

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

Henrique Santucci Breves Oliveira



COMPARATIVO DOS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO
PARA O TRANSPORTE DE BIODIESEL NO BRASIL

RIO DE JANEIRO

2023

Henrique Santucci Breves Oliveira

COMPARATIVO DOS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO PARA O
TRANSPORTE DE BIODIESEL NO BRASIL

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): Carlos André Vaz Junior; Letícia de Carvalho Rodrigues.

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).

Henrique Santucci Breves Oliveira

COMPARATIVO DOS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO PARA O
TRANSPORTE DE BIODIESEL NO BRASIL

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 05 de junho de 2023.

Carlos André Vaz Junior

Fábio de Almeida Oroski, DSc, UFRJ

Michelle Gonçalves Mothé, DSc, UFRJ

Rio de Janeiro

2023

Dedico este trabalho aos meus futuros filhos e netos, com esperança de que tenha feito a minha parte na missão de deixar a eles um mundo melhor do que aquele que recebi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que sempre confiou no meu potencial, em especial à minha mãe, meu pai, minhas avós e meus avôs. A eles agradeço por me tornarem a pessoa que sou hoje.

Aos colegas e amigos que me ajudaram na construção deste trabalho e a aqueles que me fizeram companhia nas noites em claro.

Aos professores inspiradores que tive ao longo desta jornada, que dão alma às letras e números que enchem seus quadros e assim dão sentido à profissão de engenharia.

Ao programa Rede Magalhães e à UFRJ por me proporcionarem a oportunidade de realizar parte dos meus estudos na Finlândia. Assim como os colegas, amigos e professores que conheci lá por tudo que me ensinaram sobre a engenharia, o mundo e a vida.

“Fica mais fácil. Todo dia fica um pouco mais fácil. Mas você tem que fazer isso todos os dias – essa é a parte difícil. Mas fica mais fácil.”

Bojack Horseman

RESUMO

SANTUCCI BREVES OLIVEIRA, Henrique. **COMPARATIVO DOS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO PARA O TRANSPORTE DE BIODIESEL NO BRASIL**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A NDC brasileira de 2022 estabelece uma meta de redução de 50% suas emissões de gases de efeito estufa até 2030, comparado ao ano de 2005. O biodiesel é, hoje, uma das soluções para a descarbonização do setor de transporte rodoviário de carga. Foi encontrado que a maior parte do transporte de biodiesel é feito através do modal rodoviário, dessa forma o estudo analisou a viabilidade técnica e econômica de utilizar a malha ferroviária para o transporte do biodiesel, desde os produtores até os centros consumidores. O trabalho avaliou os gargalos técnicos do modal ferroviário e a dificuldade de interoperabilidade na malha ferroviária brasileira. No estudo foi possível determinar que o modal ferroviário apresenta diversas vantagens com relação ao modal rodoviário que podem ser exploradas no contexto de transporte de biodiesel. Dessa forma, foi possível determinar que existem fluxos ferroviários que podem ser utilizados para o transporte de biodiesel com viabilidade técnica e econômica. Os principais fluxos que se mostram competitivos economicamente são originados na região sul, a maior produtora de biodiesel do país em 2021. Assim, se estabeleceu a viabilidade econômica e técnica apresentada por esse modal no transporte do biodiesel.

Palavras-chave: biodiesel; modais de transporte; logística; ferrovias; NDC; sustentabilidade

ABSTRACT

SANTUCCI BREVES OLIVEIRA, Henrique. **COMPARATIVO DOS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO PARA O TRANSPORTE DE BIODIESEL NO BRASIL**. 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 Brazilian NDC for 2022 sets a target of reducing its greenhouse gas emissions by 50% by 2030, compared to the year 2005. Biodiesel is currently one of the solutions for decarbonizing the road freight transport sector. It was found that the majority of biodiesel transportation is done through the road mode, so the study analyzed the technical and economic feasibility of using the railway network for biodiesel transportation, from producers to consumer centers. The study assessed the technical bottlenecks of the railway mode and the difficulty of interoperability in the Brazilian railway network. The study was able to determine that the railway mode offers several advantages over the road mode that can be exploited in the context of biodiesel transportation. Thus, it was possible to determine that there are railway flows that can be used for biodiesel transportation with technical and economic viability. The main flows that are economically competitive originate in the southern region, the largest biodiesel producer in the country in 2021. Therefore, the economic and technical viability presented by this mode of transportation for biodiesel was established.

Keywords: biodiesel; modes of transportation; logistics, rail, NDC, sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do Teor de Biodiesel no Óleo Diesel B (2021).....	22
Figura 2 – Exemplificação de Reação de Transesterificação de triglicerídeos para formação de biodiesel.....	23
Figura 3 – Diagrama de Blocos do Processo de Produção do Biodiesel.....	25
Figura 4 - Matriz de matérias primas para produção de biodiesel, em m ³ (2021).....	27
Figura 5 - Produção (em mil toneladas) de Soja por Região, safra de 21/22.....	27
Figura 6 - Destino da Soja no Brasil (2021).....	28
Figura 7 - Evolução da Participação das Exportações do Complexo da Soja por Produto.....	29
Figura 8 - Preço da Soja - Indicador Cepea/ Paraná.....	30
Figura 9 - Preço do Óleo Bruto de Soja – Indicador de São Paulo.....	31
Figura 10 - Produção de Soja por UF (Safra 21/22).....	32
Figura 11 - Representação Geográfica das Unidades de Processamento de Soja, contempla unidades paradas e ativas (2022).....	33
Figura 12 - Taxa de Utilização da Capacidade Instalada para o Processamento de Soja (2021).....	34
Figura 13 - Evolução da Produção Nacional de Biodiesel.....	34
Figura 14 - Evolução da Produção e do Consumo de Biodiesel.....	35
Figura 15 - Evolução da Representatividade das Regiões Sul e Centro-Oeste na Produção Nacional de Biodiesel.....	37
Figura 16 - Localização das Plantas Produtoras de Biodiesel (2021).....	38
Figura 17 - Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel entre as Regiões do Brasil (2021).....	39
Figura 18 - Mapa dos Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel (em mil m ³)......	42
Figura 19 - Cadeia de Suprimentos do Biodiesel.....	44
Figura 20 - Matriz de Consumo Interno de Biodiesel (m ³).....	45
Figura 21 - Principais Fluxos de Carga de Biodiesel.....	45
Figura 22 - Mapa Corredores Logísticos de Biodiesel.....	46
Figura 23 - Origens e Volumes das Movimentações Ferroviárias de Biodiesel (2021).....	47
Figura 24 - Fluxos Históricos Ferroviários de Biodiesel (2021).....	47
Figura 25 - Movimentação Aquaviária de Biodiesel (2021).....	48

