTIGOS</b>	<b>49</b>

**APÊNDICE B - LISTA DE PARÂMETROS DA SÍNTESE DE FISCHER-TROPSCH 55**

60

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Perante as alterações climáticas percebidas e previstas no mundo, sustentabilidade e meio ambiente têm sido alguns dos principais assuntos debatidos desde o fim do século XX (CUNHA, 2014). Dentro desse debate, o aquecimento global se configura como um dos principais desafios ambientais para a sociedade moderna.

Como causa principal para o aumento da temperatura do planeta, encontra-se o aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Atualmente, o uso de combustíveis de origem fósseis é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento no mundo das emissões de GEE (CARVALHO, 2015). Diante disso, a redução do uso dos combustíveis fósseis torna-se necessária.

No setor de transportes o uso de combustíveis fósseis é predominante frente aos de origem renovável. Nas últimas décadas, o óleo diesel e a gasolina, respectivamente, se configuraram como as principais fontes de abastecimento dos meios de transporte brasileiros, apesar de estarem entre os três maiores emissores de CO<sub>2</sub> dentre os energéticos do setor (IEMA, 2023; EPE, 2022).

Os biocombustíveis, por serem menos poluentes do que os combustíveis fósseis, contribuem para uma menor emissão de GEE na atmosfera, em especial o CO<sub>2</sub> (BENTO, 2023). Visto que o diesel é o principal combustível utilizado no Brasil no setor de transporte, é interessante que, a fim de torná-lo menos poluente, uma parcela de biodiesel seja adicionada a ele, conforma previsto pela Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2020).

Por meio da RANP nº 842/2021, foi regulamentada a implementação do diesel verde, ou seja, um biodiesel drop-in, no ciclo do diesel no Brasil (ANP, 2021). Uma vez que a composição química de um combustível drop-in equivale ao de origem fóssil, é possível misturá-lo ao óleo diesel comercial em qualquer proporção (EPE, 2020). Atualmente, uma das rotas de produção autorizadas para a síntese do diesel verde é via processo de Fischer Tropsch, onde o gás de síntese pode ser proveniente da biomassa (ANP, 2021). A ANP, por meio da RANP nº 63/2014, também regulamentou a síntese de bioquerosene pela rota de Fischer Tropsch, visando a sua implementação como querosene de aviação (ANP, 2014, 2021).

A síntese de Fischer Tropsch apresenta diversas vantagens e, diante das novas regulamentações, é interessante estudar os seus parâmetros operacionais para, assim, conseguir ter uma perspectiva das pesquisas já realizadas e das áreas onde ainda é possível inovar. Dessa

forma, o presente trabalho apresenta um estudo no qual se analisa a produção científica em relação à síntese e suas tecnologias.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. É apresentada a seguir uma breve descrição sobre cada capítulo.

CAPÍTULO 1 – Introdução ao tema abordado, organização do texto e objetivos.

CAPÍTULO 2 – Referencial Teórico. Apresenta conceitos e fundamentos teóricos sobre o tema deste trabalho, com informações sobre reforma a vapor, gaseificação, síntese de Fischer Tropsch e prospecção tecnológica.

CAPÍTULO 3 – Metodologia. Aborda a metodologia empregada no desenvolvimento do presente trabalho.

CAPÍTULO 4 – Resultados e discussões. São abordados os resultados do mapeamento tecnológico, com a apresentação de gráficos/tabelas e a sua análise crítica.

CAPÍTULO 5 – Conclusões. Apresenta considerações finais sobre o trabalho.

CAPÍTULO 6 – Referências bibliográficas. Apresenta as fontes de informação utilizadas no trabalho.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 **Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo reunir informações para identificar o grau de desenvolvimento tecnológico da síntese de Fischer Tropsch por meio de análise da produção científica.

### 1.3.2 **Objetivos específicos**

Dentre os objetivos específicos elencam-se os seguintes:

- a) Identificar os parâmetros operacionais da síntese de Fischer Tropsch;
- b) Analisar o panorama atual de pesquisas acerca dos parâmetros operacionais de acordo com os dados obtidos na base de dados Scopus;
- c) Analisar a evolução do cenário científico relacionado com o tema proposto;
- d) Identificar tendências mundiais para síntese de Fischer Tropsch.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

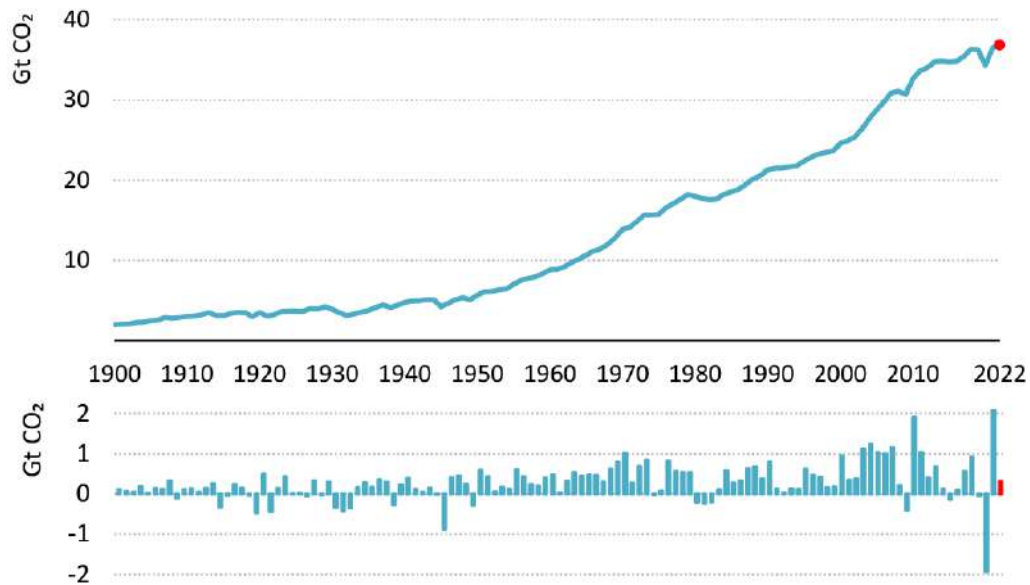
### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As mudanças climáticas e o aquecimento global – os quais são consequências da crescente concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, em especial o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) – tornaram-se pauta da agenda internacional no final do século XX, a partir de publicações científicas que indicavam o aumento da temperatura terrestre. É importante ressaltar que essas variações climáticas não são naturais, e sim devido a atividades antrópicas, em especial ao consumo de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às queimadas (JURAS, 2008). Nos dias atuais, o aquecimento global se configura como um dos principais desafios ambientais para a sociedade moderna (LOUBACK, 2017).

As emissões atmosféricas variam de acordo, entre outros fatores, com o crescimento do produto interno bruto (PIB) e com a densidade populacional dos diferentes países. De acordo com o World Bank (2022), os Estados Unidos (EUA) e a China representam, respectivamente, os dois maiores PIBs do mundo (US\$20.89 trilhões e US\$14.72 trilhões), e são, também, os maiores emissores de GEE, emitindo, no ano de 2021, 11,472.37 MtCO<sub>2</sub>e e 5,007.34 MtCO<sub>2</sub>e (CLIMATE WATCH, 2021). Embora o PIB estadunidense seja maior do que o chinês, a matriz energética intensiva em carvão mineral existente na China faz desse país o maior emissor de CO<sub>2</sub> do mundo (VITAL, 2018).

Na Figura 1 a seguir, observa-se um padrão de crescimento das emissões globais de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de energia e de processos industriais. Essas emissões apresentaram um crescimento de 0,9% (321 Mt CO<sub>2</sub>) em 2022, alcançando um novo máximo histórico de 36,8 Gt. Ademais, é possível perceber um comportamento oscilatório excepcional nas emissões relacionadas a energia nos últimos anos. No ano de 2020, com o advento da pandemia de COVID-19, as emissões diminuíram mais de 5% devido à redução na demanda energética. Já em 2021, houve um crescimento de mais de 6%, levando a um patamar de emissão similar ao período pré pandêmico. Esse crescimento se deve aos estímulos econômicos e à implementação de vacinas em um panorama global (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

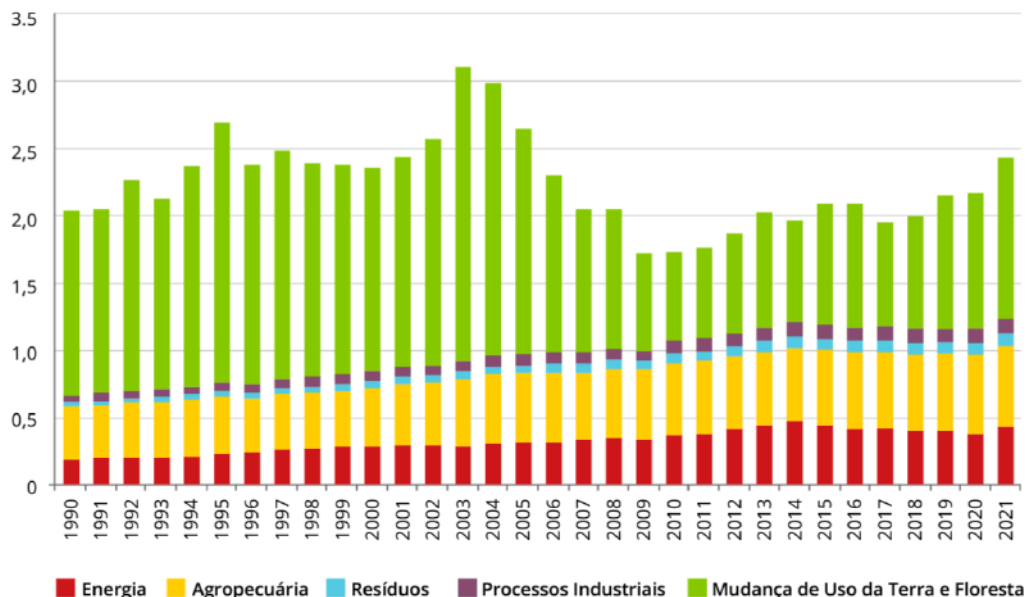
**Figura 1 – Emissões globais de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de energia e de processos industriais e sua variação anual, 1900-2022.**



Fonte: CO<sub>2</sub> Emissions in 2022 - International Energy Agency (IEA).

Analisando o cenário nacional, tem-se que as emissões brutas de GEE no Brasil variaram ao longo dos anos, não seguindo a tendência mundial, como pode ser observado na Figura 2. Apesar disso, o ano de 2021 apresentou um crescimento nas emissões de 12,2% em relação ao ano anterior, emitindo 2,1 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, se configurando como o maior aumento percentual em quase duas décadas. Tal fenômeno pode ser justificado, também, pelo advento da pandemia do COVID-19 em 2020 (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2023).

**Figura 2 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2021 (GtCO<sub>2</sub>e).**

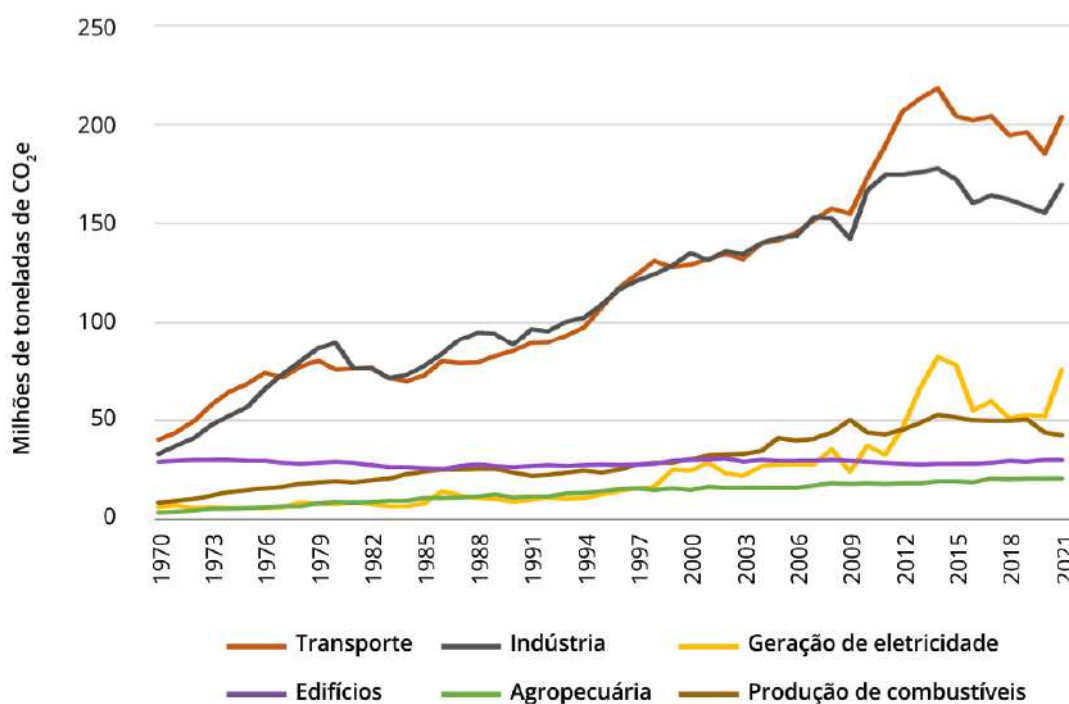


Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), 2023.

Os principais setores brasileiros responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>e são os de energia, resíduos, processos industriais, agropecuária e mudança de uso da terra e floresta, sendo os dois últimos os principais. De acordo com um estudo realizado pela University of York, na Inglaterra (2022), mais de 90% do desmatamento é impulsionado pela agropecuária. Dessa forma, tem-se que atividade agropecuária em sentido amplo corresponde a, aproximadamente, 75% da poluição climática brasileira. Isso se deve, sobretudo, ao crescente aumento do desmatamento, principalmente na Amazônia (IEMA, 2023).

O setor de energia apresenta uma tendência de crescimento ao longo dos anos, representando o terceiro principal emissor no Brasil. As emissões de GEE associadas a ele são originárias da queima de combustíveis em atividades que necessitam de força motriz ou calor, tais como o transporte, a indústria e a geração de eletricidade. As atividades dessa esfera englobam, entre outras, as áreas de transporte, indústria e geração de eletricidade. A Figura 3 a seguir evidencia o aumento nas emissões dessas áreas ao longo dos anos.

**Figura 3 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades dos setores de energia.**

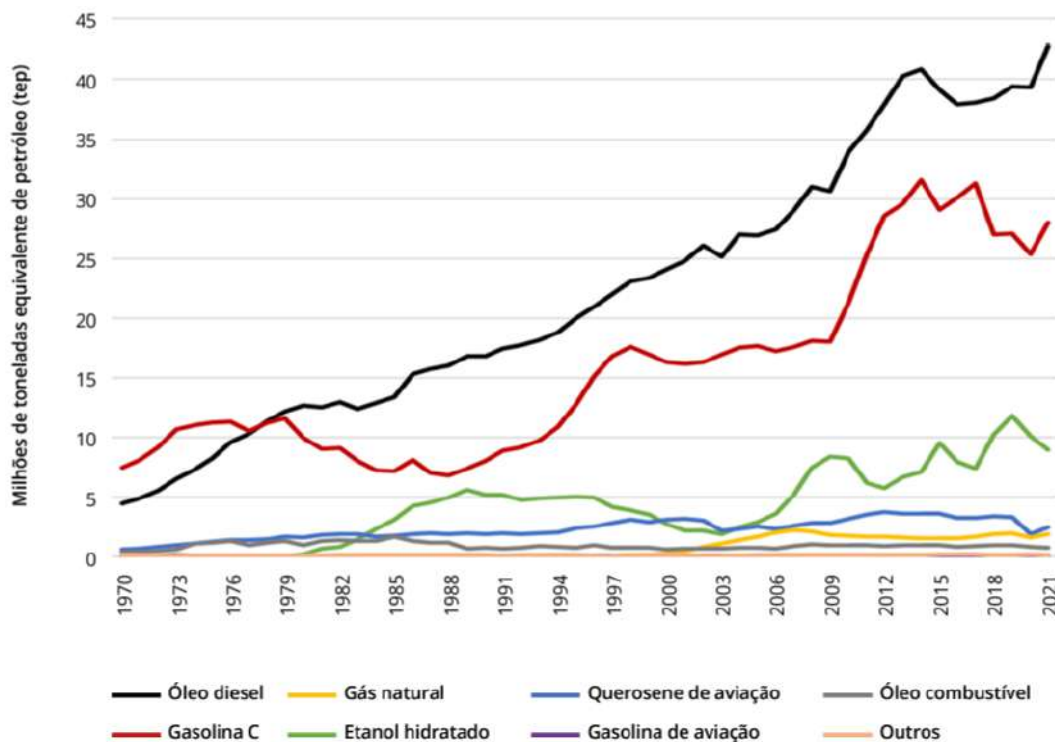


Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), 2023.

Na última década, a atividade de transportes, a qual tinha um padrão de emissão similar ao da indústria, se distanciou, configurando-se, agora, como a maior emissora dentro da área de energia de forma isolada. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), o consumo energético brasileiro é baseado em derivados do petróleo, como o óleo diesel e a gasolina. O recente aumento nas emissões desse setor pode ser justificado por uma ampliação no consumo de diesel e de gasolina, e, paralelamente, por um decréscimo no consumo de etanol

hidratado. A Figura 4 abaixo apresenta a aplicação de diferentes combustíveis no setor de transporte ao longo dos anos.