Figura 26 - Mapa de Fluxos de Transporte de Biodiesel.....	55
Figura 27 - Caminhão Axor 2544 6x2 Multiuso da Mercedes-Benz	56
Figura 28 - Mapa de Ferrovias Brasileiras em Operação (2022)	59
Figura 29 - Participação dos Modais na Matriz de Transportes de Países com Dimensões Próximas ao Brasil.....	60
Figura 30 - Movimentação Ferroviária por Ferrovia (2021)	60
Figura 31 - Concessões Rumo	62
Figura 32 - Concessões VALE	64
Figura 33 - Concessões VLI	65
Figura 34 - Concessões CSN	66
Figura 35 - Concessão FTC	68
Figura 36 - Concessão Ferroeste	69
Figura 37 - Descarrilhamento de trem da Norfolk Southern em East Palestine, Ohio.....	73
Figura 38 - Curvas de Frete das Ferrovias Seleccionadas.....	76
Figura 39 - Mapa de Fluxos do Transporte de Biodiesel com a Incorporação do Modal Ferroviário	80
Figura 40 - Mapa de Fluxos Ferroviários do Transporte de Biodiesel com a Incorporação do Modal Ferroviário, sobre as Ferrovias Utilizadas no Transporte	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade Instalada para Processamento de Soja por UF de Unidades Ativas e Paradas (2022).....	32
Tabela 2 - Produção de Biodiesel e Capacidade Instalada por UF (2021).....	36
Tabela 3 - Capacidade Instalada para Produção de Biodiesel das Cinco Maiores Plantas (2021)	37
Tabela 4 - Vendas de Óleo Diesel B por Região e UF (2021)	40
Tabela 5 - Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel entre as Regiões e UFs do Brasil (2021)	41
Tabela 6 - Bases de Distribuição e Armazenagem por Região e UF (2021).....	43
Tabela 7 - Matriz de Atendimento de Supridores e Compradores (em milhares de metros cúbicos).....	54
Tabela 8 - Coeficientes de Piso Mínimo para Transporte Rodoviário de Diferentes Cargas em Caminhão com 6 Eixos.....	57
Tabela 9 - Tabela Resumo das Ferrovias no Brasil	70
Tabela 10 - Tarifas Ferroviárias	75
Tabela 11 - Comparativo de Distâncias Rodoviárias e Ferroviárias.	76
Tabela 12 - Matriz de Atendimento de Compradores e Supridores de Biodiesel com a Utilização do Modal Ferroviário, em metros cúbicos (2021).....	79
Tabela 13 - Matriz de Distâncias de Atendimento dos Fluxos Mapeados por Ferrovia	82
Tabela 14 - Matriz de Tarifas de Atendimento dos Fluxos Mapeados por Ferrovia.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOVE	<i>Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais</i>
ANP	<i>Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis</i>
ANTAQ	<i>Agência Nacional de Transportes Aquaviários</i>
ANTF	<i>Associação Nacional do Transporte Ferroviário</i>
ANTT	<i>Agência Nacional de Transportes Terrestres</i>
APROBIO	<i>Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil</i>
CEPEA	<i>Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada</i>
CNT	<i>Confederação Nacional do Transporte</i>
CONAB	<i>Companhia Nacional de Abastecimento</i>
CONAB	<i>Companhia Nacional de Abastecimento</i>
EMBRAPA	<i>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária</i>
EPE	<i>Empresa de Pesquisa Energética</i>
UN	<i>Organização das Nações Unidas</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVO	20
3 BIODIESEL	21
3.1 ADIÇÃO OBRIGATÓRIA DE BIODIESEL	21
3.2 ROTA DE SÍNTESE PARA DIFERENTES TIPOS DE BIODIESEL	23
3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL	24
3.4 SOJA COMO PRINCIPAL MATÉRIA PRIMA DO BIODIESEL BRASILEIRO	26
3.5 SOJA E SEUS DERIVADOS	31
3.6 PRODUÇÃO DE BIODIESEL	34
3.7 TRANSPORTE NACIONAL DE BIODIESEL	38
3.8 MODAIS DE TRANSPORTE	44
4 O MODAL RODOVIÁRIO NO TRANSPORTE DE BIODIESEL	50
4.1 O MODAL RODOVIÁRIO NO BRASIL	50
4.2 METODOLOGIA DO CÁLCULO DE FLUXOS LOGÍSTICOS	51
4.3 RESULTADOS DE FLUXOS LOGÍSTICOS	53
4.4 ESTIMATIVA DO CUSTO DE FRETE RODOVIÁRIO	55
5 VIABILIDADE TÉCNICA E LOGÍSTICA DO MODAL FERROVIÁRIO	58
5.1 O MODAL FERROVIÁRIO NO BRASIL	58
5.2 VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DE MODAIS	71
6 VIABILIDADE ECONÔMICA DO MODAL FERROVIÁRIO	74
6.1 CUSTO DE FRETE FERROVIÁRIO	74
6.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DO TRANSPORTE, SOB A ÓTICA DE TARIFAS	75
6.3 FLUXOS FERROVIÁRIOS SUBSTITUTOS	77
7 CONCLUSÃO.....	83
8 REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

Em 1972 na Suécia, de maneira inédita na história global, chefes de Estado das maiores potências mundiais se uniram na chamada Conferência de Estocolmo, também chamada de Primeira Cúpula da Terra, para discutir a preservação e a manutenção do meio ambiente terrestre (UN, 2007). Os países envolvidos assinaram uma declaração que pontuava o interesse dos integrantes na manutenção do meio ambiente assim como mapeava planos de ação para concretizar esses interesses.

Depois da Conferência de Estocolmo houveram diversas outras reuniões internacionais para discutir o clima terrestre e propor ações para a manutenção do meio ambiente. As chamadas *Conference of Parties* (COP) organizadas pelas Nações Unidas, foram as principais reuniões para discussão do clima e estas geraram acordos internacionais como Protocolo de Kyoto, em 1997, o Acordo de Copenhagen, em 2009, e o Acordo de Paris, em 2015 (UN, 2023a). Hoje, o Acordo de Paris é o mais relevante acordo climático, tendo como principal objetivo a manutenção do aumento da temperatura global para abaixo de 2° C, quando comparada a níveis pré-industriais (UN, 2023b).

Para cumprir com o Acordo de Paris, cada um dos signatários determinou um plano de ação nacional. Este plano é chamado de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) e através deste, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de carbono em 37% até 2025 e em 43% até 2030, comparada aos níveis de 2005 (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023). Mais tarde o governo brasileiro teria se comprometido a reduzir suas emissões em 50% até 2030 e chegar à neutralidade de emissões até 2050, uma meta ainda mais ambiciosa (Casa Civil, 2022).

Na vigésima sexta edição da *Conference of Parties* (COP 26), o ministério do meio ambiente apresentou diretrizes para alcançar as metas de redução de emissões propostas na NDC brasileira. Entre elas estão o fim do desmatamento ilegal, restauração e reflorestamento de biomas degradados, recuperação de pastagens, alta participação de renováveis na matriz energética brasileira e a ampliação da malha ferroviária brasileira (Planalto, 2021).

Diante das medidas estabelecidas pelo Ministério do Meio Ambiente, pode-se destacar duas que terão impacto direto no setor de transportes no Brasil, o aumento da participação de energias renováveis na matriz energética nacional e a expansão da malha ferroviária.

O setor de transporte, em 2021, foi o setor com maior consumo energético, sendo responsável pelo consumo de 32,5% do consumo nacional, seguido pelos setores industrial e residencial. Ainda em 2021, a maior parte da energia veio de fontes fósseis (55,3%) e ainda

34,4% da energia total veio de petróleo e seus derivados, fortemente impulsionados pela utilização de combustíveis fósseis no setor de transportes (EPE, 2021).

Dessa forma, se mostra essencial implementar medidas para descarbonizar o setor de transportes. Dentro dessas medidas, uma que se destaca dentro do cenário brasileiro, e internacional, é a adição de biocombustíveis de maneira compulsória dentro da matriz de combustíveis. Há muitos anos, projetos como Proálcool e, o menos conhecido, Pró-Óleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Carburantes) impulsionaram as possibilidades de adição de biocombustíveis, como o etanol anidro e biodiesel, aos combustíveis fósseis. Assim, seria possível reduzir o impacto do uso de combustíveis carburantes nas emissões de carbono na atmosfera.

Dentro do setor de transportes, outra medida anunciada pelo governo brasileiro é a maior utilização do modal ferroviário, através da ampliação de ferrovias. O modal ferroviário é capaz de transportar uma grande quantidade de carga, utilizando uma pequena quantidade de combustível. Isso faz dele um modal de transporte extremamente eficiente, com relação às suas emissões de gases de efeito estufa, tendo emissões diretas praticamente nulas, por unidade transportada, e emissões totais até vinte e cinco por cento mais eficiente (de Matos, 2001).