**Figura 4 – Consumo de combustíveis na atividade de transporte.**

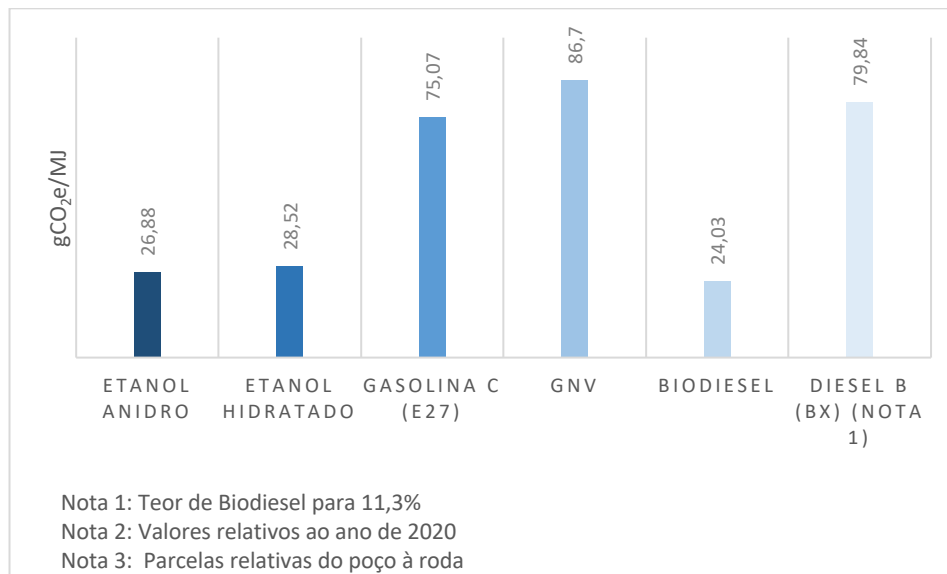


Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), 2023.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2022, 2023), o etanol anidro é misturado em toda a gasolina comercializada no território nacional na proporção de 27% em volume, enquanto o biodiesel é misturado no óleo diesel na proporção de 12%, a qual vai tendo um acréscimo de 1% anualmente até que, em 2026, atinja 15%. O etanol e o biodiesel são considerados os dois principais biocombustíveis líquidos consumidos no Brasil. Tem-se que biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, de maneira parcial ou total, os combustíveis derivados de petróleo e de gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia (ANP, 2020).

O consumo de biocombustíveis contribui para a descarbonização da economia, uma vez que são menos poluentes do que os combustíveis fósseis (BENTO, 2023). Comparativamente, como pode ser observado na Figura 5, o gás natural veicular (GNV), seguido do óleo diesel e da gasolina C, são os combustíveis mais poluentes, enquanto os de origem renovável são menos emissores.

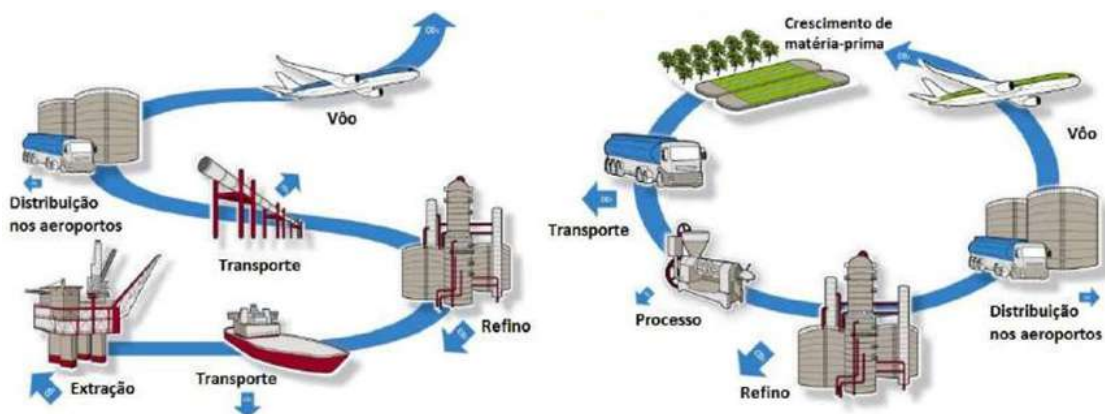
**Figura 5 – Evolução da intensidade de carbono (gCO<sub>2</sub>e/MJ) dos energéticos no setor de transporte.**



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022). Elaboração: Autoria.

Apesar dos biocombustíveis emitirem CO<sub>2</sub>e na descarga de motores a combustão, de acordo com o relatório de Bioenergia do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2012), como o mesmo é produzido a partir de biomassa, pode-se considerá-lo neutro em emissões de CO<sub>2</sub>e nos escapamentos de veículos. A cadeia dos biocombustíveis é cíclica, pois, uma vez que a biomassa utilizada é derivada majoritariamente de origem vegetal, soja e cana de açúcar (EPE, 2022) – o CO<sub>2</sub>e emitido na queima dos combustíveis vai ser capturado pela atmosfera através do processo de fotossíntese, não provocando o aumento da reserva de carbono acumulado no meio ambiente. O mesmo não ocorre com os combustíveis de origem fóssil, cuja origem é o petróleo, pois, depois de refinado e consumido nos veículos, libera uma nova carga nova de CO<sub>2</sub>e, como pode ser observado na Figura 6 a seguir.

**Figura 6 – Ciclo de carbono dos combustíveis de origem fóssil e dos biocombustíveis.**



Fonte: Beginner's guide to Sustainable Aviation Fuel

O biodiesel é sintetizado a partir da reação catalítica entre triglicerídeos e ácidos graxos com álcool, resultando em ésteres metílicos ou etílicos, denominados, respectivamente, de FAME (Fatty Acid Methyl Ester) ou FAEE (Fatty Acid Ethyl Esters) (MA; HANNA, 1999). Entretanto, em 2021, foi regulamentado pela ANP, através da RANP nº 842/2021, a implementação do diesel verde no ciclo do diesel no Brasil (ANP, 2021).

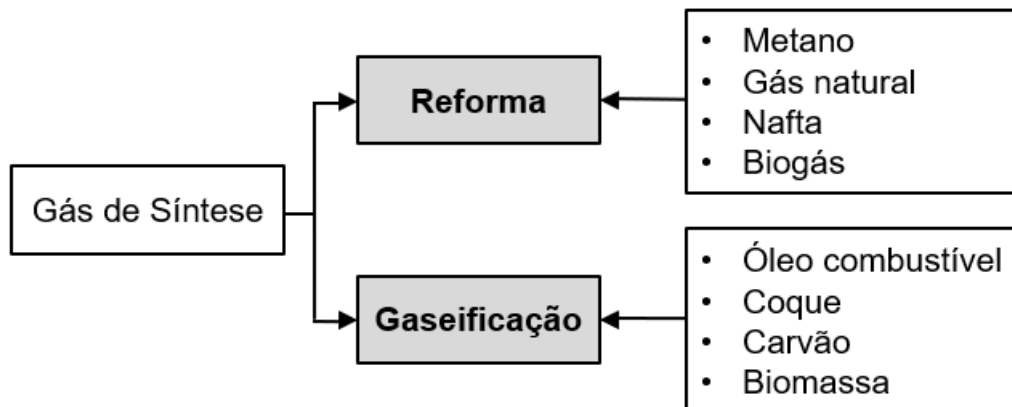
Tem-se que o diesel verde é um combustível renovável drop-in, ou seja, é formado a partir de uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos com a composição química equivalente à do combustível de origem petroquímica, permitindo que seja misturado ao óleo diesel comercializado em qualquer proporção (EPE, 2020). Dentre as rotas de produção, a via processo de Fischer Tropsch, utilizando gás de síntese proveniente da biomassa, é autorizada na regulamentação (ANP, 2021).

Além do diesel verde, a ANP atualizou no mesmo ano, por meio da RANP nº 856/2021, a regulamentação que trata da especificação de qualidade do querosene de aviação (QAV-1), autorizando duas novas rotas de produção do querosene de aviação alternativo, também conhecido como bioquerosene. Em 2014, a ANP, através da RANP nº 63/2014, regulamentou as três primeiras rotas de síntese do bioquerosene, dentre elas, a rota SPK-FT, onde querosene parafínico é sintetizado via hidrocessamento por Fischer-Tropsch. Vale ressaltar que o bioquerosene também é um combustível drop-in (ANP, 2014, 2021).

## 2.2 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE

O gás de síntese, também conhecido como syngas, consiste em uma mistura, em qualquer proporção, de monóxido de carbono e hidrogênio, e pode ser produzido a partir de qualquer material contendo carbono e hidrogênio, como o metano, o óleo combustível e a biomassa, por exemplo. São dois os principais grupos reacionais usados na produção do gás de síntese, a Reforma e a Gaseificação, como é observado na Figura 7 abaixo (WASSERMAN, PLACHTA, 1994).

**Figura 7 – Esquema das principais reações e matérias primas para a produção do gás de síntese.**



Fonte: Aatoria.

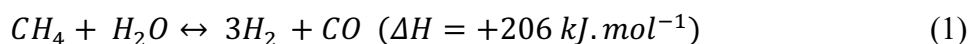
Pode-se produzir o syngas a partir de matérias primas leves e pesadas. No primeiro caso, o gás é sintetizado a partir da reação de reforma, a qual pode ser a vapor, seca ou autotérmica (combinada). Já quando a matéria prima é pesada, a síntese ocorre via gaseificação.

A técnica utilizada na reforma do combustível depende tanto de suas características quanto da célula de combustível que irá consumir os produtos da reforma. Além disso, faz-se necessário realizar o pré-tratamento dos combustíveis a serem reformados a fim de promover a remoção de diversos elementos químicos, como os compostos sulfurados e clorados, para purificar o produto e evitar a contaminação dos catalisadores empregados na reação (SOUZA, A, 2004).

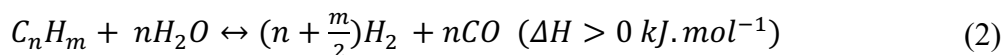
### 2.2.1 Reforma a vapor

A reforma a vapor é a tecnologia mais utilizada na produção de gás de síntese em escala industrial. Sua reação consiste em um processo endotérmico, o qual ocorre em temperaturas entre 500 e 1000°C, e utiliza um catalisador a base de níquel (12 - 25 % NiO) suportado por magnésia/alumina, o qual recebe a adição de pequenas quantidades de metais alcalinos para catalisar a reação de remoção de coque (SOUZA, A, 2004).

Diversas matérias primas podem ser utilizadas no processo de reforma a vapor, como o gás natural, a nafta, o metano e o GLP, por exemplo, sendo o gás natural a mais usual. Vale ressaltar que compostos com um peso molecular maior do que o metano aumentam a tendência à formação de coque (ROSTRUP-NIELSEN, J.R. et al., 2002). A reação principal de conversão do gás natural, o qual é representado pelo metano – seu principal constituinte – é observada na Equação 1.



Outros hidrocarbonetos leves reagem de maneira semelhante ao metano, e a reação é representada na Equação 2 abaixo:

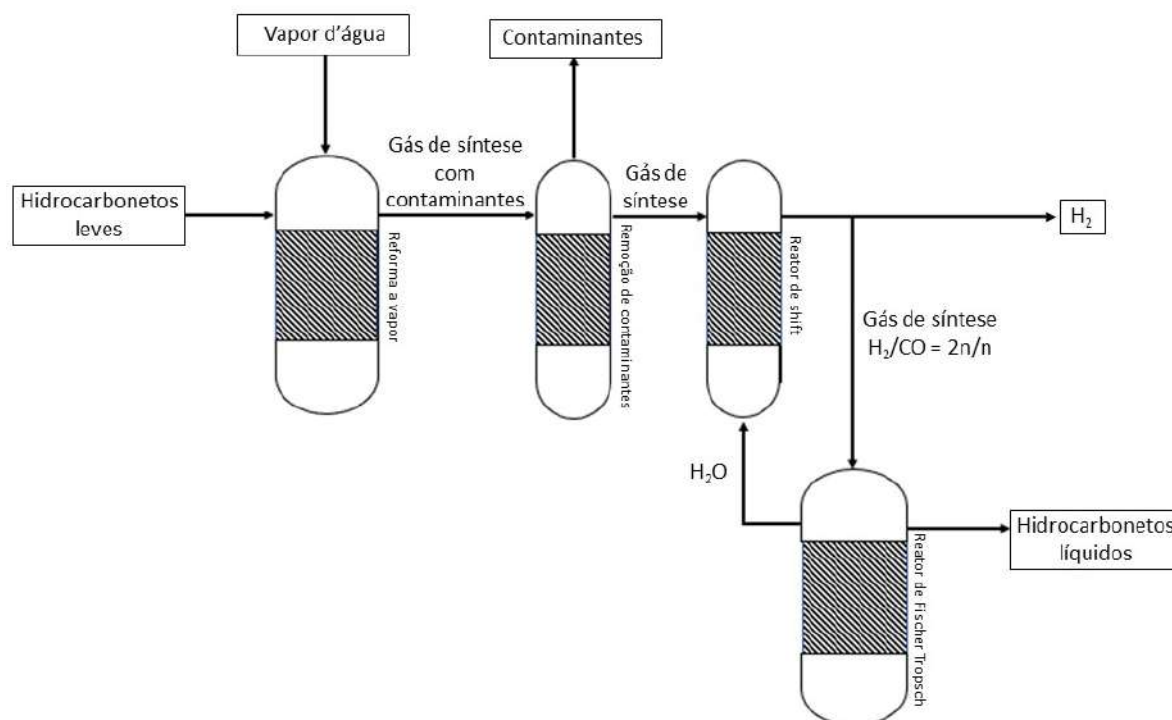


Sabe-se que, por a reação ser endotérmica, a temperatura reacional deve ser alta a fim de aumentar a conversão. Além desse parâmetro, a quantidade de vapor d'água adicionado também deve ser controlada. Apesar de, de acordo com a estequiometria, apenas um mol de água ser necessário para reagir com o metano, adiciona-se vapor d'água em excesso como uma estratégia de proteger o catalisador do coque formado (SOUZA, V, 2011).

A relação vapor/carbono (RVC) usualmente aplicada na indústria é entre 2 e 4, apesar de razões maiores, entre 4 e 5, proporcionarem uma maior conversão de hidrocarbonetos (SOUZA, V, 2011). Com uma menor RCV, é possível programar plantas com uma maior eficiência energética e, conseqüentemente, com um menor custo operacional. Além disso, aumentando a temperatura de saída do reformador compensa a menor conversão de HC (ROSTRUP-NIELSEN, J.R. et al., 2002).

Na Figura 8 abaixo possível observar um esquemático da reação de reforma a vapor. Tem-se, então, a entrada de hidrocarbonetos leves e de vapor d'água, os quais reagem formando gás de síntese. Em seguida, o gás formado passa por um processo de purificação para remoção dos contaminantes e, por fim, pela reação de shift.

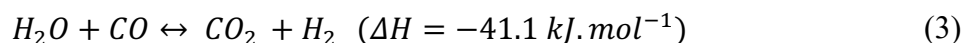
**Figura 8 – Esquemático da reação de reforma a vapor.**



Fonte: Autoria.

A composição do gás de síntese após a reação de reforma varia de acordo com a fonte de sua matéria orgânica, mas consiste, majoritariamente, em  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  e  $H_2O$ . Entretanto, outras espécies químicas também são encontradas no syngas, resultantes de compostos inicialmente presentes na matéria-prima, como os compostos sulfurados, nitrogenados, metálicos e halogenados, por exemplo. Dessa forma, faz-se necessário que esse gás de síntese com contaminantes passe por uma etapa de purificação a fim de removê-los, visando uma não interferência dos mesmos em etapas futuras, especialmente em relação a envenenamento de catalisadores (CHICHE et al., 2013).

A reação de shift consiste em um processo exotérmico, o qual visa ajustar a proporção entre o hidrogênio e o monóxido de carbono para se adequar a aplicação que será dada ao gás de síntese produzido. A reação é representada pela Equação 3 a seguir.



A etapa de shift, então, pode ser utilizada para maximizar a produção de hidrogênio puro, às custas do consumo de  $CO$ . Esse processo pode ocorrer em dois estágios: reação de shift de alta temperatura (HTS-High Temperature Shift), em temperaturas entre 320 e 450°C, seguido ou não por uma reação de shift de baixa temperatura (LTS-Low Temperature Shift), em temperaturas entre 200 e 250°C (FUENTES, 2006). Dois tipos de catalisadores são utilizados

nesse processo, um composto por óxidos de ferro e cromo aplicado na HTS e outro composto de cobre, óxido de zinco e alumina aplicado na LTS (LUENGARREMITCHAI et al., 2003).

Com o gás de síntese ajustado, ele apresenta um leque de possíveis aplicações industriais, sendo, uma delas, seu uso como reagente na Síntese de Fischer Tropsch.

Apesar da reação de reforma a vapor já ser estabelecida e amplamente utilizada, algumas propostas de melhorias estão sendo estudadas a fim de implementar critérios operacionais mais específicos para, dessa forma, reduzir a RVC e, conseqüentemente, os custos relacionados ao processo. Novos catalisadores mais resistentes à formação de coque também estão sendo estudados (AASBERG-PETERSEN, K. et al., 2001).

### 2.2.2 Reforma a Seco

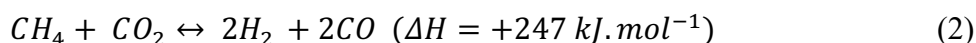
A reforma a seco é um processo relevante do ponto de vista ambiental, uma vez que tem como substrato o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e o carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Sabe-se que esses gases são grandes responsáveis pelo efeito estufa, assim, torna-se pertinente utilizá-los como insumos, de maneira a atingir metas climáticas propostas internacionalmente. Nesse processo, esses gases são oriundos principalmente do biogás, uma vez que possui em sua composição  $\text{CO}_2$  e metano.

A composição do biogás pode variar de acordo com a matéria prima orgânica, mas, de maneira geral, é formado por uma mistura de gases composta normalmente por 60-65% de metano, 35-40%  $\text{CO}_2$  e por outros compostos minoritários como compostos sulfurados ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) (NOYOLA et al., 2006). Ele pode ser considerado um biocombustível pois é obtido a partir da digestão anaeróbia de biomassa residual de microrganismos (ALVES et al., 2013).

Apesar de poder ser utilizado como combustível, o poder calorífico do biogás é baixo devido a alta concentração de  $\text{CO}_2$ , tornando-o inadequado para queima. É possível, entretanto, purificar esse gás removendo o  $\text{CO}_2$  e dando origem, assim, ao biometano, o qual apresenta um poder calorífico maior. Entretanto, a fim de dispensar a etapa de remoção do dióxido de carbono, o biogás pode passar apenas por uma etapa de pré-tratamento, visando remover impurezas como os compostos sulfurados, e seguir como reagente para a reforma seca, onde o metano e o  $\text{CO}_2$  reagem dando origem ao gás de síntese (SCHULTZ, SOARES, 2014).

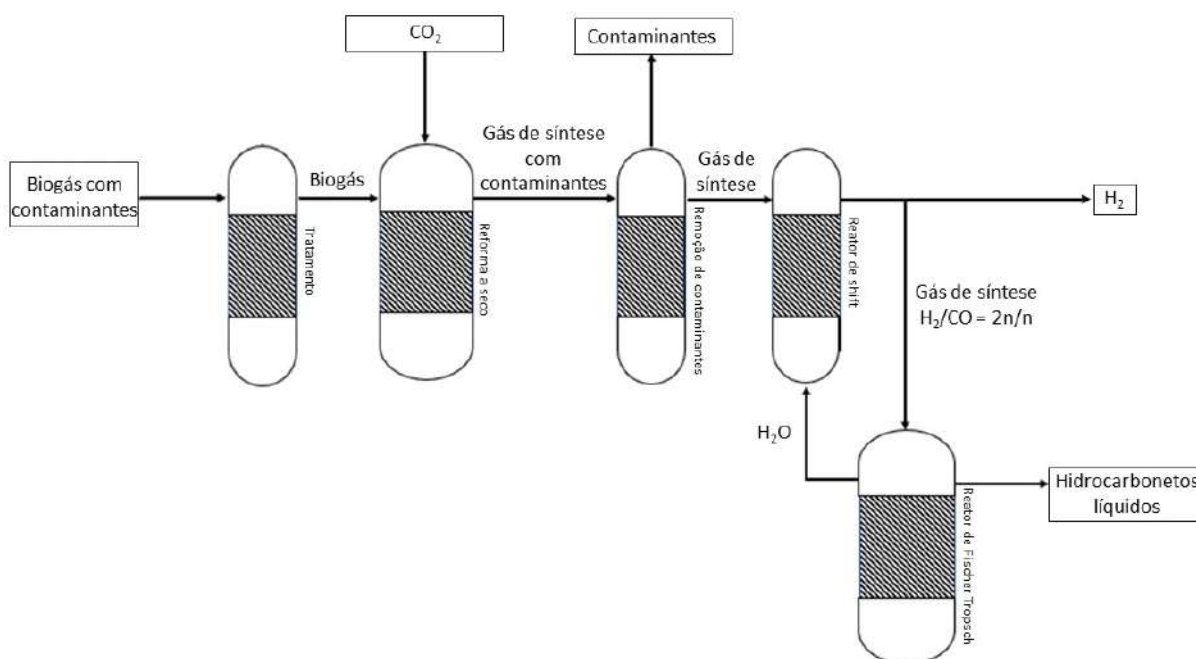
A reforma a seco gera gás de síntese como produto, o qual pode ser utilizado para diversas finalidades industriais, entre elas a geração de  $\text{H}_2$ . A obtenção do gás hidrogênio via reforma do biogás, por exemplo, pode ser uma alternativa promissora para geração de energia limpa com elevada eficiência, principalmente porque o hidrogênio renovável pode ser empregado em células a combustível, produzindo apenas água em sua combustão.

Quimicamente, a reação de reforma pode ser definida como um processo endotérmico catalítico, o qual ocorre a elevadas temperaturas (700 - 900°C), capaz de produzir gás de síntese a partir de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, como pode ser observado na Equação 2 (OLIVEIRA et al., 2021; TACHINSKI, 2018).



Na Figura 9 abaixo, observa-se o esquemático da reação de reforma a seca.

**Figura 9 – Esquemático da reação de reforma a seco.**



Fonte: Autoria.

Tem-se, então, a entrada de biogás, o qual é tratado e reformado gerando, assim, o gás de síntese. O gás formado passa então pelos processos de purificação e de shift, como já detalhado na seção 2.2.1.

Um bom catalisador precisa ser ativo, seletivo e estável em relação às condições térmicas do processo e à natureza do substrato, além de ser suficientemente resistente ao atrito, pouco friável, possuir vida útil longa e ser de fácil restauração ao nível inicial, para que não reduza o desempenho da reação pela sua inativação a partir do depósito de coque na sua superfície. Catalisadores de níquel e alumina são reconhecidos como os mais efetivos nas reações de reforma do metano, devido ao baixo custo e à alta atividade. Entretanto, muitas publicações se debruçam sobre alternativas de catalíticos mais viáveis na relação custo e benefício (TACHINSKI, 2018).

Outras reações ocorrem em paralelo a reação alvo, modificando o equilíbrio de conversão e reduzindo o rendimento reacional, sendo elas: a metanação, a reação de shift, a

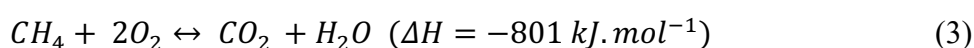
decomposição de monóxido de carbono por meio da reação de Boudouard e a decomposição do metano (TACHINSKI, 2018). Essas reações são representadas na seção 2.2.4 a seguir.

A reforma a seco, portanto, tem seu uso justificado no interesse ambiental, visto que pode reaproveitar o CO<sub>2</sub> de outros processos. Embora a reação apresente desafios industriais importantes, é um excelente meio para produzir o gás de síntese a partir de matérias primas leves, o qual pode ser transformado em produtos com diversas possibilidades de aplicação.

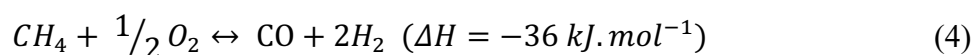
### 2.2.3 Reforma Auto Térmica (ou combinada)

Atualmente, a rota química de produção de H<sub>2</sub> mais empregada na indústria é a reforma a vapor (SOUZA, 2004), entretanto, esse processo apresenta a desvantagem de requerer uma alta demanda energética devido à sua endotermicidade, o que aumenta o custo operacional da reação (ESCRITORI, 2007). A reação de reforma a seco manifesta a mesma desvantagem, possuindo, inclusive, um  $\Delta H$  maior quando comparado com o da reforma a vapor.

Visando a redução da demanda energética, um processo industrial alternativo é a reforma autotérmica, em que as reações de reforma a vapor e seca são combinadas com a oxidação de parte das matérias-primas leves. Nesse sentido, a reforma autotérmica, ou reforma combinada, como também é conhecida, é considerada como uma alternativa vantajosa, uma vez que, por ser exotérmica, a quantidade de energia necessária no processo é menor (ESCRITORI, 2007). A reação global do processo é descrita pela Equação 3, onde os hidrocarbonetos leves são representados pelo metano.



Inicialmente, ocorre a oxidação completa de parte do metano disponível gerando CO<sub>2</sub> e vapor d'água. A reação de oxidação é altamente exotérmica, assim, a energia liberada é utilizada como combustível para que o metano não consumido reaja rapidamente com CO<sub>2</sub> com o e vapor d'água formados na reação anterior através das reformas a vapor e seca. As três reações ocorrem simultaneamente no reator e de forma global, podem ser descritas pela Equação 4:



Apesar do processo de reforma autotérmica, por ser exotérmico, ser economicamente mais barato quando comparado com as outras reações de reforma, é necessário que haja um fornecimento de oxigênio puro (> 98%), dificultando, dessa forma, a adoção do processo em escala industrial devido aos elevados custos operacionais e de capital (KIM, et al., 2021).

## 2.2.4 Gaseificação

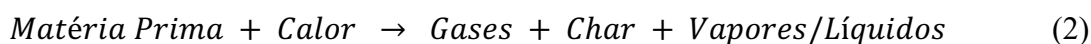
A gaseificação pode ser definida como a conversão termoquímica de uma matéria prima carbonácea pesada, como o gasóleo, o carvão e a biomassa, em gás de síntese. Essa conversão ocorre através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (800-1100°C) e a pressões atmosféricas ou maiores (até 33 bar) (LORA, et al., 2012).

Para que esse processo seja viável, é preciso de um agente de gaseificação, o qual pode ser ar, vapor d'água, oxigênio ou uma mistura desses em quantidades menores do que a estequiométrica. Entretanto, alguns agentes podem aumentar ou diminuir a qualidade do gás de síntese, de acordo com seu respectivo poder calorífico. Como exemplo, quando utilizado o ar, rico em gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), o poder calorífico do gás formado é menor. Já quando o gás oxigênio (O<sub>2</sub>) é utilizado, o poder calorífico é maior, embora essa geração seja mais custosa (LORA, et al., 2012).

O processo de gaseificação conta com algumas etapas industriais. O combustível a ser gaseificado é submetido aos processos de secagem, de pirólise, de combustão e de redução.

A secagem ocorre entre 100 - 200°C e, nesse processo, o teor de umidade do substrato é reduzido. Em relação à biomassa, por exemplo, o seu teor varia de 5% a 35% e é reduzido para menos de 5% (PUIG-ARNAVAT et al., 2010).

Já a pirólise representa a decomposição térmica na ausência de oxigênio ou ar. Sua ocorrência libera resíduos sólidos contendo principalmente carbono, brevemente chamados de 'Char', além de vapores e líquidos compostos por alcatrão e hidrocarbonetos poliaromáticos, cuja proporção depende da natureza do substrato utilizado e das condições de operação do processo. A reação é observada na Equação 2. A pirólise ocorre na faixa de temperatura de 125 - 500°C e condensa os hidrocarbonetos. Em relação a quantidade de energia, as reações químicas que ocorrem até a temperatura de 300°C são exotérmicas, enquanto as reações além dessa temperatura são endotérmicas. Dessa forma, nos casos em que o processo ocorre a altas temperaturas, faz-se necessário aquecimento externo de forma a maximizar o gás ou o rendimento de combustível líquido (SANSANIWAL et al., 2017; EICHLER et al., 2015).



A etapa de combustão representa uma reação entre Char e oxigênio do ar, resultando na formação de CO<sub>2</sub>. O hidrogênio presente na matéria prima também é oxidado para gerar água (Equação 3). Tem-se que uma grande quantidade de calor é liberada com o processo oxidativo, e, assim, essa energia é utilizada nas outras etapas do processo, como na secagem, na pirólise e

nas reações de gaseificação. Caso a presença do gás oxigênio esteja em quantidades sub estequiométricas, ocorre oxidação parcial do carbono resultando na geração de CO (PUIG-ARNAVAT et al., 2010).



Segundo EICHLER (et al., 2015), a etapa de redução consiste na gaseificação propriamente dita, onde os produtos das reações heterogêneas (gases e o coque residual) e das reações homogêneas (produtos já formados) vão ditar a composição final do gás produzido, obtendo maior formação de H<sub>2</sub> e de CO no arranjo final do gás de síntese. Essa etapa é formada por uma série de reações endotérmicas bem descritas na literatura. São elas: reação de Boudouard, reação de Shift, metanização e água-gás.

A reação de Boudouard pode ser sintetizada na reação química representada pela Equação 4. A mesma ocorre quando o dióxido de carbono presente no gaseificador reage com o carbono para formar monóxido de carbono.



A reação Shift é essencial para que haja a arquitetura final do gás de síntese. É nessa etapa que ocorre a redução do vapor d'água com o monóxido de carbono, produzindo CO<sub>2</sub> e gás hidrogênio. O gás hidrogênio formado possui alto valor calorífico. Essa etapa é resumida pela Equação 5.



Enquanto isso, a etapa de metanização forma CH<sub>4</sub> a partir da reação do carbono presente no combustível com o gás hidrogênio formado na etapa anterior. A reação química que descreve esse processo é descrita pela Equação 6.

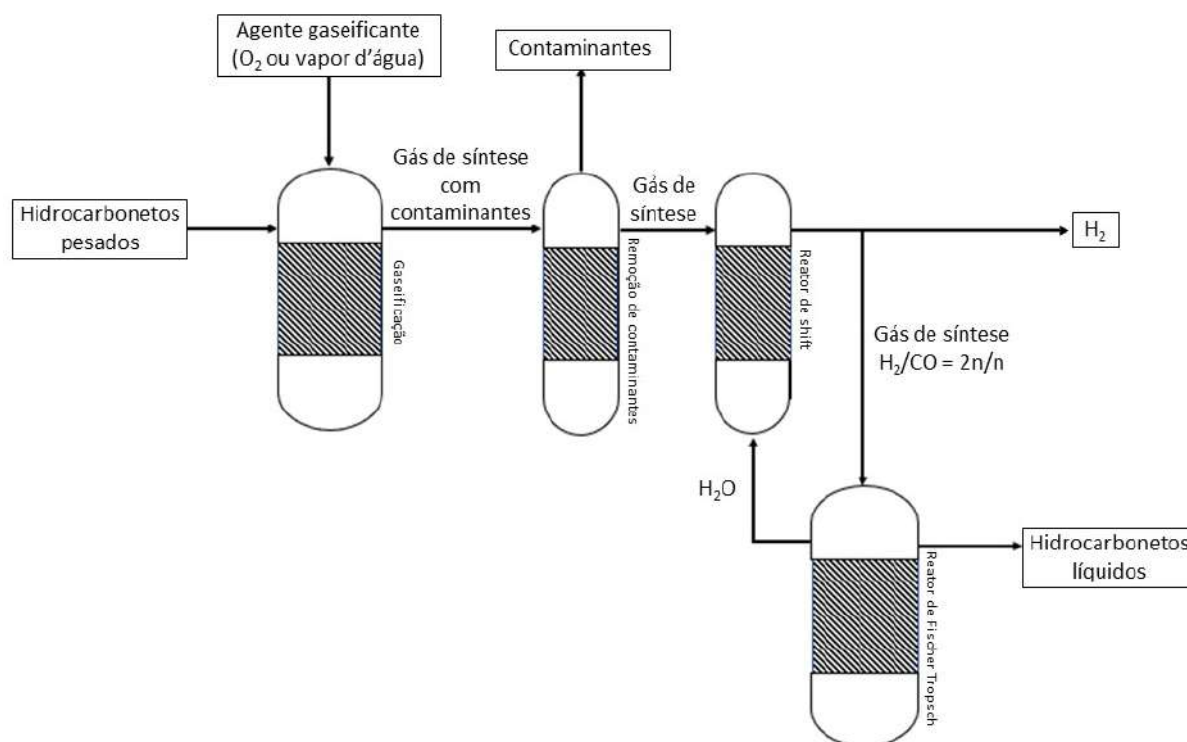


Por fim, a reação água-gás representa a oxidação do carbono por meio do vapor d'água proveniente de diferentes fontes no reator. Essa reação é definida pela Equação 7.



Um esquemático simplificado do processo de gaseificação pode ser observado na Figura 10 abaixo.

**Figura 10 – Esquemático da reação de gaseificação.**



Fonte: Autoria.