De acordo com estudo do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (2017), a substituição do modal rodoviário pelo ferroviário pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa em pouco mais que oito milhões de toneladas de CO₂ equivalente.

Sendo assim, o presente trabalho visa estudar as duas medidas propostas para a redução de emissões de gases de efeito estufa do setor de transporte. Em primeiro lugar, entende-se que o biodiesel é um biocombustível essencial para descarbonizar o setor de transporte de carga no Brasil, e assim a logística deste produto é essencial para a oferta nacional de forma uniforme. Além disso, deseja-se, dentro do escopo deste trabalho, determinar se a utilização da malha ferroviária existente seria viável técnica e economicamente para o transporte deste biocombustível.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comparar a viabilidade técnica e econômica da utilização dos modais ferroviário e rodoviário para o transporte de biodiesel no Brasil.

O trabalho se divide em quatro principais capítulos para atingir seu objetivo fim:

- O capítulo três tem como fim apresentar o biodiesel como uma das peças centrais deste estudo. Foram revisados os aspectos legais da utilização deste combustível no país e as rotas e processos químicos tradicionais da indústria para sua obtenção. Além disso, foram avaliados e analisados os setores produtivos e de transporte deste produto.
- O capítulo quatro visa prever os fluxos de transporte rodoviário de biodiesel, realizando uma breve revisão do setor de carga rodoviária, levantando os custos envolvidos;
- O capítulo cinco avalia a viabilidade técnica do modal ferroviário como substituto ao rodoviário, destacando-se as vantagens e desvantagens do modal, assim como os maiores desafios a serem enfrentados pela utilização deste modal no transporte de biodiesel;
- O capítulo seis avalia a viabilidade econômica da transição entre os dois modais e apresenta os possíveis novos fluxos de transporte do biodiesel.

3 BIODIESEL

Neste capítulo, serão abordados os aspectos relevantes para se compreender a logística do biodiesel no Brasil. Determinar os meios de produção, as matérias primas, a distribuição e o contexto logístico nacional que este produto está inserido é essencial para se discutir o tema central deste trabalho.

3.1 ADIÇÃO OBRIGATÓRIA DE BIODIESEL

Em julho de 2003, através de um decreto presidencial (DNN9920), é dado o primeiro passo para a incorporação do biodiesel na matriz energética brasileira. O decreto DNN9920 cria o Grupo de Trabalho Interministerial com função de avaliar a viabilidade de utilização do biodiesel como fonte alternativa de energia. O Grupo de Trabalho, ao final do estudo de viabilização, considerou que a adição de biodiesel à matriz energética deveria ser imediata e não obrigatória (SUAREZ, 2007).

No ano seguinte, em 2004, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) para garantir a implementação sustentável técnica e economicamente da produção e uso do biodiesel (APROBIO, 2023). A partir da implementação deste programa foram criadas diversas leis, portarias, decretos, resoluções e instruções normativas com intuito de regularizar a adição do biodiesel ao diesel fóssil e fornecer os incentivos necessários para o desenvolvimento rural sustentável.

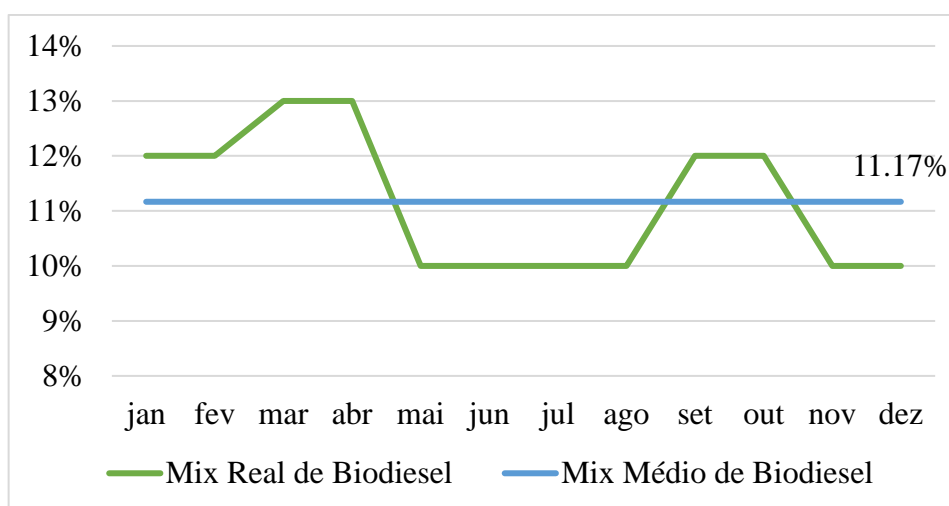
As legislações mais importantes para este estudo são aquelas que determinam as misturas obrigatórias do biodiesel ao diesel fóssil, estas legislações vão impactar as cadeias produtivas de combustíveis e de soja e seus derivados. A primeira lei que estabeleceu a introdução a adição obrigatória mínima foi a Lei Nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Nesta lei, fica estabelecida a adição obrigatória de 2% de biodiesel até 2008. Ao longo dos anos a lei sofreu diversas revogas e modificações que resultaram em uma adição de 3% ainda em 2008, 4% em 2009 e 5% em 2010.

Em 2014 a Lei Nº 13.033, de 24 de setembro de 2014 estabeleceu novos limites de 6 e 7% que deveriam ser incorporados ao longo do ano de 2014. Novamente, esta foi alterada por uma nova lei que determina novas metas de adição, a Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016. A Lei 13.263 estipula aumentos anuais nos três anos seguintes atingindo os percentuais de 8, 9 e 10% em 2016, 2017 e 2018, respectivamente, e também já autoriza uma adição futura de 15% caso testes em motores concluam a viabilidade técnica desta mistura. Nesta mesma legislação é autorizado ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) alterar a adição obrigatória

de biodiesel ao diesel fóssil, o que foi feito em 2019 para alterar o percentual de adição para 11%.

Devido aos impactos da pandemia de 2020, os anos de 2020 e 2021 tiveram diversas alterações determinadas pelo CNPE. As adições, nestes anos, foram entre 13 a 10%. O ano de 2021 é o ano de análise das movimentações de biodiesel para este trabalho, então de forma geral é adotado um valor médio para a adição obrigatória de biodiesel em diesel fóssil. A Figura 1 contém a evolução das adições determinadas pelo CNPE ao longo dos meses de 2021 e estipula um valor médio de 11,17% para este ano.

Figura 1 - Evolução do Teor de Biodiesel no Óleo Diesel B (2021)



Fonte: ANP, 2022b. Elaboração própria.

A compra de biodiesel por parte dos entes da cadeia de suprimento de combustíveis, em 2021, era realizada através de leilões coordenados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). De acordo com a própria ANP, os leilões permitiam que refinadores e importadores de óleo diesel fossem capazes de adquirir o biodiesel para atender os percentuais mínimos de mistura (ANP, 2020b).

Os leilões funcionavam na modalidade de leilão inverso, ou seja, a ANP determinava o preço máximo do biocombustível e as usinas faziam ofertas abaixo deste valor máximo. Assim, os compradores comprariam todo o volume estipulado dando prioridade às ofertas de menor preço até totalizarem o volume comprado (Biodiesel BR, 2008).