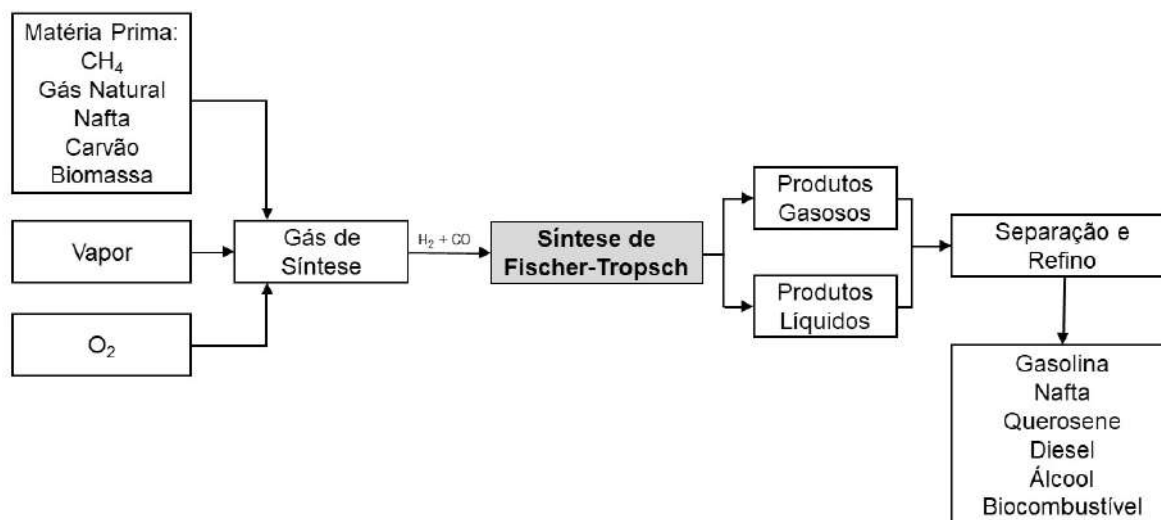
É possível entender a gaseificação, portanto, como um complexo conjunto de etapas capaz de utilizar substratos ricos em carbono de diferentes fontes para formação de gás de síntese, cuja utilização tem se mostrado cada dia mais versátil.

### 2.3 SÍNTESE DE FISCHER TROPSCH

Uma das possíveis utilizações do gás de síntese é para a geração de hidrocarbonetos líquidos de diferentes comprimentos de cadeia carbônica, como a gasolina, o querosene, o gasóleo e os lubrificantes, a partir da Síntese de Fischer Tropsch (SFT), descrita a partir de 1925 pelos pesquisadores Franz Fischer e Hans Tropsch (TACHINSKI, 2018).

Pode-se descrever a síntese de FT, de maneira simplificada, em três etapas, sendo elas: A produção do gás de síntese, a reação de conversão dos gases em líquidos e o refino dos produtos formados. A Figura 11 a seguir ilustra esse processo.

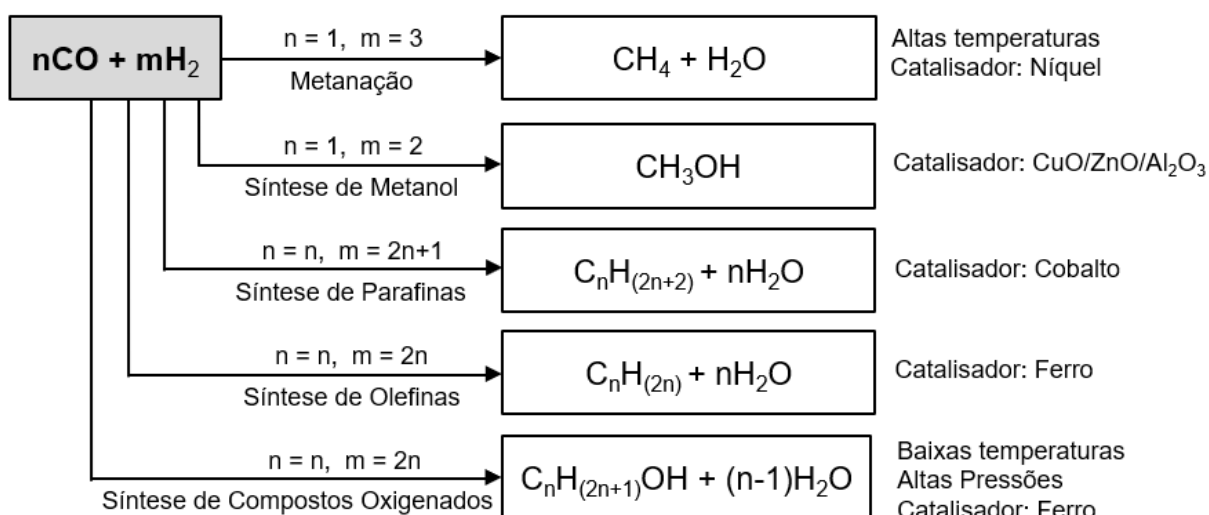
**Figura 11 – Esquema simplificado da síntese de Fischer Tropsch.**



Fonte: Autoria.

Na prática, o produto da SFT é o óleo cru sintético (syncrude), que consiste em uma mistura de hidrocarbonetos com diferentes pesos moleculares conforme o tamanho da cadeia carbônica (GRUBER et al., 2021). A junção de fatores como o tipo de catalisador e de reator e as condições específicas do processo (temperatura, pressão e composição do gás de síntese), por exemplo, determinam a distribuição geral de pesos moleculares nos produtos formados durante a reação (MCTI, 2022). A conversão catalítica de  $H_2$  e de  $CO$  em hidrocarbonetos é descrita nas reações na Figura 12 a seguir.

**Figura 12 - Principais reações da síntese Fischer-Tropsch.**



Fonte: Autoria.

Em geral, as reações de FT ocorrem entre  $150^\circ C$  e  $300^\circ C$  e em um intervalo de pressão de 20 a 30 bar, e os produtos obtidos consistem em uma mistura complexa de hidrocarbonetos de diferentes massas molares, variando desde o metano até as parafinas sólidas. Os catalisadores



CtL (coal to liquid), GtL (gas to liquid) e BtL (biomass to liquid), a depender da matéria prima do gás de síntese.

Comercialmente, os possíveis produtos da SFT são gasolina, diesel, querosene, ceras parafínicas, lubrificantes e assim por diante. A flexibilidade dos produtos, bem como sua origem que pode ser ambientalmente sustentável, são os maiores benefícios da SFT. Se a produção de combustíveis renováveis não for lucrativa, os produtos FT poderão ter outras aplicações de alto valor, como nafta e cera.

Vale ressaltar que o refino dos produtos da SFT é essencial a fim de obter combustíveis de alta qualidade dentro das especificações. Para isso, processos de destilações, hidrotratamentos e isomerizações, por exemplo, devem ser realizados, assim como é feito na indústria petrolífera.

Contudo, há também desafios nesse processo. A SFT é um processo altamente exotérmico. O calor da reação deve ser rapidamente removido a fim de evitar o superaquecimento e, conseqüente, a desativação do catalisador, bem como prevenir a produção indesejada de gás metano (SIE e KRISHNA 1999).

Portanto, a SFT tem elevado interesse econômico e ambiental. A literatura científica sobre o tema tem apresentado variadas formas de melhoria dos custos desse processo, assim como utilizações industrialmente importantes.

## 2.4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

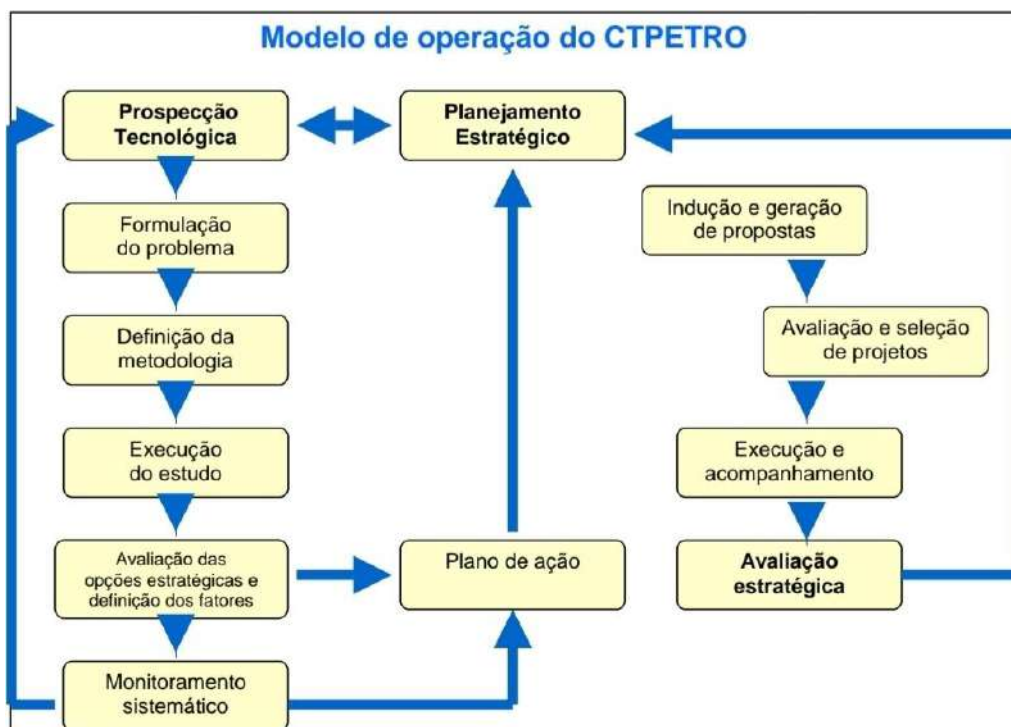
A prospecção tecnológica refere-se a atividades de pesquisas voltadas para as mudanças tecnológicas, cuja relevância está relacionada à capacidade funcional ou ao tempo e significado de uma inovação. A prospecção tem como objetivo observar a informação dentro do processo de gestão tecnológica, com o intuito de se planejar a partir do possível estado das tecnologias futuras ou das condições que vão afetar a contribuição delas para as metas já estabelecidas (COELHO, 2003).

No entanto, é importante perceber que a prospecção não está relacionada a prognóstico ou previsão, mas sim a ideia de se planejar para o futuro. Leva-se em consideração o fato de haver uma probabilidade de que as expectativas vigentes, futuramente, sejam falsas por conta de um redirecionamento que inclui diferentes variáveis, seja por fatores tecnológicos, econômicos, sociais ou ambientais (CUHLS & GRUPP, 2001).

O trabalho de prospecção tecnológica mapeia e estuda a fase em que está ocorrendo o desenvolvimento de um campo específico de pesquisa. Dessa forma, é possível identificar o que a tecnologia já fez e monitorar para onde ela irá no futuro. Os estudos de prospecção

tecnológica também englobam identificar os empecilhos impostos e as dificuldades técnicas, levando a soluções inovadoras, conforme é observado na Figura 14.

**Figura 14 - Modelo de operação do Fundo Setorial de Petróleo e Gás natural (CTPETRO)**



Fonte: Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais - NT

Além disso, a prospecção tecnológica visa o aumento do ganho e a diminuição das perdas relacionadas ao uso de determinada tecnologia, como também a identificação e a avaliação de oportunidades ou ameaças no mercado.

O mapeamento tecnológico pode ser feito a partir de busca e pesquisa de dados por meio de artigos e patentes, já que possuem fontes confiáveis e atuais. É possível identificar diversas vantagens de utilizar essas fontes como, por exemplo, a facilidade de acesso a uma base de dados disponível online, além de ter informações mais recentes das tecnologias, novas ideias e resolução de problemas (AMPARO et al,2012).

#### 2.4.1 Artigos Científicos

Os artigos científicos são uma fonte de dados que descrevem os principais resultados de uma pesquisa de cunho acadêmico sobre um determinado assunto. São publicados em revistas científicas e possuem autoria declarada. Dentro desse tipo de trabalho, encontra-se um compilado de informações descritas por outros autores que se assemelha à ideia principal do pesquisador (MADEIRA, 2013).

A publicação desse tipo de trabalho permite a difusão das informações, como os resultados obtidos e as fontes utilizadas, o que possibilita, a outros pesquisadores, acesso a esse banco de dados. Além disso, os artigos científicos também garantem a autoria do trabalho aos pesquisadores responsáveis que participaram da pesquisa e a validação dos dados pela comunidade científica.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho avalia a situação mais recente em relação à produção científica acerca dos parâmetros relacionados a síntese de Fischer Tropsch. A base de busca utilizada foi escolhida de modo a abranger a maior quantidade de documentos relevantes.

#### 3.1 MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

A busca de documentos científicos foi realizada na base Scopus, lançada pela editora Elsevier em 2004. No ano de 2020, contava com mais de 35 mil títulos (aproximadamente 22 mil títulos ativos e 13 mil inativos), com resumos e citações de literatura revisada por pares (OLIVEIRA, 2020). Com atualização diária, a cobertura ocorre desde 1823, com contagens de citações desde 1996. É considerada a base que com maior cobertura de resumos, citações e textos completos da literatura científica internacional e brasileira. (SILVA e GRACIO,2017).

A maioria dos artigos publicados é escrita na língua inglesa, e, com isso, o uso da ferramenta com palavras-chave nesse idioma retorna um maior número de resultados. A base Scopus possui ferramentas para analisar e filtrar os dados obtidos por data, país, autor, periódico, instituição vinculada, entre outros.

O acesso a essa base é restrito e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) tem licença e disponibiliza o seu acesso e aos corpos discente e docente por meio do portal Periódico Capes.

A metodologia de busca foi baseada na intenção de conseguir obter um maior entendimento dos parâmetros reacionais da síntese de Fischer Tropsch, considerando o período de 2003 a 2022. A busca foi limitada apenas a artigos em inglês, utilizando a opção de busca avançada disponível na plataforma Scopus.

Inicialmente, a seguinte busca foi feita na Plataforma: ( ( TITLE ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) OR AUTHKEY ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) ) AND PUBYEAR > 2002 AND PUBYEAR < 2023 ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ). 3073 documentos foram encontrados, o que inviabilizaria um estudo aprofundado de todos em um curto período de tempo.

Nesse sentido, a fim de restringir mais a busca, uma nova procura foi realizada: ( ( TITLE ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) OR AUTHKEY ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( feedstock ) ) AND PUBYEAR > 2002 AND PUBYEAR < 2023 ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND

( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ). A adição da palavra *feedstock* tinha como objetivo estudar as matérias primas da reação, entretanto, apenas 98 artigos foram encontrados, o que tornaria o estudo muito restrito.

Por fim, obteve-se um resultado de 137 artigos analisados utilizando o seguinte texto de entrada: ( ( ( TITLE ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) OR AUTHKEY ( fischer AND tropsch AND ( synthesis OR process ) ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( biomass OR ( biomass-\* ) ) ) AND PUBYEAR > 2002 AND PUBYEAR < 2023 ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Economic Analysis" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Fischer-Tropsch Synthesis" ) ). Os artigos relacionados a análise econômica foram retirados do estudo por não estarem relacionados com o tema de estudo.

Em seguida, os documentos selecionados foram analisados de maneira individual de forma a se obter informações relacionadas aos parâmetros reacionais da síntese de FT.

## 4 RESULTADOS

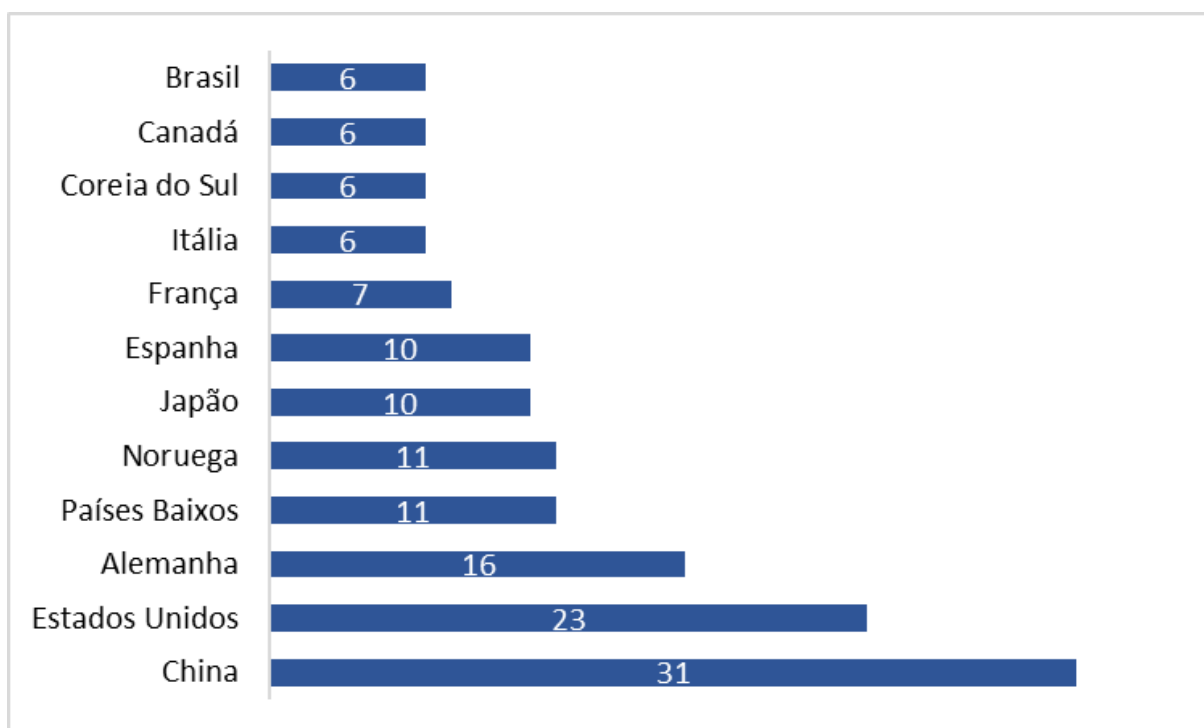
Foram obtidos 137 documentos referentes à síntese de Fischer Tropsch. Diversas análises foram realizadas com os artigos encontrados.