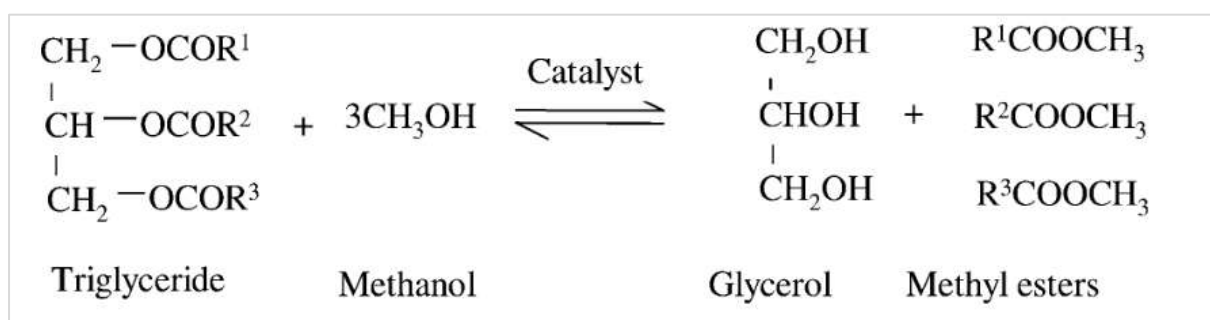
O CNPE, em 2020, determinou o fim do sistema de leilões através da Resolução nº 14, de 9 de dezembro de 2020. A partir de 1º de janeiro de 2022 seria estabelecido um novo sistema de contratação direta, onde os contratos de compra e venda seriam firmados diretamente entre os produtores e os compradores e estes seriam os responsáveis por determinar os preços. Na

Nota Técnica Conjunta nº 10/2021/ANP, a ANP pontua as ineficiências do modelo de leilões utilizado anteriormente. Diversos fatores tornam o processo ineficiente, por exemplo, apesar do atendimento à adição obrigatória ser feito pelas distribuidoras, o comprador exclusivo dos leilões de biodiesel é a Petrobras. Apesar disso, as distribuidoras são quem de fato dão os lances no leilão e são responsáveis pela movimentação do biodiesel (ANP, 2020b).

3.2 ROTA DE SÍNTESE PARA DIFERENTES TIPOS DE BIODIESEL

O biodiesel é uma mistura de monoalquil ésteres de triglicerídeos de cadeia longa, obtido a partir de óleos vegetais e gorduras animais para ser utilizado em motores de ignição por compressão (MEHER, 2006). A transesterificação é um processo amplamente utilizado para diminuir a alta viscosidade de óleos vegetais e por isso se tornou um dos principais processos para produção de biodiesel. Um exemplo do processo de transesterificação, utilizando metanol e triglicerídeo, foi esquematizado na Figura 2.

Figura 2 – Exemplificação de Reação de Transesterificação de triglicerídeos para formação de biodiesel



Retirado de: MEHER, 2006.

De acordo com dados da Embrapa, a produção de biodiesel pode ser feita através dos processos de craqueamento, esterificação ou transesterificação de triglicerídeos com álcoois de cadeia curta sobre a presença de um catalisador, sendo o último o mais comum (BARROS, 2021). Normalmente, a reação ocorre na presença de excesso do álcool, já que a reação é reversível e este mecanismo favorece a produção do produto de interesse.

Na reação de transesterificação diversos álcoois podem ser utilizados, porém os que apresentam melhores resultados são metanol e etanol. O metanol proporciona maior reatividade, que resulta em condições reacionais mais brandas, menor dificuldade de separação dos produtos e menor tempo de reação. Já o etanol possui vantagens para o funcionamento do motor e também pode ser mais facilmente obtido a partir de fontes renováveis, o que torna o

biodiesel feito a partir deste álcool completamente renovável (RAMOS, 2019). O principal biodiesel produzido no Brasil é o FAME (*fatty acid methyl ester*), produzido a partir da reação de triglicerídeos com metanol, gerando biodiesel e glicerol (EPE, 2019). Ainda de acordo com a EPE (2019), o Brasil desde 2016 não produz metanol internamente e depende do mercado externo para toda a aquisição deste produto. Isso tem um grande impacto na balança comercial brasileira e na independência energética do país.

A produção de biodiesel geralmente é catalisada por um catalisador alcalino, apesar de outros mecanismos e catalisadores serem propostos. Catalisadores ácidos podem ser utilizados para o pré-tratamento de triglicerídeos, porém a taxa de reação para a transesterificação é significativamente mais baixa. O uso de enzimas também foi avaliado e, apesar de bons resultados e da facilidade nos processos de separação, a viabilidade econômica do catalisador não permite que se torne uma realidade (PULLEN, 2015). MOAZENI (2019) apresenta diferentes métodos de produção com reações enzimáticas destacando as vantagens deste método, ainda assim ressalta a falta de viabilidade econômica de alguns processos.

3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

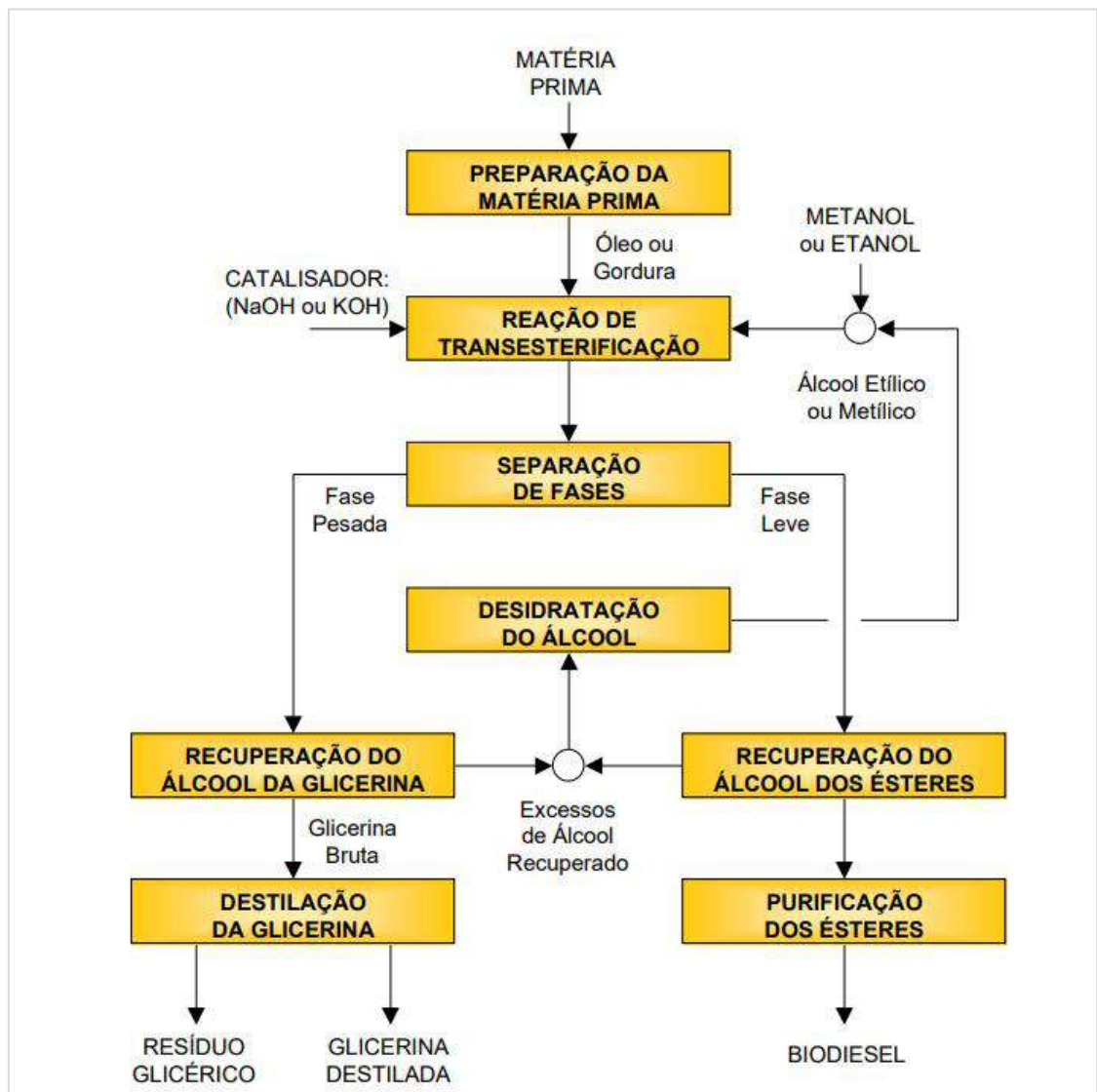
O processo de transesterificação com o uso de metanol, também chamado de metanólise, é o mais utilizado no país, dada a sua viabilidade econômica e operacional. Na Figura 3 pode-se ver as etapas necessárias para a produção do biodiesel através da transesterificação de triglicerídeos.

As etapas do fluxograma são descritas abaixo (SBRT, 2006)

- Preparação da Matéria Prima: esta etapa é responsável pela adequação dos reagentes às condições ótimas de reação. Isto é, minimizar a acidez e a umidade dos reagentes, a depender do tipo de matéria prima.
- Reação de Transesterificação: esta etapa ocorre a conversão dos triglicerídeos em biodiesel, através dos mecanismos descritos na Figura 2. Usualmente, é onde se reage óleo de soja e metanol, sobre a presença do catalisador NaOH e é formado glicerol e biodiesel.
- Separação de Fases: etapa onde ocorre, por decantação, a separação dos meios reacionais contendo os produtos, impurezas e excessos. A fase pesada carrega, principalmente, a glicerina e a fase leve carrega, principalmente, o biodiesel.
- Recuperação do Álcool da Glicerina: água e álcool são eliminados da fase pesada através de um processo de evaporação.

- Recuperação do Álcool dos Ésteres: água e álcool são eliminados da fase leve através de um processo de evaporação.
- Desidratação do Álcool: o álcool evaporado é separado da água através de um processo de destilação. A recuperação no processo realizado com metanol é significativamente mais simples do que se fosse realizado com etanol, devido à não formação de azeótropo e diferenças maiores nas volatilidades relativas com a água.

Figura 3 – Diagrama de Blocos do Processo de Produção do Biodiesel



Retirado de: Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica, 2003.

- Destilação da Glicerina: a glicerina produzida é um subproduto com alto valor agregado que pode ser comercializado se separado corretamente, isto

normalmente é feito através de destilação à vácuo para a produção de glicerina destilada.

- Purificação dos Ésteres: após a evaporação, o biodiesel deve ser lavado por centrifugação e desumidificado para a obtenção do produto final comercializável.

Foram apresentadas as etapas do processo de produção de forma resumida pois este não é o foco deste trabalho, apesar de ser de suma importância para o entendimento da cadeia logística como um todo. Uma descrição mais completa do processo pode ser encontrada em VYAS, 2010. Em RAMOS, 2011 são discutidas as principais rotas tecnológicas da produção de biodiesel assim como suas perspectivas em curto e médio prazo. Diversas matérias primas para a produção de biodiesel foram avaliadas em SELVARAJ, 2015 assim como seus respectivos desafios. Foi feita a otimização dos parâmetros do processo de produção utilizando óleo de soja em MYINT, 2009. Em CAVALLET, 2010 foram avaliados os impactos ambientais da produção de biodiesel no Brasil.

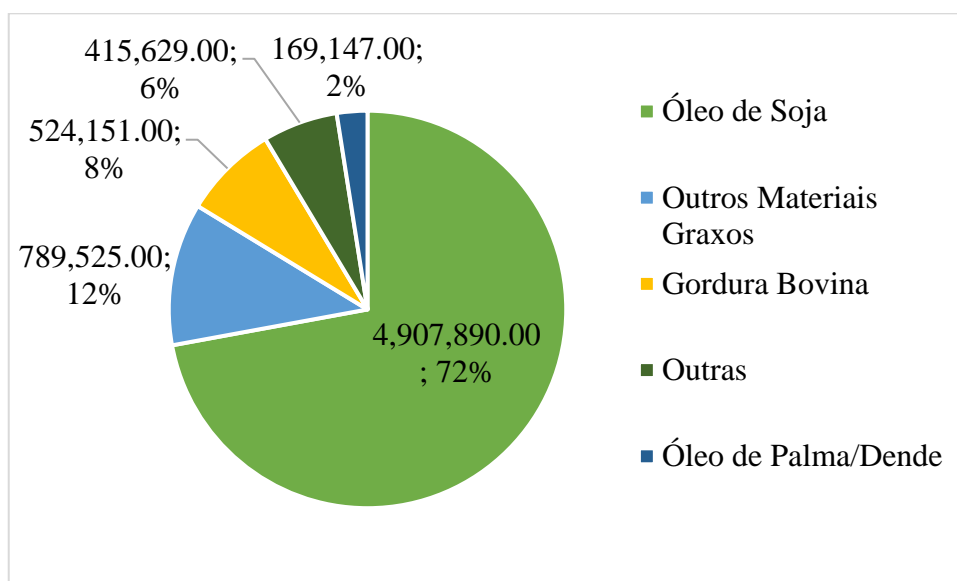
3.4 SOJA COMO PRINCIPAL MATÉRIA PRIMA DO BIODIESEL BRASILEIRO

De acordo com a OCDE, o Brasil é o quarto maior produtor de biodiesel do mundo, sendo responsável pela produção de aproximadamente 6,8 milhões de metros cúbicos em 2021, correspondendo a 12,0% de toda a produção mundial. Fica atrás apenas da União Europeia, com 34,1%, dos Estados Unidos, com 19,5% e da Indonésia com 12,3% (OCDE, 2020).

Em 2021 o perfil de matérias primas para produção de biodiesel no Brasil foi dominado pelo uso de óleo de soja (72.1%), seguido pelo uso outros materiais graxos (11,6%) e gordura bovina (7,7%), conforme apresentado na Figura 4, (ANP, 2022a). Outras matérias primas como outros óleos e gorduras não mencionadas compõe o restante do perfil de matérias primas do país. Desta forma, entende-se que a produção de biodiesel, no Brasil, está fortemente ligada a produção de soja.

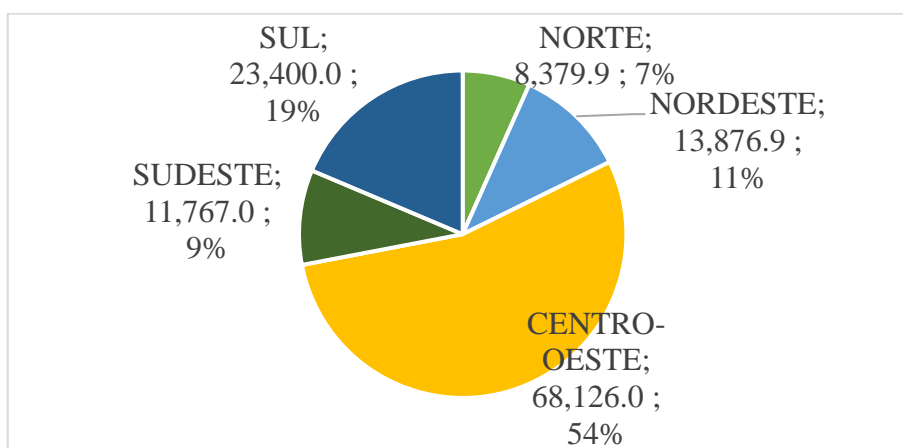
A produção de soja brasileira na safra 20/21, de acordo com dados do Conab, foi de 138 milhões de toneladas (Conab, 2022). O país é o maior produtor do grão no mundo e representa 35% da produção mundial, seguido pelos Estados Unidos (Embrapa, 2022). A produção é distribuída principalmente nas regiões sul e centro-oeste, como é possível verificar na Figura 5. A região Centro-Oeste é a principal produtora de soja, sendo responsável por 54% da produção nacional, seguida pelas regiões Sul, Nordeste, Sudeste e Norte estas responsáveis por 19, 11, 9 e 7% da produção de soja, respectivamente (Conab, 2022).