### 4.1 ANÁLISE POR PAÍS

Uma análise da origem das publicações foi realizada a fim de identificar os países líderes em pesquisa sobre a síntese de Fischer Tropsch. Tem-se que a produção de artigos científicos indica um futuro do mercado no país de origem, uma vez que esse estudo está relacionado com o desenvolvimento de tecnologias a longo prazo.

Para uma melhor visualização do resultado, os 12 países que mais tiveram publicações relacionadas a temática em foco foram apresentados, em ordem crescente, na Figura 15.

**Figura 15 - Distribuição por país dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.**



Fonte: Scopus. Elaboração: Aatoria.

Percebe-se que a China assume uma posição de liderança sobre a produção de artigos referente às tecnologias de produção da síntese de FT. Ao longo dos últimos anos, a China vem investindo de forma demasiada em ciência e tecnologia, apresentando um crescimento considerável nas últimas duas décadas. Atualmente, o país se configura como líder mundial em publicações de artigos científicos, assim como em suas citações, ficando a frente apenas dos Estados Unidos (ASIA, 2022). Nesse sentido, o investimento em pesquisa de maneira geral dos

dois países que lideram o ranking justifica tal posição. O Brasil se encontra na última posição da análise realizada, empatado com o Canadá, a Coreia do Sul e a Itália.

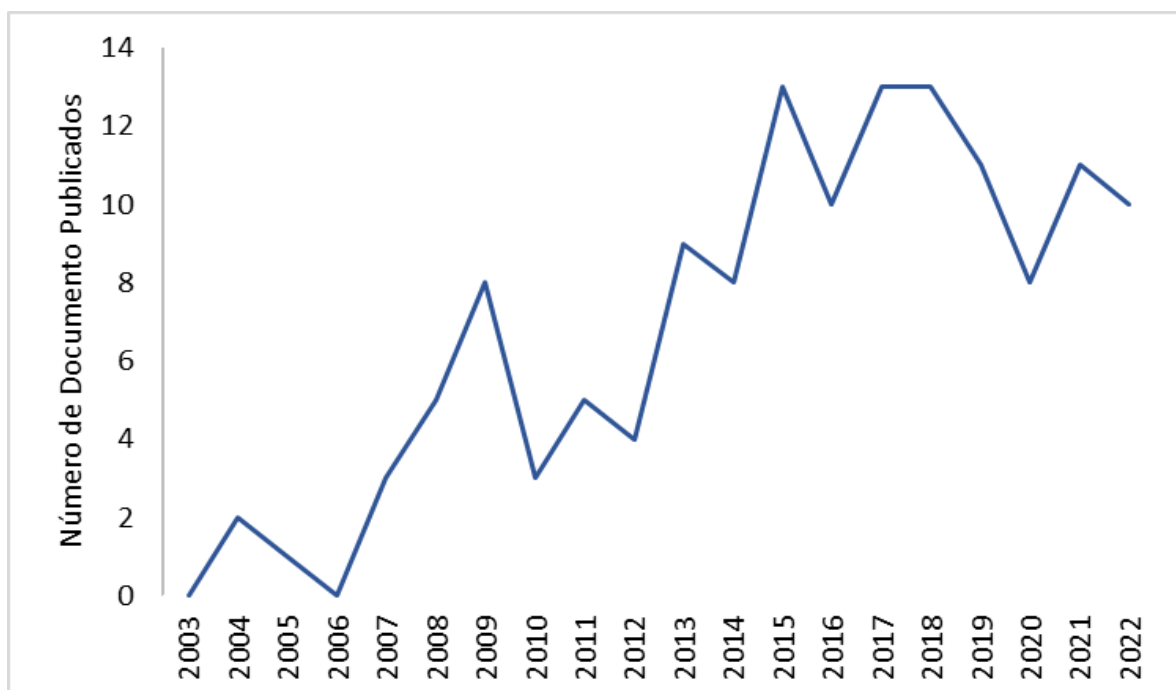
O Brasil não dispõe de um polo industrial visando a produção de hidrocarbonetos a partir da síntese de Fischer Tropsch, o que corrobora para um baixo interesse nas pesquisas. Entretanto, um convênio entre o Brasil e a Alemanha, o Projeto ProQR, foi iniciado objetivando a produção de combustível de aviação sustentável pela rota Fischer-Tropsch. O projeto inaugurou a primeira planta piloto, localizada no Rio Grande do Norte, em setembro de 2023. A perspectiva é de que, a partir de 2027, se inicie a fase comercial das operações e, dessa forma, haja uma maior adição de QAV à composição de combustíveis fósseis, o que já é regulamentado pela ANP e, conseqüentemente, uma redução das emissões de carbono no setor aéreo brasileiro.

Em relação a China, país o qual ocupa a primeira posição no ranking acima, tem-se que a empresa Synfuels China, criada em 2006, é uma das líderes mundiais na tecnologia CTL, além de possuir ampla experiência em pesquisa e desenvolvimento. Dessa forma, é possível justificar a diferença numérica de artigos publicados pela China e pelo Brasil.

#### 4.2 ANÁLISE TEMPORAL

A evolução temporal da publicação dos artigos relacionado à síntese de FT encontra-se na Figura 16. A busca foi limitada aos últimos 20 anos, sendo realizada, então, entre os anos de 2003 e 2022.

**Figura 16 - Distribuição temporal dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.**



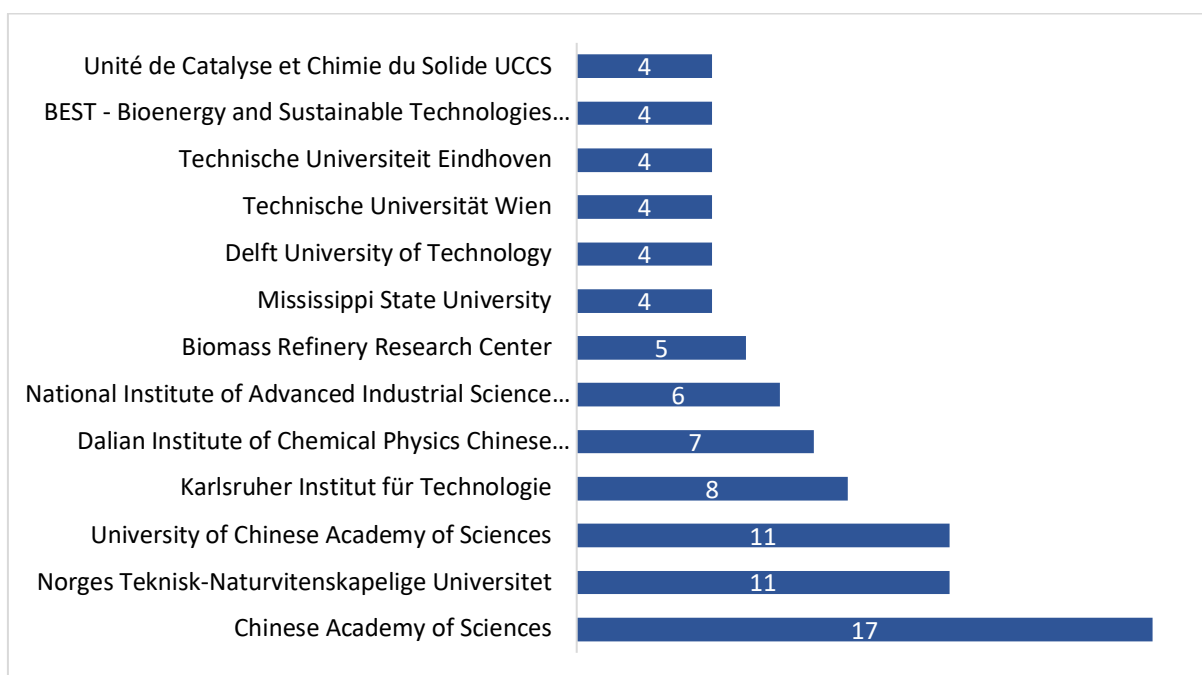
Fonte: Scopus. Elaboração: Aatoria.

De maneira geral, nota-se uma tendência de crescimento nas publicações sobre o tema estudado, apesar de não ocorrer de maneira linear. Apesar do processo de FT ter sido desenvolvido há anos, novas tecnologias são pesquisadas com a intenção de buscar alternativas relacionadas a melhores catalisadores e a novas matérias primas, principalmente a biomassa. Dessa forma, apesar da tecnologia do processo produtivo já ser madura e consolidada, o estudo de novas possibilidades visa otimizar a reação o que, conseqüentemente, impacta na publicação de artigos.

#### 4.3 ANÁLISE POR INSTITUIÇÃO

As instituições aos quais os autores dos documentos publicados são afiliados também foram alvo de análise. As treze principais estão listadas a seguir na Figura 17.

**Figura 17 - Distribuição por instituição dos documentos publicados sobre a Síntese de FT.**



Fonte: Scopus. Elaboração: Aatoria.

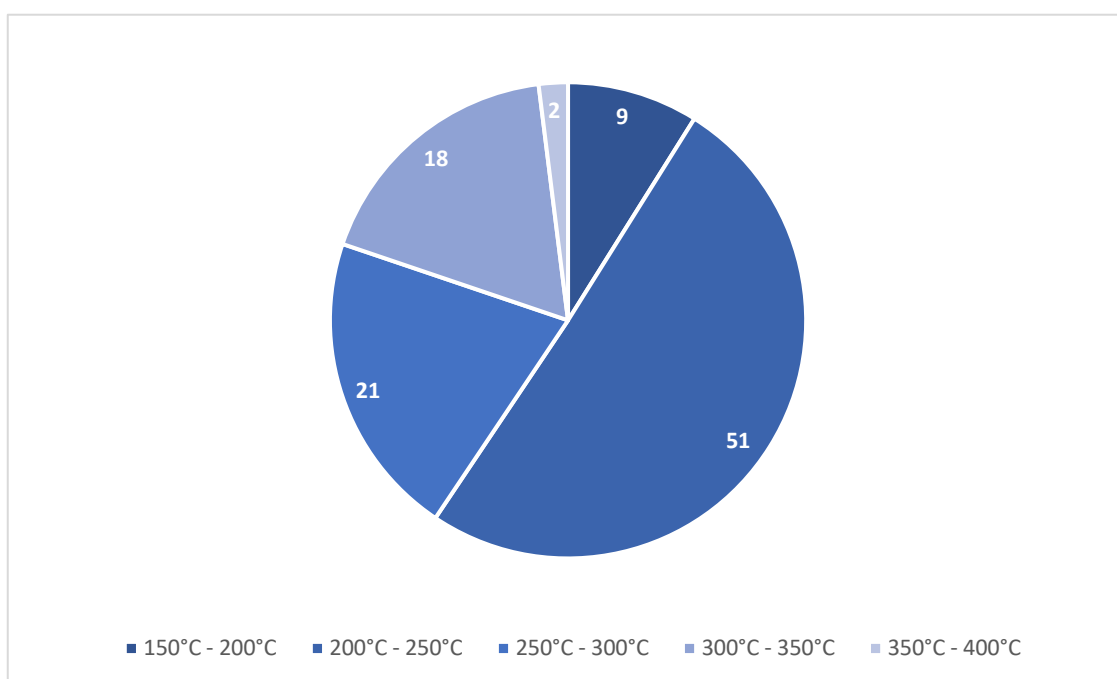
É possível observar que não há nenhuma instituição brasileira elencada acima e que, os centros que mais publicaram estão localizados na China. Tal percepção corrobora com o fato de a China ser o país o qual ocupa a primeira posição no ranking de produção científica a respeito do tema.

#### 4.4 ANÁLISE DA TEMPERATURA REACIONAL

De acordo com a literatura, a principal faixa de temperatura reacional de síntese de Fischer Tropsch é entre 150°C e 300°C. Analisando os resultados obtidos a partir da busca feita na base de dados Scopus, tem-se que a faixa de temperatura mais prevalente se dá entre 200°C e 250°C, estando de acordo com o esperado, como observado na Figura 18.

A síntese de Fischer Tropsch é altamente exotérmica, e a temperatura do meio reacional influencia diretamente na distribuição dos produtos gerados, uma vez que está relacionada com a propagação da cadeia carbônica pela adição de monômeros. Além da temperatura, os parâmetros pressão, tipo de catalisador e relação  $H_2/CO$  também estão relacionados com o tamanho da cadeia. Dessa forma, tem-se que o aumento da temperatura pode levar à produção de uma maior quantidade de metano, enquanto hidrocarbonetos de cadeias mais longas são obtidos preferencialmente em baixas temperaturas

**Figura 18 - Distribuição das faixas de temperatura da Síntese de FT.**



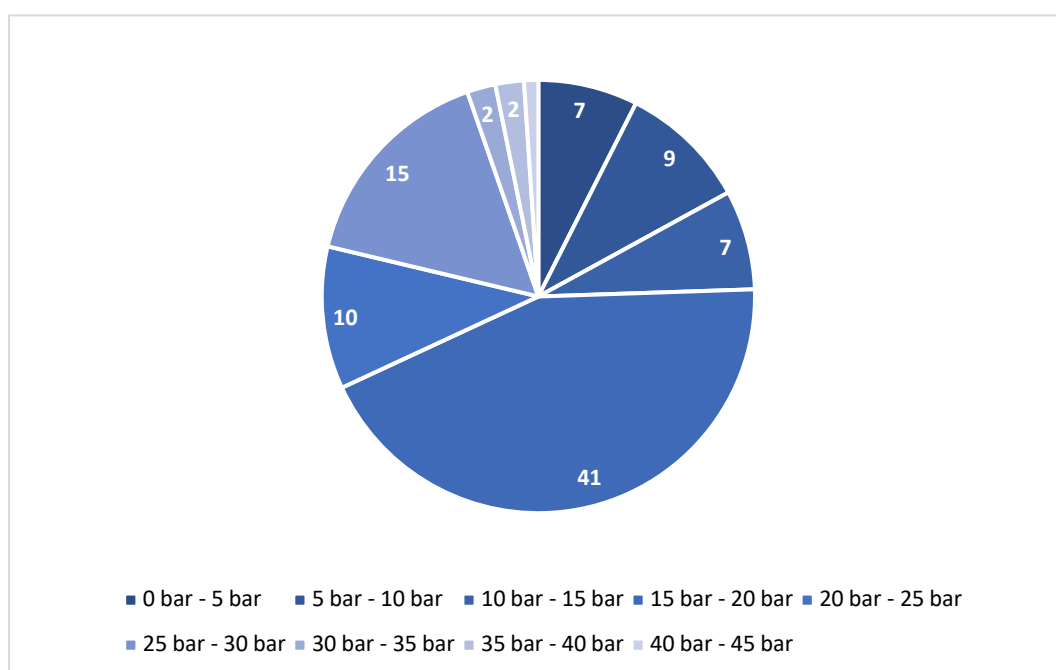
Fonte: Scopus. Elaboração: Autoria.

#### 4.5 ANÁLISE DA PRESSÃO REACIONAL

De maneira geral, as reações de FT ocorrem em um intervalo de pressão de 20 a 30 bar. Foi possível confirmar essa informação com a análise realizada a partir das buscas dos artigos, como é possível observar na Figura 19.

Segundo Le Chatelier, o aumento da pressão do sistema vai favorecer o deslocamento do equilíbrio químico para o lado com o menor número de mols de gás, fazendo, então, com que seja possível relacionar o aumento da pressão com a conversão de CO e com a formação de hidrocarbonetos de cadeia longa. Dessa forma, tem-se que o aumento da pressão diminui a seletividade para o metano, o que é interessante para o processo pois evita a formação de subprodutos indesejados (OJEDA, 2022).

**Figura 19 - Distribuição das faixas de pressão da Síntese de FT.**



Fonte: Scopus. Elaboração: Autoria.

#### 4.6 ANÁLISE DO TIPO DE CATALISADOR

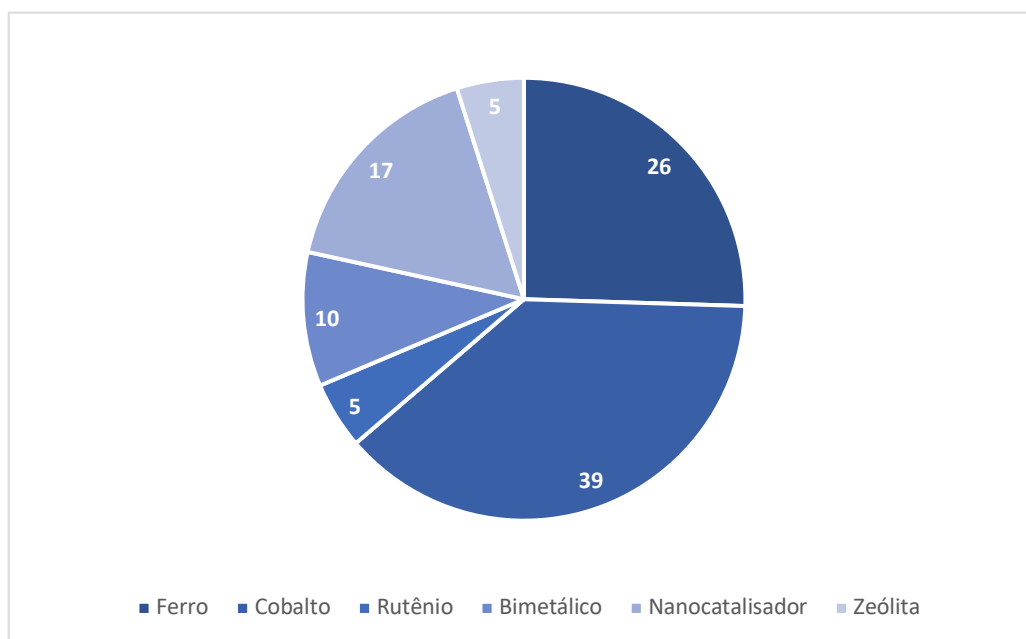
Os catalisadores mais utilizados na síntese de Fischer Tropsch são o cobalto e o ferro, principalmente por questões de viabilidade econômica. O rutênio e o níquel também são empregados, sendo o último menos comum, já que favorece a formação do metano. Visando otimizar o processo, suportes com alta área específica são utilizados, sendo os mais comuns a sílica, as aluminas, e as zeólitas, como o ZSM-5, por exemplo.

Os catalisadores à base de cobalto favorecem a formação de hidrocarbonetos C5+, especificamente a parafina, além de ter uma maior resistência à desativação. Eles não sofrem tanta influência da reação de shift, então, consequentemente, a formação de água e de CO<sub>2</sub> é reduzida, minimizando a perda de uma fonte de carbono. Dessa forma, tem-se que o cobalto é o catalisador mais adequado para gás de síntese com uma alta relação H<sub>2</sub>/CO.

Já os catalisadores à base de ferro sofrem mais influência da reação de shift. Por consequência, a temperatura reacional deve ser mais elevada para favorecer a conversão do CO. A aplicação do ferro é mais indicada para uma baixa relação H<sub>2</sub>/CO. Além disso, eles favorecem a formação de olefinas.

Na análise feita a partir dos artigos, evidenciada pela Figura 20, observa-se que os dois catalisadores mais pesquisados foram o cobalto e o ferro, estando, assim, em consonância com a literatura.

**Figura 20 - Distribuição dos catalisadores da Síntese de FT.**



Fonte: Scopus. Elaboração: Autoria.

Além dos metais de transição, catalisadores bimetálicos foram bastante estudados. Sua aplicação é interessante pois, dessa forma, é possível conseguir unir as vantagens de dois metais distintos. Vale destacar, também, a presença dos nanocatalisadores e das zeólitas. Tem-se que uma estrutura nano apresenta propriedades diferentes das conhecidas, fato esse que pode ser interessante para a operação e, conseqüentemente, vale ser estudado. Já as zeólitas ressaltam o desempenho dos catalisadores, já que influenciam na seletividade e na atividade do catalisador.

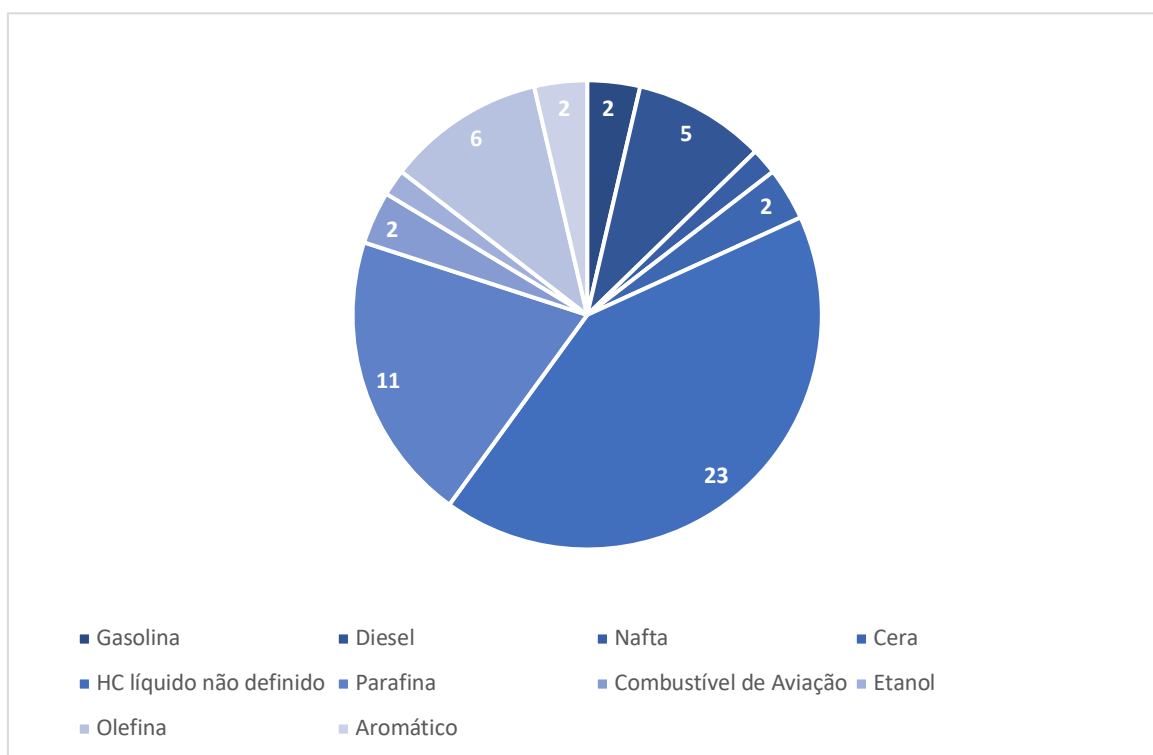
#### 4.7 ANÁLISE DO TIPO DE PRODUTO

A síntese de Fischer Tropsch vai gerar uma mistura de hidrocarbonetos de diferentes massas molares. Os produtos principais consistem na parafina, na olefina e nos compostos oxigenados, como o álcool. Além deles, o metano é comumente sintetizado como um subproduto indesejado.

Após a reação, os produtos são tratados e destilados de acordo com o tamanho da sua cadeia para, por fim, gerar produtos de maior valor agregado como a gasolina, o diesel e o querosene, por exemplo. Com a regulamentação da ANP permitindo a produção de diesel verde e de bioquerosene no Brasil, é interessante analisar o que está sendo analisado, e as rotas estudadas para se obter o produto de interesse. Tem-se que, para sintetizar diesel verde, é necessário direcionar a reação para produzir mais parafina, enquanto, para o querosene de aviação, faz-se necessário produzir mais olefina pois, dessa forma, ela é isomerizada, se transformando em isoparafina.

Na Figura 21, é possível observar quais são os produtos de maior interesse nos últimos 20 anos.

**Figura 21 - Distribuição dos produtos da Síntese de FT.**

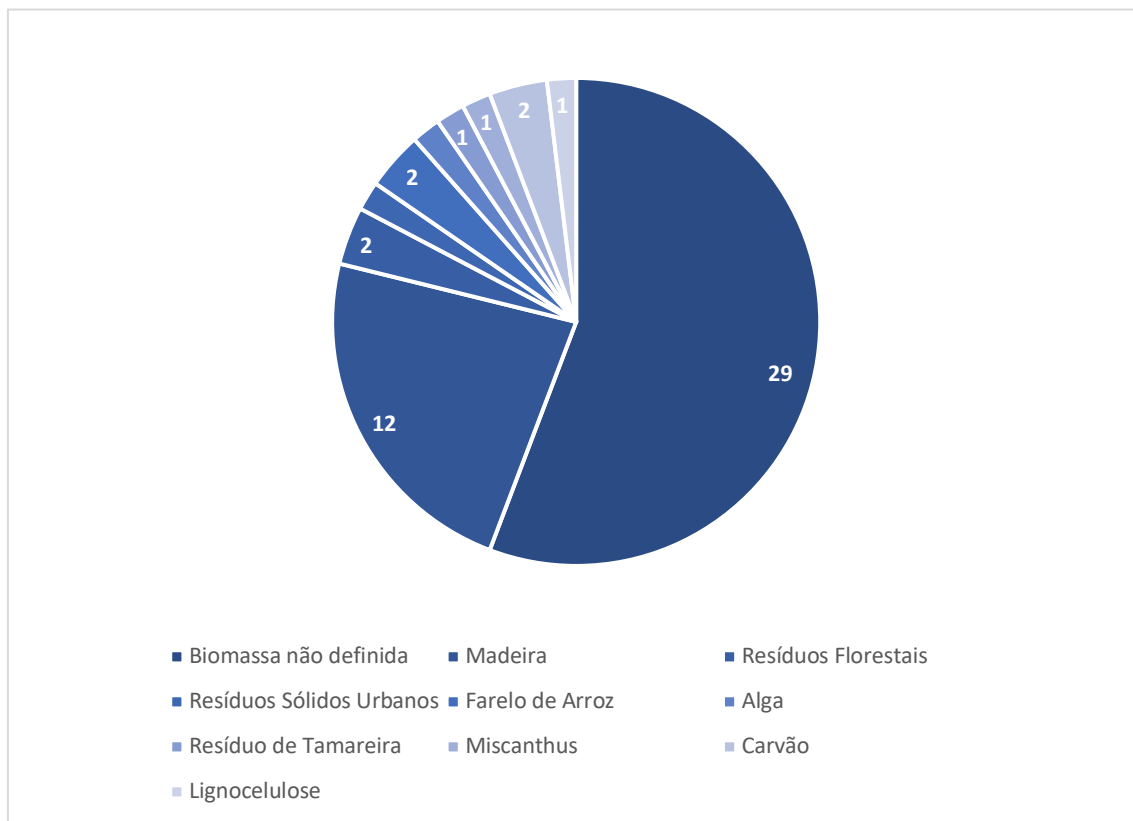


Fonte: Scopus. Elaboração: Autoria.

#### 4.8 ANÁLISE DO TIPO DE MATÉRIA PRIMA DO GÁS DE SÍNTESE

A origem da matéria prima vai ser primordial para determinar a razão  $H_2/CO$  do gás de síntese. Como o foco do trabalho é a produção de biocombustíveis a partir da STF, as biomassas foram analisadas, como é possível observar na Figura 22. A maioria dos artigos não especificou qual biomassa originou o gás de síntese.

**Figura 22 - Distribuição das matérias primas da Síntese de FT.**

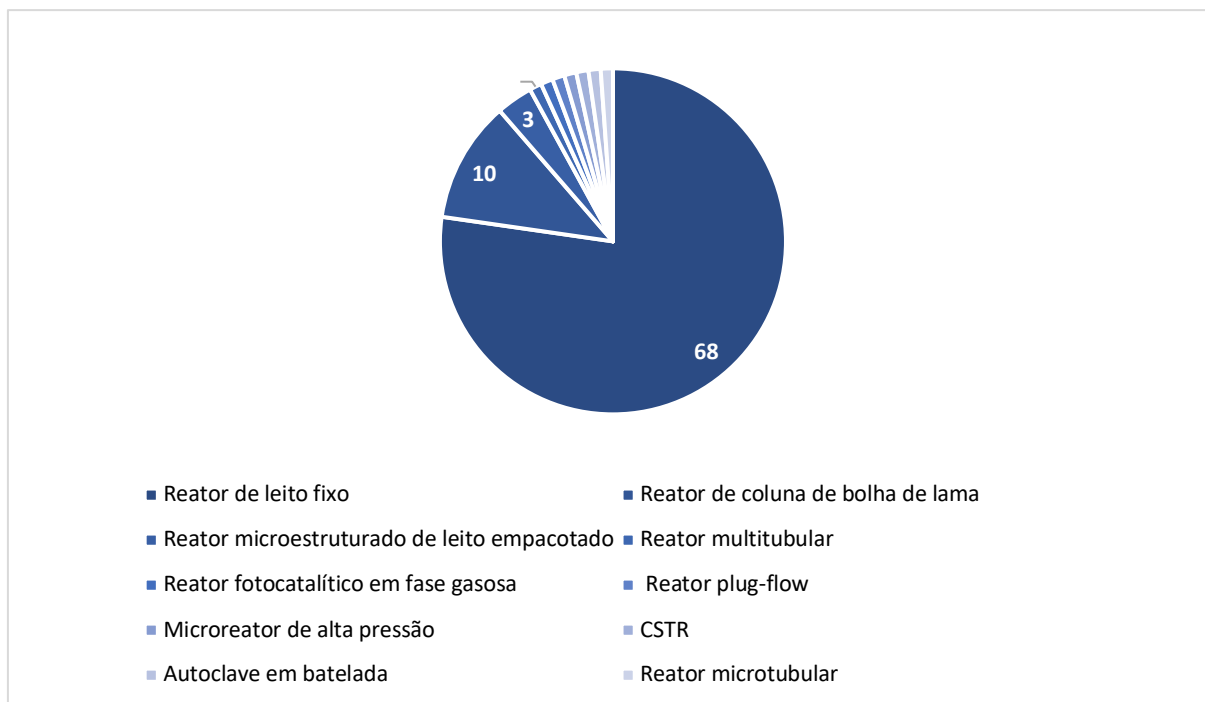


Fonte: Scopus. Elaboração: Aatoria.

#### 4.9 ANÁLISE DO TIPO DE REATOR DA SÍNTESE DE FISCHER TROPSCH

De acordo com a literatura, são três os principais reatores químicos utilizados comercialmente na síntese de Fischer Tropsch: de leito fluidizado, de leito de lama e multitubular de leito fixo. Na análise dos artigos, como é observado na Figura 23, o reator de leito fixo foi o mais pesquisado, ficando muito à frente do segundo, que foi o reator de leito de lama. Os reatores de leito fixo e de lama são mais utilizados para operar nos processos a baixas temperaturas.

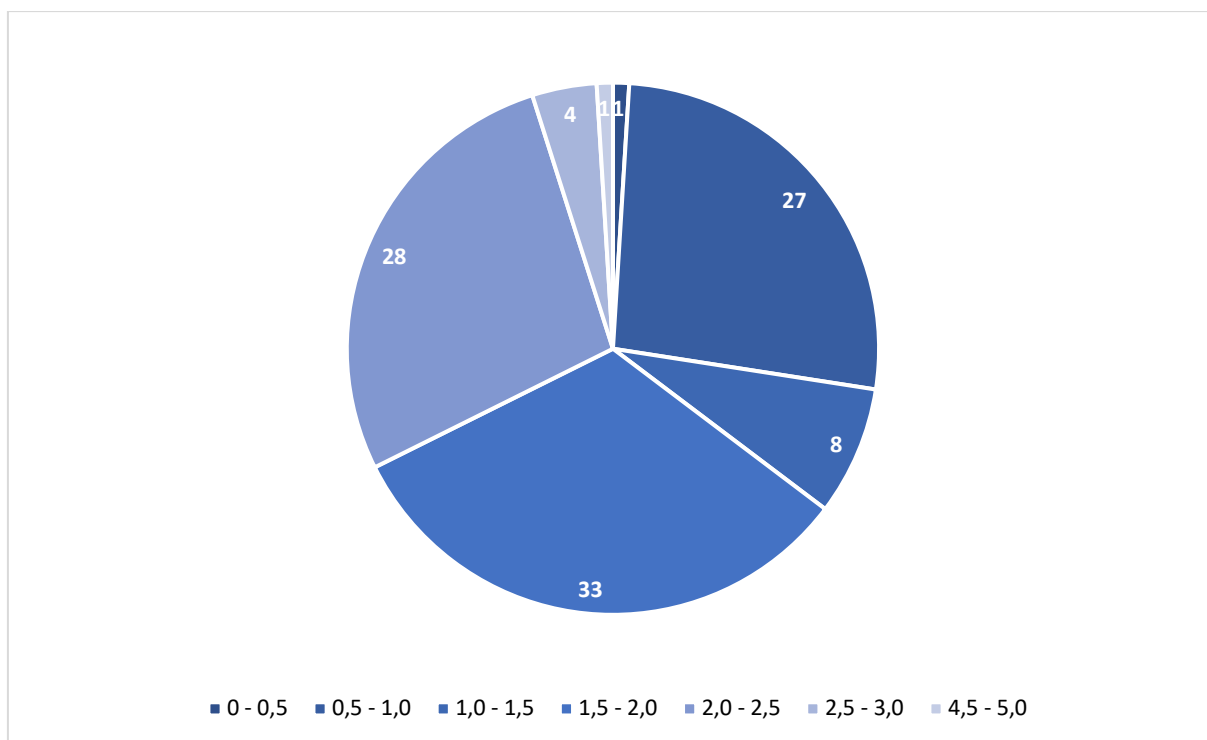
**Figura 23 - Distribuição dos tipos de reatores da Síntese de FT.**



Fonte: Scopus. Elaboração: Autoria.

#### 4.10 ANÁLISE DA RAZÃO $H_2/CO$

A razão  $H_2/CO$  do gás de síntese é um parâmetro importante para determinar a conversão, a seletividade e a distribuição de produtos na síntese de FT. Tem-se que o aumento da pressão parcial de  $H_2$  está diretamente relacionada com uma maior conversão. Com uma razão muito baixa, a pressão parcial de hidrogênio não hidrogena algumas moléculas de CO diminuindo, conseqüentemente, a conversão. Como pode ser observado na Figura 24, as razões mais implementadas nos artigos analisados estavam dentro da faixa de 1,0 a 2,5, prevalecendo, então, o excesso de hidrogênio.