Figura 4 - Matriz de matérias primas para produção de biodiesel, em m³ (2021).



Retirado de: ANP, 2022a.

Figura 5 - Produção (em mil toneladas) de Soja por Região, safra de 21/22

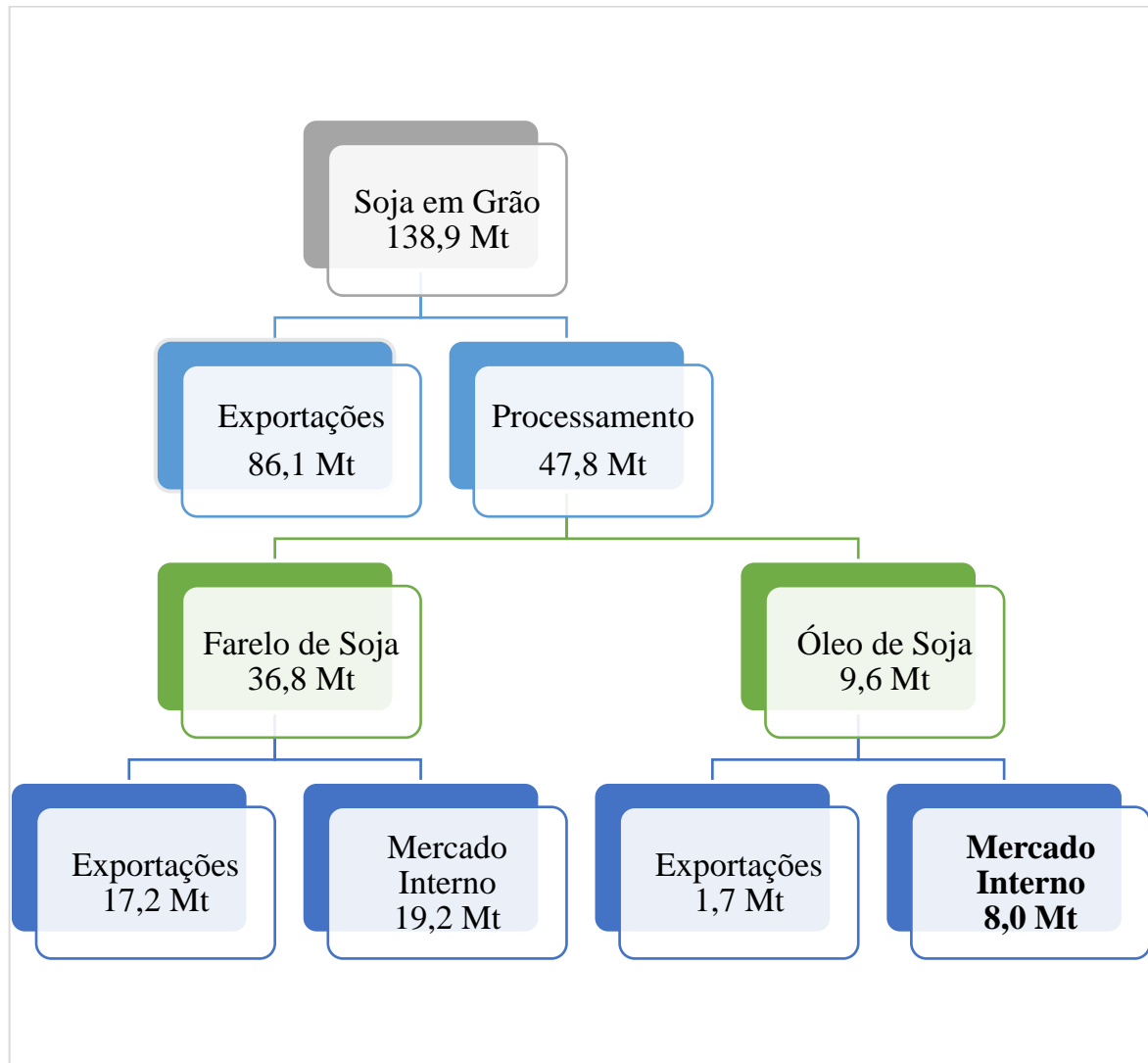


Fonte: Conab, 2022. Elaboração própria.

A partir da soja é extraído o óleo de soja, utilizado como parte da alimentação da população e como matéria prima da produção de biodiesel, como visto anteriormente, e o farelo de soja, cujo principal utilidade é servir de fonte proteica para ração animal. Estes dois produtos são os principais produtos comerciais obtidos a partir do processamento da soja. Outros subprodutos deste processamento podem ter seu nicho de utilização, porém não serão foco na análise deste trabalho. Na Figura 6, é possível ver o destino da soja a partir da produção até os

mercados finais (ABIOVE, 2022a). Percebe-se que grande parte da cadeia produtiva da soja é destinada ao mercado externo, principalmente da soja em grão.

Figura 6 - Destino da Soja no Brasil (2021)



Fonte: ABIOVE, 2022a. Elaboração própria.

No ano de 2021, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, a produção de biodiesel foi de 5,93 milhões de toneladas, ou 6,76 milhões de metros cúbicos (ABIOVE, 2022c). A partir dos dados obtidos na Figura 4 pode-se determinar que 72,1% da produção de biodiesel tem óleo de soja como matéria prima. Ou seja, 4,73 milhões de toneladas de biodiesel foram produzidos a partir de óleo de soja.

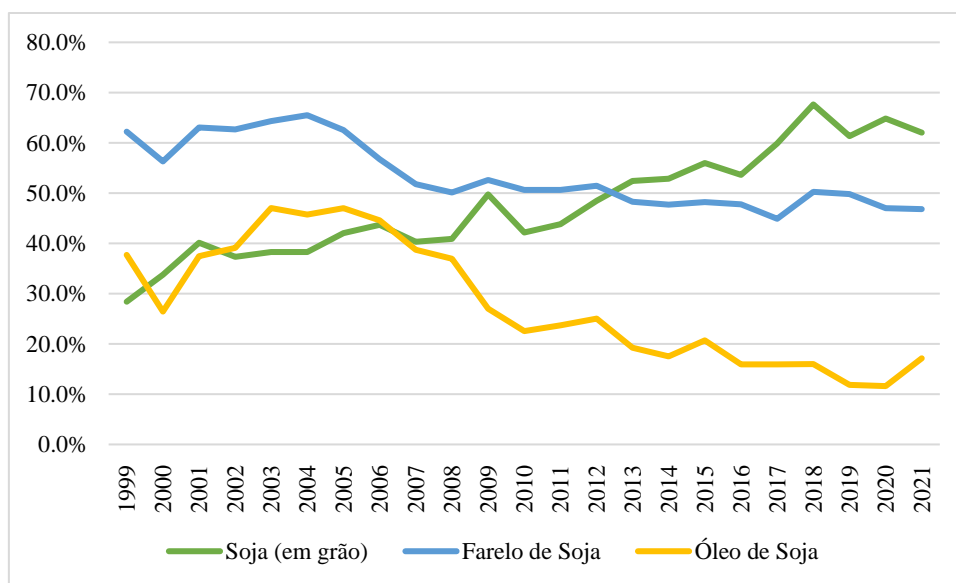
O rendimento mássico experimental da produção de biodiesel a partir de óleo de soja depende de diversos fatores, porém (BERNARDO, S.J.,2015) determinou valores ótimos entre 94 e 96% em condições determinadas de temperatura e catalisador. Ou seja, podemos estimar

que para a produção de 4,73 milhões de toneladas de biodiesel foram utilizados 4,50 milhões de toneladas de óleo de soja.

A partir dos dados obtidos na Figura 6, é possível calcular a representatividade do biodiesel no mercado interno de óleo de soja. É possível determinar que das 8,0 milhões de toneladas de óleo de soja destinadas ao mercado interno, 4,5 milhões de toneladas (aproximadamente 56,2%) foram para a produção de biodiesel. Os outros 3,5 milhões de toneladas de óleo de soja foram destinadas ao mercado interno para abastecimento alimentar.

Quando se observa a evolução das exportações do complexo da soja na Figura 7, pode-se perceber que de 1999 até 2007 (quando se iniciou a adição obrigatória de biodiesel no Óleo Diesel B) há um aumento na exportação de soja em grão e do óleo de soja. Porém, depois de 2007 as exportações de óleo de soja diminuíram gradativamente. Isso pode evidenciar uma relação direta de competição entre a produção de biodiesel e a exportação de óleo de soja.

Figura 7 - Evolução da Participação¹ das Exportações do Complexo da Soja por Produto



Fonte: ABIOVE, 2022a. Elaboração própria.

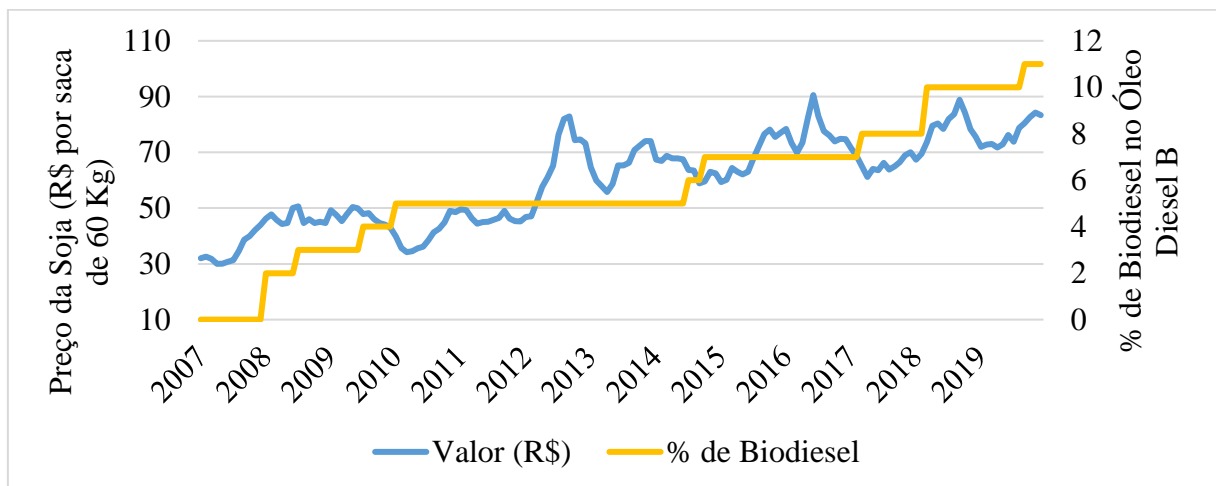
Quando analisado o aumento da exportação de soja no período, calcula-se um aumento de 138,2% das exportações do ponto mínimo ao máximo da série. Isso significa que as exportações, em porcentagens referentes à produção total do grão, mais do que dobraram. Já os produtos do processamento da soja, diminuíram sua exportação. O farelo diminuiu em 31,5%

¹ Participação calculada como (Exportação/Produção).

do ponto máximo ao mínimo e o óleo de soja diminuiu 75% do ponto máximo ao mínimo, dentro do período analisado, reforçando a hipótese de competição entre a produção de biodiesel e as exportações de óleo de soja.

O setor sucroalcooleiro é responsável pela produção de etanol, outro biocombustível amplamente utilizado no Brasil, e neste setor existe uma competição interna entre as produções de etanol e açúcar. Dessa forma, o preço destes dois produtos nos mercados internacional e nacional vai guiar a produção do setor para o produto que for mais rentável. O mesmo não pode ser dito sobre a soja e o biodiesel, uma vez que a demanda do biodiesel está atrelada diretamente ao consumo de óleo diesel e não tem um mercado próprio como o etanol. Além disso, como mostrado anteriormente, a produção de biodiesel é apenas uma pequena parcela do destino da soja e parece não ter volume suficiente para impactar na venda deste produto, como visto na Figura 8.

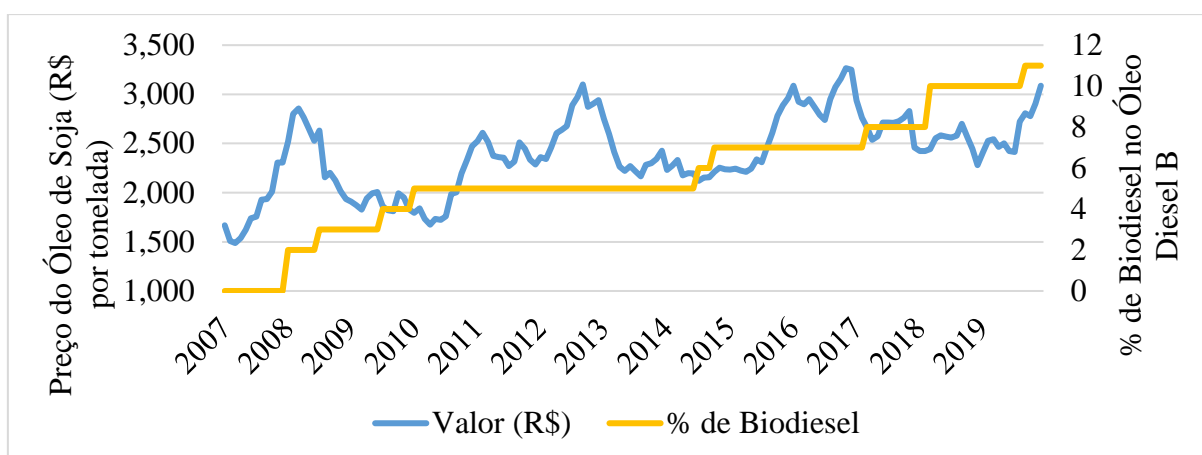
Figura 8 - Preço da Soja - Indicador Cepea/ Paraná



Fonte: CEPEA, 2022. Elaboração própria.

Um subproduto da soja que poderia sofrer uma influência mais direta no preço do combustível é o óleo de soja que, por sua vez, tem um volume de produção próximo ao do biodiesel. Porém essa relação não é perceptível, como visto na Figura 9.