**Figura 24 - Distribuição da razão de H<sub>2</sub>/CO da Síntese de FT.**

Fonte: Scopus. Elaboração: Aatoria.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou fornecer uma breve visão geral sobre os parâmetros operacionais da síntese de Fischer Tropsch.. A busca por palavras-chave, entretanto, traz em meio aos resultados itens que não condizem com o tema proposto, apesar de estarem de alguma forma relacionados com os termos utilizados no levantamento. Assim, alguns documentos obtidos na pesquisa foram desconsiderados para fins de análise.

A avaliação, através da base Scopus, de artigos científicos publicados mundialmente sobre o tema, mostrou que, apesar do processo já ser consolidado, ainda há um interesse notório pelo tema, fato esse evidenciado pelo número de publicações ao longo dos últimos 20 anos. O país com maior número de artigos sobre a SFT é a China, com os Estados Unidos em segundo lugar. O Brasil e outros países na Europa, Ásia e América Latina também demonstram interesse na área, mas em um patamar aquém da capacidade atingida pelos dois países. Dentre as instituições, a que mais publica artigos sobre o assunto é a Chinese Academy of Sciences, na China.

Com a regulamentação da ANP permitindo a produção de bioquerosene e de diesel verde seguindo a rota de Fischer Tropsch, é interessante concentrar esforços, principalmente analisando um panorama Brasil, visando o aprimoramento científico e tecnológico relacionado ao processo, a fim de amadurecer a tecnologia para a produção desses biocombustíveis e, assim, expandir o seu uso, já que, comparada com o método oriundo do petróleo, se caracterizaria como uma produção menos poluente.

Os limites do conhecimento estão sendo expandidos, em parte por pesquisadores brasileiros, para novos horizontes, com novas perspectivas despontando a cada passo dado no aprimoramento tecnológico da SFT. Ainda assim, os benefícios da utilização de processos mais limpos e energeticamente eficientes serão sentidos por toda a sociedade.

## 6 REFERÊNCIAS

CO2 Emissions in 2022. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [S. l.], p. 19, 1 mar. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>. Acesso em: 15 ago. 2023.

Puig-Arnavat, M., Bruno, J. C., & Coronas, A. (2010). Review and analysis of biomass gasification models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2841–2851. doi:10.1016/j.rser.2010.07.030  
10.1016/j.rser.2010.07.030

Sansaniwal, S. K., Pal, K., Rosen, M. A., & Tyagi, S. K. (2017). Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 363–384. doi:10.1016/j.rser.2017.01.038  
10.1016/j.rser.2017.01.038

Patra, T. K., & Sheth, P. N. (2015). Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 583–593. doi:10.1016/j.rser.2015.05.012  
10.1016/j.rser.2015.05.012

PRODUÇÃO DO BIOMETANOL VIA GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA Paulo Eichlera ET AL 2015

Obtenção de gás de síntese por reforma a seco do metano em unidade piloto Ligia gomes oliveira et al 2021

Tachinski, Camila Gaspodini Obtenção de Gás de Síntese a partir da Reforma a Seco de Metano e Dióxido de Carbono Utilizando Catalisador de Níquel Liofilizado / Camila Gaspodini Tachinski ; orientador, Humberto Jorge José ; coorientador, Michael Peterson ; coorientadora, Elaine Virmond. Florianópolis, 2018. 85 p.

Fischer-Tropsch products from biomass-derived syngas and renewable hydrogen Hannes Gruber et al., 2021

Krylova, A.Y. Products of the Fischer-Tropsch synthesis (A Review). *Solid Fuel Chem.* 48, 22–35 (2014). <https://doi.org/10.3103/S0361521914010030>

COELHO, Gilda Massari, and DM de S. COELHO. "Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais." *Projeto CTPetro Tendências Tecnológicas: Nota Técnica* 14 (2003).

CUHLS, K.; GRUPP, H. Status and prospects of technology foresight in Germany after ten years. Disponível em <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ae.html>. Acesso em 21 de agosto de 2023.

AMPARO, Keize Katiane dos Santos; RIBEIRO, Maria do Carmo Oliveira; GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Brasil, v. 17, n. 4, p.195-204, nov. 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de biogás e biometano: nota técnica. Brasília: MCTI, 2022. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

MADEIRA, L.S. Prospecção tecnológica através de depósitos de patentes para produção de proteínas terapêuticas de interesse brasileiro. 237 p. Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2013.

Krylova, A. Y. (2014). Products of the Fischer-Tropsch synthesis (A Review). *Solid Fuel Chemistry*, 48(1), 22–35. doi:10.3103/s0361521914010030

Rostrup-Nielsen, J.R. et al., Hydrogen and Synthesis Gas by steam and CO<sub>2</sub> reforming, *Adv Catalysis*, 2002, v. 47, p65-139.

Aasberg-Petersen, K. et al., Technologies for Large-Scale gas conversion. *Applied Catalysis A: General*, v. 221, 2001, p. 379-387.

Agrolink-Marianna. (2010, junho 9). Produção de biocombustível é feita em ciclo fechado. Portal Agrolink. [https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-de-biocombustivel-e-feita-em-ciclo-fechado\\_111643.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-de-biocombustivel-e-feita-em-ciclo-fechado_111643.html). Acesso em 10 de outubro de 2023.

As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019 - Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). (2020, dezembro 1). Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

Biocombustíveis. ([s.d.]). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/biocombustiveis>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

CNPE passa a ter competência para fixar teor de etanol anidro na gasolina. (2022, janeiro 14). Ministério de Minas e Energia. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-passa-a-ter-competencia-para-fixar-teor-de-etanol-anidro-na-gasolina>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

Friedrich, J., Ge, M., & Pickens, A. ([s.d.]). A trajetória dos 10 maiores emissores de carbono desde o Acordo de Paris em gráficos interativos. Recuperado 19 de dezembro de 2023, de <https://www.wribrasil.org.br/noticias/trajetoria-dos-10-maiores-emissores-de-carbono-desde-o-acordo-de-paris-em-graficos>. Acesso em 15 de outubro de 2023.

Governo oficializa ampliação da mistura de biodiesel no diesel vendido no país. (2023, março 29). Serviços e Informações do Brasil. <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2023/03/governo-oficializa-ampliacao-da-mistura-de-biodiesel-no-diesel-vendido-no-pais>. Acesso em 15 de outubro de 2023.

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: A review1Journal series #12109, agricultural research division, institute of agriculture and natural resources, university of

Nebraska–Lincoln.1. Bioresource Technology, 70(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00025-5)

Seth. (2020, julho 23). Top 15 countries by GDP in 2022. Global PEO Services. <https://globalpeoservices.com/top-15-countries-by-gdp-in-2022/>

([S.d.]). Climatewatchdata.org. [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end\\_year=2021&source=GCP&start\\_year=1960](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2021&source=GCP&start_year=1960)

Davis BH. Overview of reactors for liquid phase Fischer-Tropsch syntheses. Catal Today 2002;71:249e300.

Perrone, O.V.; A indústria petroquímica no Brasil, IBP, Interciência, 2010.

Perrone, O.V.; Silva Filho, A.M., Processos Petroquímicos, IBP,2013.

## APÊNDICE A – Lista de artigos

O apêndice a seguir diz respeito aos artigos analisados ao longo do trabalho. Para melhor compreensão, cada artigo está enumerado e correspondido na tabela abaixo.

<b>Número</b>	<b>Título de Artigo</b>
1	The Conversion of Waste Biomass into Carbon-Supported Iron Catalyst for Syngas to Clean Liquid Fuel Production
2	Process Analysis of Chemical Looping Gasification of Biomass for Fischer-Tropsch Crude Production with Net-Negative CO <sub>2</sub> Emissions: Part 1
3	Highly Efficient ZIF-67-Derived PtCo Alloy-CN Interface for Low-Temperature Aqueous-Phase Fischer-Tropsch Synthesis
4	Design of a Fischer-Tropsch multi-tube reactor fitted in a container: A novel design approach for small scale applications
5	Energy and exergy analysis of different biomass gasification coupled to Fischer-Tropsch synthesis configurations
6	A model of an integrated hydrothermal liquefaction, gasification and Fischer-Tropsch synthesis process for converting lignocellulosic forest residues into hydrocarbons
7	Iridium boosts the selectivity and stability of cobalt catalysts for syngas to liquid fuels
8	Activity and selectivity enhancement of silica supported cobalt catalyst for alcohols production from syngas via Fischer-Tropsch synthesis
9	Fischer-Tropsch synthesis: Towards a highly-selective catalyst by lanthanide promotion under relevant CO <sub>2</sub> syngas mixtures
10*	Advances in membranes and membrane reactors for the Fischer-Tropsch synthesis process for biofuel production
11**	The effect of the particle size on Fischer-Tropsch synthesis for ZSM-5 zeolite supported cobalt-based catalysts†
12	Fischer-Tropsch products from biomass-derived syngas and renewable hydrogen
13	Life cycle sustainability assessment of synthetic fuels from date palm waste
14	Synthesis of modified TiO <sub>2</sub> -based catalysts for the photocatalytic production of solar fuels from synthesis gas
15	Fuel-lean combustion synthesized cobalt catalysts for Fischer-Tropsch reaction
16*	Evaluation of Fischer-Tropsch synthesis to light olefins over Co- and Fe-based catalysts using artificial neural network
17	Study on wax-free liquid fuels synthesis from H <sub>2</sub> -deficient syngas over Co-Mn/meso-ZSM-5 catalyst
18	Active phases for high temperature Fischer-Tropsch synthesis in the silica supported iron catalysts promoted with antimony and tin
19	Solar fuels from supercritical water gasification of algae: Impacts of low-cost hydrogen on reformer configurations
20	Ru1Co Single-Atom Alloy for Enhancing Fischer-Tropsch Synthesis
21*	Catalyst design for maximizing C <sub>5</sub> + yields during Fischer-Tropsch synthesis
22	A novel production route and process optimization of biomass-derived paraffin wax for pharmaceutical application
23	Effects of promoters (Mn, Mg, Co and Ni) on the Fischer-Tropsch activity and selectivity of KCuFe/mesoporous-alumina catalyst

24	Controllable Fe/HCS catalysts in the Fischer-Tropsch synthesis: Effects of crystallization time
25*	Biomass-derived syngas production via gasification process and its catalytic conversion into fuels by Fischer Tropsch synthesis: A review
26**	Modelling of Microchannel Reactors for Fischer-Tropsch Synthesis
27	Dynamically Operated Fischer–Tropsch Synthesis in PtL—Part 2: Coping with Real PV Profiles
28	Life cycle assessment of renewable diesel production via anaerobic digestion and Fischer-Tropsch synthesis from miscanthus grown in strip-mined soils
29	Investigating the feasibility of valorizing residual char from biomass gasification as catalyst support in Fischer-Tropsch synthesis
30*	Gibbs energy minimization with cubic equation of state and Henry's law to calculate thermodynamic equilibrium of Fischer-Tropsch synthesis
31	Effect of K, Co and Mo addition in Fe-based catalysts for aviation biofuels production by Fischer-Tropsch synthesis
32	Biomass-derived CO <sub>2</sub> rich syngas conversion to higher hydrocarbon via Fischer-Tropsch process over Fe–Co bimetallic catalyst
33*	Comprehensive Life Cycle Evaluation of Jet Fuel from Biomass Gasification and Fischer–Tropsch Synthesis Based on Environmental and Economic Performances
34	Microstructured Fischer-Tropsch Reactor Scale-up and Opportunities for Decentralized Application
35	Selective CO Hydrogenation Over Bimetallic Co-Fe Catalysts for the Production of Light Paraffin Hydrocarbons (C <sub>2</sub> –C <sub>4</sub> ): Effect of Space Velocity, Reaction Pressure and Temperature
36*	Boosting carbon efficiency of the biomass to liquid process with hydrogen from power: The effect of H <sub>2</sub> /CO ratio to the Fischer-Tropsch reactors on the production and power consumption
37	Catalytic assessment of Fe-La-Zr trimetallic mixed oxides in the Fischer-Tropsch synthesis using bio-syngas
38*	110th Anniversary: Fischer–Tropsch Synthesis for Multiphase Product Recovery through Reactive Distillation
39*	Mathematical model of Fischer-Tropsch synthesis using variable alpha-parameter to predict product distribution
40	Increasing the activity and selectivity of Co-based FTS catalysts supported by carbon materials for direct synthesis of clean fuels by the addition of chromium
41	Fischer–Tropsch synthesis: product distribution, operating conditions, iron catalyst deactivation and catalyst speciation
42	Fabrication of Fe <sub>2</sub> C Embedded in Hollow Carbon Spheres: a High-Performance and Stable Catalyst for Fischer-Tropsch Synthesis
43	The green fuel from carbon waste: optimization and product selectivity model studies
44	Nanostructured Catalyst for Fischer–Tropsch Synthesis
45	Direct conversion of simulated propene-rich bio-syngas to liquid iso-hydrocarbons via FT-oligomerization integrated catalytic process
46	Tailoring of Fe/MnK-CNTs composite catalysts for the fischer-tropsch synthesis of lower olefins from syngas
47	Fischer-Tropsch synthesis—Investigation of the deactivation of a Co catalyst by exposure to aerosol particles of potassium salt

48*	Recent advances in the investigation of nanoeffects of Fischer-Tropsch catalysts
49	Production of diesel from biomass and wind power – Energy storage by the use of the Fischer-Tropsch process
50	Bifunctional Catalysis for the Conversion of Synthesis Gas to Olefins and Aromatics
51	Performance of supported and unsupported Fe and Co catalysts for the direct synthesis of light alkenes from synthesis gas
52*	Thermodynamic analysis for Fischer-Tropsch synthesis using biomass
53	Effect of synthesis and activation methods on the catalytic properties of silica nanospring (NS)-supported iron catalyst for Fischer-Tropsch synthesis
54	Fischer-Tropsch Synthesis at High Conversions on Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Supported Co Catalysts with Different H <sub>2</sub> /CO Levels
55	Efficient utilization of bimetallic catalyst in low H <sub>2</sub> /CO environment syngas for liquid fuel production
56*	Particle Size and Crystal Phase Effects in Fischer-Tropsch Catalysts
57*	The influence of catalyst factors for sustainable production of hydrocarbons via Fischer-Tropsch synthesis
58	Selectively Converting Biomass to Jet Fuel in Large-scale Apparatus
59*	Techno-economic assessment of biogas to liquid fuels conversion technology via Fischer-Tropsch synthesis
60	Functionalized Natural Carbon-Supported Nanoparticles as Excellent Catalysts for Hydrocarbon Production
61*	Steam gasification of biomass with subsequent syngas adjustment using shift reaction for syngas production: An Aspen Plus model
62	The effect of syngas composition on the Fischer Tropsch synthesis over three-dimensionally ordered macro-porous iron based catalyst
63*	Enhancements in Biomass-to-Liquid processes: Gasification aiming at high hydrogen/carbon monoxide ratios for direct Fischer-Tropsch synthesis applications
64	Fischer-Tropsch synthesis to light olefins over iron-based catalysts supported on KMnO <sub>4</sub> modified activated carbon by a facile method
65*	Exergy analysis of alternative configurations of a system coproducing synthetic fuels and electricity via biomass gasification, Fischer-Tropsch synthesis and a combined-cycle scheme
66	Fischer-Tropsch synthesis of olefin-rich liquid hydrocarbons from biomass-derived syngas over carbon-encapsulated iron carbide/iron nanoparticles catalyst
67	Production of motor fuels for cold climates with simultaneous refining of vegetable and crude oil stock
68	Preparation of Bio-hydrogen and Bio-fuels from Lignocellulosic Biomass Pyrolysis-Oil
69	Techno-environmental analysis of the biomass gasification and Fischer-Tropsch integrated process for the co-production of bio-fuel and power
70	Formic Acid-Based Fischer-Tropsch Synthesis for Green Fuel Production from Wet Waste Biomass and Renewable Excess Energy
71	Effect of additives on Fischer-Tropsch synthesis of gas from biomass gasification over a Ru-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalyst
72	Enhanced formation of $\alpha$ -olefins by the pulse process between Fischer-Tropsch synthesis and N <sub>2</sub> purging

73	Size and promoter effects on stability of carbon-nanofiber-supported iron-based Fischer-Tropsch catalysts
74*	Production of synthetic fuels by high-temperature co-electrolysis of carbon dioxide and steam with Fischer-Tropsch synthesis
75	Fischer-Tropsch Synthesis to Lower Olefins over Potassium-Promoted Reduced Graphene Oxide Supported Iron Catalysts
76	Active phase distribution changes within a catalyst particle during Fischer-Tropsch synthesis as revealed by multi-scale microscopy
77	Synthesis of carbon-encapsulated iron nanoparticles from wood derived sugars by hydrothermal carbonization (HTC) and their application to convert bio-syngas into liquid hydrocarbons
78	Production of Fischer-Tropsch hydrocarbons via oxygen-blown gasification of charred pinewood pellets
79	Selective Formation of Hägg Iron Carbide with g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> as a Sacrificial Support for Highly Active Fischer-Tropsch Synthesis
80	Heterogeneously catalyzed reactive extraction for biomass valorization into chemicals and fuels
81	Design of Carbon-Encapsulated Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Nanocatalyst with Enhanced Performance for Fischer-Tropsch Synthesis
82	Effect of high-temperature pre-reduction in Fischer-Tropsch synthesis on Fe/ZrO <sub>2</sub> catalysts
83	Fischer-Tropsch synthesis: Effect of ammonia in syngas on the Fischer-Tropsch synthesis performance of a precipitated iron catalyst
84	Fe-based Fischer Tropsch synthesis of biomass-derived syngas: Effect of synthesis method
85*	Modeling of a Slurry Bubble Column Reactor for the Production of Biofuels via the Fischer-Tropsch Synthesis
86	Opportunities for intensification of Fischer-Tropsch synthesis through reduced formation of methane over cobalt catalysts in microreactors
87	Jet fuel synthesis from Fischer-Tropsch product under mild hydrocracking conditions using Pt-loaded catalysts
88*	Thermodynamic characterization of hydrocarbon synthesis from syngas using fischer-tropsch type reaction
89*	Jet fuel synthesis in hydrocracking of Fischer-Tropsch product over Pt-Loaded zeolite catalysts prepared using microemulsions
90	Nano-iron carbide synthesized by plasma as catalyst for Fischer-Tropsch synthesis in slurry reactors: The role of iron loading and K, Cu promoters
91*	Reactivity of CO on carbon-covered cobalt surfaces in fischer-tropsch synthesis
92	Microcalorimetric studies on Co-Re/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalysts with na impurities for fischer-tropsch synthesis
93*	Sustainability assessment of the coal/biomass to fischer-tropsch fuel processes
94	Alternative route of process modification for biofuel production by embedding the Fischer-Tropsch plant in existing stand-alone power plant (10 MW) based on biomass gasification - Part I: A conceptual modeling and simulation approach (a case study in Thailand)
95	Efficient hierarchically structured composites containing cobalt catalyst for clean synthetic fuel production from Fischer-Tropsch synthesis
96*	Carbon nanohybrids used as catalysts and emulsifiers for reactions in biphasic aqueous/organic systems

97	Biosyngas conversion by fischer-tropsch synthesis: Experimental results and multi-scale simulation of a pbr with high fe loaded supported catalysts
98	Fischer-Tropsch synthesis catalyzed by solid nanoparticles at the water/oil interface in an emulsion system
99**	Insight on biomass supply and feedstock definition for Fischer-Tropsch based BTL processes   Aperçu sur l'approvisionnement en biomasse et la caractérisation des charges pour les procédés de synthèse de biocarburants par voie BTL
100**	Effect of reaction conditions on the catalytic performance of ruthenium supported alumina catalyst for Fischer-Tropsch Synthesis
101	Effects of sodium and sulfur on catalytic performance of supported iron catalysts for the Fischer-Tropsch synthesis of lower olefins
102*	Liquid Fuels from Alternative Carbon Sources Minimizing Carbon Dioxide Emissions
103	Platinum-modulated cobalt nanocatalysts for low-temperature aqueous-phase fischer-tropsch synthesis
104*	Comprehensive techno-economic assessment of dimethyl ether (DME) synthesis and Fischer-Tropsch synthesis as alternative process steps within biomass-to-liquid production
105	Process efficiency of biofuel production via gasification and Fischer-Tropsch synthesis
106	Long-term operation of biomass-to-liquid systems coupled to gasification and Fischer-Tropsch processes for biofuel production
107	Process synthesis of hybrid coal, biomass, and natural gas to liquids via Fischer-Tropsch synthesis, ZSM-5 catalytic conversion, methanol synthesis, methanol-to-gasoline, and methanol-to-olefins/distillate technologies
108	Influence of operating conditions on the performance of biomass-based Fischer-Tropsch synthesis
109	Conversion enhancement of tubular fixed-bed reactor for Fischer-Tropsch synthesis using static mixer
110**	Process estimation for effective development of biomass to liquids process
111*	Time resolved selectivity for unsteady regimes in catalytic petroleum chemistry
112*	Process comparison of biomass-to-liquid (BtL) routes Fischer-Tropsch synthesis and methanol to gasoline
113	Process development and demonstration of coal and biomass indirect liquefaction to synthetic iso-paraffinic kerosene
114	Fischer-tropsch synthesis on hierarchically structured cobalt nanoparticle/carbon nanofiber/carbon felt composites
115	Effect of biomass-derived synthesis gas impurity elements on cobalt Fischer-Tropsch catalyst performance including in situ sulphur and nitrogen addition
116	Effect of alkali metal impurities on Co-Re catalysts for Fischer-Tropsch synthesis from biomass-derived syngas
117	Fischer-Tropsch synthesis over LaFe <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> O <sub>3</sub> perovskites from a simulated biosyngas feed
118*	Thermodynamic optimization of biomass gasification for decentralized power generation and Fischer-Tropsch synthesis
119*	Synthesis, modeling and exergy analysis of atmospheric air blown biomass gasification for Fischer-Tropsch process

120	Researching Fe catalyst suitable for CO <sub>2</sub> -containing syngas for Fischer-Tropsch synthesis
121	Hydrocarbon production via Fischer-Tropsch synthesis from H <sub>2</sub> -poor syngas over different Fe-Co/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bimetallic catalysts
122*	Enhancing cobalt dispersion in supported Fischer-Tropsch catalysts via controlled decomposition of cobalt precursors
123	Synthesis of gasoline-range hydrocarbons over Mo/HZSM-5 catalysts
124	The application of zeolites and periodic mesoporous silicas in the catalytic conversion of synthesis gas
125	Fischer-tropsch synthesis over Ru catalysts by using syngas derived from woody biomass
126*	A gasification-based biorefinery for the pulp and paper industry
127	Bench-scale production of hydrocarbon liquid fuel from woody biomass via gasification
128*	Future refining Catalysis - Introduction of biomass feedstocks
129**	Evaluation of CO <sub>2</sub> mitigation by BTL biofuels from woody biomass through simulated case studies
130*	Distributed processing of biomass to bio-oil for subsequent production of Fischer-Tropsch liquids
131**	Reactors for Fischer-Tropsch synthesis
132*	Converting biomass derived synthetic gas to fuels via Fisher-Tropsch synthesis
133	The effect of synthesis gas composition on the Fischer-Tropsch synthesis over Co/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and Co-Re/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalysts
134	Combining Fischer-Tropsch (FT) and hydrocarbon reactions under FT reaction conditions - Catalyst and reactor studies with Co or Fe and Pt/ZSM-5
135	Water gas shift reaction kinetics in Fischer-Tropsch synthesis over an industrial Fe-Mn catalyst
136	Development of sulfur tolerant catalysts for the synthesis of high quality transportation fuels
137	Catalytic investigation for Fischer-Tropsch synthesis from bio-mass derived syngas
(*) O artigo não era relevante para análise e/ou não apresentava as informações necessárias.	
(**) O artigo não estava disponível na base de dados.	

## APÊNDICE B – Lista de parâmetros da síntese de Fischer Tropsch

O apêndice a seguir diz respeito aos parâmetros que foram estudados. Para melhor compreensão, cada artigo está enumerado e correspondido na tabela abaixo.

Número	Temperatura	Pressão	Catalisador	Produto	Matéria Prima do Gás de Síntese	Reator FT	Razão H <sub>2</sub> /CO
1	350°C	20 bar	Fe-C-K	Gasolina e diesel	Biomassa residual	Reator de leito fixo	1
2	220°C	30 bar	Cobalto	Nafta; Diesel; Cera	Resíduos florestais	Reator não definido	2,1
3	453 K	3 MPa	PtCo/NC híbrido	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator não definido	2
4	468 K	10 bar	Co-SiO	HC líquido não definido	Resíduos sólidos urbanos	Reator multitubular	2
5	230°C	30 bar	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator não definido	2,1
6	250 °C	30 bar	Rutênio ou Cobalto	Combustível de aviação	Resíduos florestais lignocelulósicos	Reator plug-flow	2,05
7	483 K	2 MPa	Co-Ir/CNT	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
8	220°C	3 MPa	Co/SiO <sub>2</sub> -EOAM (ethanolamine)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
9	230°C	20 bar	Co/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	2
10*							
11**							
12	225°C	21 barg	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n-parafina	Cavaco de madeira	Reator de coluna de bolha de lama	Razão não definida
13	220°C	Pressão não definida	Cobalto promovido por zircônio	Parafinas de cadeia longa	Resíduo de tamareira	Reator de leito fixo	Razão não definida
14	Temperatura não definida	Pressão não definida	Co e Fe-P25	Etanol	Matéria Prima não definida	Reator fotocatalítico em fase gasosa	2
15	230°C	30 bar	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
16*							
17	240°C	15 bar	Co-1Mn/meso-ZSM-5	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
18	350°C	10 bar	FeSb/SiO <sub>2</sub> e FeSn/SiO <sub>2</sub> (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
19	220°C	20 bar	Cobalto	Gasolina e diesel	Algas	Reator microtubular	1,5
20	Temperatura não definida	2,0 MPa	Ru <sub>1</sub> Co (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
21*							

22	230°C	20 bar	Cobalto	Parafina	Cavacos de madeira	Reator de coluna de bolhas de lama	Razão não definida
23	270°C	300 psi	Co-KCuFe/mAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni-KCuFe/mAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn-KCuFe/mAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mg-KCuFe/mAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1,25
24	340°C	2.1 MPa	Fe/HCS (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo tubular	1
25*							
26**							
27	240°C	30 bar	Cobalto	HC líquido não definido	Biomassa	Reator microestruturado de leito fixo	2,2
28	200°C	30 bar	Cobalto	Biodiesel drop-in	Miscanthus	Reator de lama	Razão não definida
29	240°C	1,6 MPa	Ferro e cobalto	HC líquido não definido	Carvão de gaseificação de biomassa	Reator de leito fixo	2
30*							
31	250°C	20 bar	FeK, FeMo, FeCo	querosene (olefina)	Matéria Prima não definida	Reator tubular de leito fixo	2
32	240°C	2,0 MPa	catalisador bimetálico Fe-Co (10Fe/20Co/SiO <sub>2</sub> )	HC líquido não definido	Biomassa	Reator contínuo de leito fixo	0,5 e 1,0
33*							
34	513 K	3 MPa	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator microestruturado de leito empacotado	1,72
	508 K	2 MPa	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator microestruturado de leito empacotado	1,76
	513 K	1,5 MPa	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator microestruturado de leito empacotado	1,67
35	350°C	20 bar	Co-Fe	Parafina leve	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	3
36*							
37	300°C	10 bar	Fe-K	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	1
38*							
39*							
40	493 K	3 MPa	cobalto	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
41	250°C	1.85, 10.85 e 20.85 bar	FeCuKSiO <sub>2</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
42	340°C	20 MPa	Fe/HCS (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator não definido	1
43	609 K	9,16 bar	Co-Ni-Ce/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1

44	493 K / 433 K / 613 K / -	3 MPa / - / 2 MPa / -	Fe5C2/Co (nano) / Pt-Co NPs / Fe-Zn-0.81Na / FeZnNa@0.6-ZSM-5	HC líquido não definido / parafina / olefina / aromático	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo / - / - / -	- / - / 2,7 / -
45	280°C	4Mpa	HZSM-5/FeMn	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	1,5
46	270°C	2 MPa	Fe/MnK-CNTs (nano)	olefina leve	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
47	483 K	20 bar	Co/Re/γ-alumina com deposição via aerosol de KNO <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	2,1
48*							
49	200°C	20 bar	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cera, diesel	Biomassa	Reator de lama	2
50	400°C	1 bar	Fe/ZSM-5	Olefina / aromáticos	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	3
51	350°C ou 420 °C	1,5 bar	Ferro ou Cobalto	Olefina leve	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	3 ou 1
52*							
53	270°C	Pressão não definida	Fe/NS (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Microreator de leito fixo	2
54	210°C	20 bar	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2,5
55	240°C	2 MPa	Fe/Co	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1,48
56*							
57*							
58	240°C	2 MPa	Co/SiO <sub>2</sub>	Combustível de Aviação	Cavaco de madeira	Reator de lama	1,9
59*							
60	260°C	1 MPa	Co@NC (nanocatalisador)	Parafina	Farelo de arroz	Reator de leito fixo	1,9
61*							
62	280°C	2,14 MPa	Ferro	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo microtubular	1
63*							
64	320°C	2MPa	Fe-2MnK-AC	Olefina	Biomassa	Reator de leito fixo	1
65*							
66	310°C	1000 psig	Fe/CN (nano)	Olefina	Cavacos de madeira de pinho	Reator de leito fixo	0,9
67	360°C	6 MPa	Cobalto	HC líquido não definido	Madeira	Reator não definido	Razão não definida
68	270°C	3 MPa	Co/SiO <sub>2</sub>	Parafina	Lignocelulose	Microreator de alta pressão	2,08
69	220°C	20 bar	Cobalto	Parafina	Farelo de arroz	Reator não definido	2,37
70	230°C	25 bar	Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Resíduo de biomassa úmido	Reator de leito fixo multitubular	1
71	523K	2 MPa	Ru-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	1,97
72	497K	2 MPa	Fe-Co	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2

73	340°C	20 bar	Fe/CN (nanocatalisador)	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
74*							
75	613 K	20 bar	Ferro	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator tubular de leito fixo	1
76	250°C	1 bar	Co/TiO <sub>2</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
77	330°C	6,89 MPa	Ferro (nanocatalisador)	Olefina	Madeira	Reator de leito fixo	0,86
78	239°C	6,8 atm	Co/SiO <sub>2</sub>	Parafina	Pellets de madeira de pinho carbonizados	Reator de leito fixo	2,09
79	340°C	20 bar	Fe/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
80	220°C		Ru/TiO <sub>2</sub>	Parafina	Biomassa	Reator de leito fixo	2
81	553 K	2 MPa	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
82	300°C	2,02 Mpa	Fe/ZrO <sub>2</sub>	Olefina leve	Matéria Prima não definida	Microreator de leito fixo	2
83	220, 260, ou 270°C	1,3 Mpa	Fe/Si/Cu/K	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator de fase de lama	0,7
84	280°C	2,5 Mpa	100Fe/4Cu/4K/6Z n	Cera e Olefina	Biomassa	Reator de leito fixo	0,77
85*							
86	493 K	1,5 MPa	Cobalto	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Microreator	2,1
87	270°C	3 MPa	Co-Mn-Zr/SiO <sub>2</sub>	Combustíve l de Aviação	Madeira	Reator de leito de lama	2,06
88*							
89*							
90	250°C	31 bar	Nano-iron carbides (NFeC)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito de lama	Razão não definid a
91*							
92	483 K	20 bar	Co-Re/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	2,1
93*							
94	180/250°C	1/4 atm	Ru/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Pellet de madeira	Reator de leito fixo multitubular	1,2
95	215°C	40 bar	Co/TiO <sub>2</sub> /CNT-a- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
96*							
97	260°C	2 Mpa	Fe <sub>30</sub> K <sub>2</sub> Cu <sub>3,75</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
98	200°C	600 psi	Ru-CNT/MgO- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (nanocatalisador)	Parafina	Matéria Prima não definida	Autoclave em batelada	1,2
99**							
100**							
101	340°C	20 bar	Fe/a-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Olefina leve	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1
102*							

103	160°C	3 Mpa	Pt-Co NPs	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator não definido	2
104*							
105	260°C	23,2 bar	Ferro	Olefina	Biomassa	Reator de leito fixo	2
106	310°C	13,5 bar	Ferro	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	2
107	408°C	16 bar	ZSM-5	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator não definido	Razão não definida
108	230°C	24 bar	Ru-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator de lama	2,04
109	180°C	1 atm	Ru/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
110**							
111*							
112*							
113	260°C	18,9 bar	Fe/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Olefina	Carvão + biomassa	Reator de leito fixo	1,33
114	483 K	2 MPa	Co/P-CNF (nanocatalisador)	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2,1
115	210°C	20 bar	Cobalto	parafina	Biomassa	Reator de leito fixo	2,1
116	210°C	20 bar	Co-Re/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	2,1
117	300°C	1 MPa	LaFe <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Biomassa	Reator de leito fixo	1
118*							
119*							
120	508 K	1,6 MPa	Ferro	Olefina	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	1,5
121	483 K	20 bar	Fe-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Olefina + Parafina	Biomassa	Reator de leito fixo	1
122*							
123	623 K	500 psig	Mo/HZSM-5	Aromáticos / parafina cíclica	Biomassa	Reator de leito fixo	1
124	220°C	20 bar	Co/SBA-15	Gasolina	Matéria Prima não definida	Reator não definido	2
125	503 K	1 MPa	Ru/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HC líquido não definido	Madeira	CSTR	2
126*							
127	295°C	3 MPa	Co/SiO <sub>2</sub>	HC líquido não definido	Madeira	Reator de lama	0,82
128*							
129**							
130*							
131**							
132*							
133	483 K	20 bar	Co/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e Co-Re/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Parafina	Biomassa	Reator de leito fixo	2,1
134	250°C	1 MPa	Co ou Fe e Pt/ZSM-5	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2
135	553 K	16,5 bar	Fe-Mn	HC líquido não definido	Matéria Prima não definida	Reator de leito fixo	2,02

136	503 K	1,6 MPa	Fe/MnO	Olefina leve	Matéria Prima não definida	Reator não definido	2
137	300°C	10 atm	Fe/Cu/K	Olefina leve	Biomassa	Reator de leito fixo	4,73
(*) O artigo não era relevante para análise e/ou não apresentava as informações necessárias.							
(**) O artigo não estava disponível na base de dados.							