Figura 9 - Preço do Óleo Bruto de Soja – Indicador de São Paulo



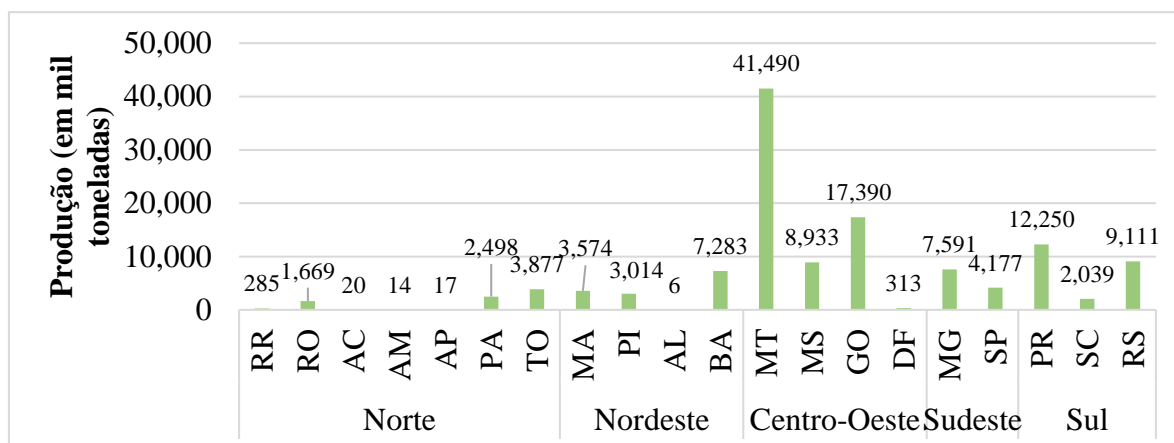
Fonte: CEPEA, 2022. Elaboração própria.

A produção do biodiesel a partir do óleo de soja pode ser visto como controverso por utilizar alimento como um dos principais insumos, o óleo de soja. O aumento da produção de biodiesel impacta diretamente no preço do óleo de soja e seus derivados. O aumento de 20% na demanda por óleo de soja para produção de biodiesel pode gerar até 4% de aumento do preço do óleo de soja ao consumidor final, porém também é estimada uma queda nos preços da proteína animal de até 0,15% devido à maior produção de farelo de soja (LUSK, 2022).

3.5 SOJA E SEUS DERIVADOS

Para entender a logística da distribuição de biodiesel, deve-se compreender o cenário de produção e distribuição da soja e seus derivados. Na Figura 10, é apresentada a produção de soja por UF para a safra de 2021/2022. Percebe-se que o Centro-Oeste é a região com maior destaque dentro das regiões produtoras, seguido da região Sul. Os estados do Mato Grosso e Goiás são responsáveis, sozinhos, por 47% da produção nacional do grão.

O Centro-Oeste ainda é detentor de 43% da capacidade instalada de processamento, seguido pelas regiões Sul, com 35%, e Sudeste, com 12% (ABIOVE, 2022b). Apesar da alta capacidade para o processamento de soja do Centro-Oeste, quando se avalia o número absoluto de plantas processadoras de soja na Tabela 1, percebe-se que o sul é a principal região do país.

Figura 10 - Produção de Soja por UF (Safrá 21/22)

Fonte: Conab, 2022. Elaboração própria.

Tabela 1 - Capacidade Instalada para Processamento de Soja por UF de Unidades Ativas e Paradas (2022)

Região	UF	Número de Plantas de Processamento de Soja	Capacidade de Processamento (mil toneladas/ano)
Sul	RS	24	11.271,57
	PR	21	12.910,42
	SC	3	1.533,00
Centro-Oeste	MT	17	15.559,59
	GO	14	9.984,94
	MS	9	6.313,77
Sudeste	SP	9	5.222,06
	MG	4	3.558,75
Nordeste	BA	3	2.750,28
	PI	2	1.135,15
	MA	1	547,50
	CE	1	365,00
Norte	TO	4	1.825,00
	AM	1	730,00
	RO	1	146,00

Fonte: ABIOVE, 2022c. Elaboração própria.

A Figura 11 mostra onde estão localizadas as plantas de processamento de soja no Brasil. Percebe-se o padrão previsto pela Figura 10 de predominância de usinas na região Sul e Centro-Oeste.

Figura 11 - Representação Geográfica das Unidades de Processamento de Soja, contempla unidades paradas e ativas (2022)

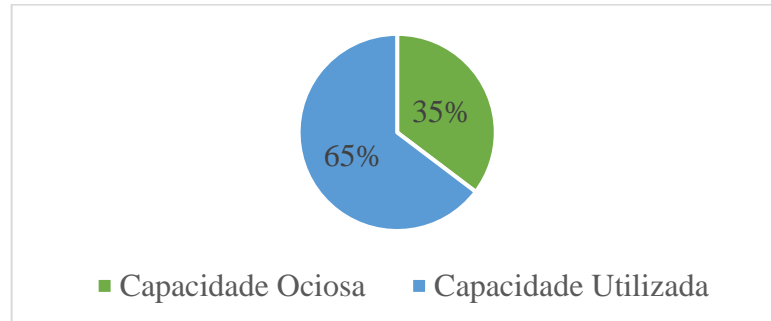


Retirado de: ABIOVE, 2022b.

A partir dos dados da Figura 6 e da Tabela 1 é possível determinar a taxa de utilização nacional dos ativos para processamento de soja. A

Figura 12 determina uma taxa de utilização de 65% e, conseqüentemente, 35% de capacidade ociosa nestes ativos.

Figura 12 - Taxa de Utilização da Capacidade Instalada para o Processamento de Soja (2021)

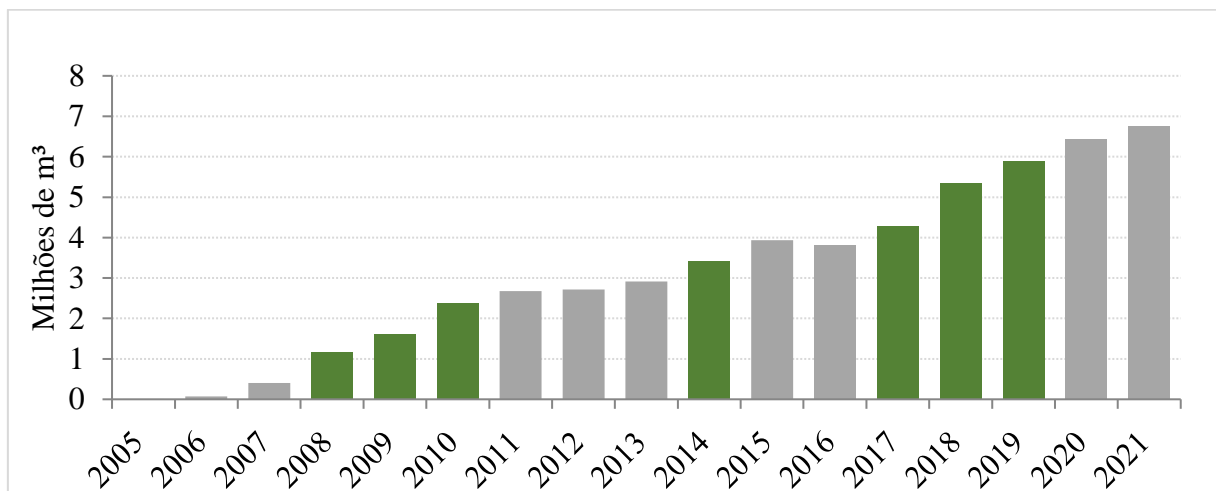


Fonte: ABIOVE, 2022a; ABIOVE, 2022b. Elaboração própria.

3.6 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

A produção nacional de biodiesel, impulsionada pela política de adição do biocombustível no diesel fóssil, se iniciou em 2005 e desde então vem crescendo ano a ano. A Figura 13 demonstra a evolução da produção nacional frente aos marcos regulatórios de aumento da presença de biodiesel no diesel comercial. Em verde, os anos onde houve aumento efetivo do percentual de biodiesel e em cinza os anos onde não houve mudança significativa no mix de mistura.

Figura 13 - Evolução da Produção Nacional de Biodiesel²



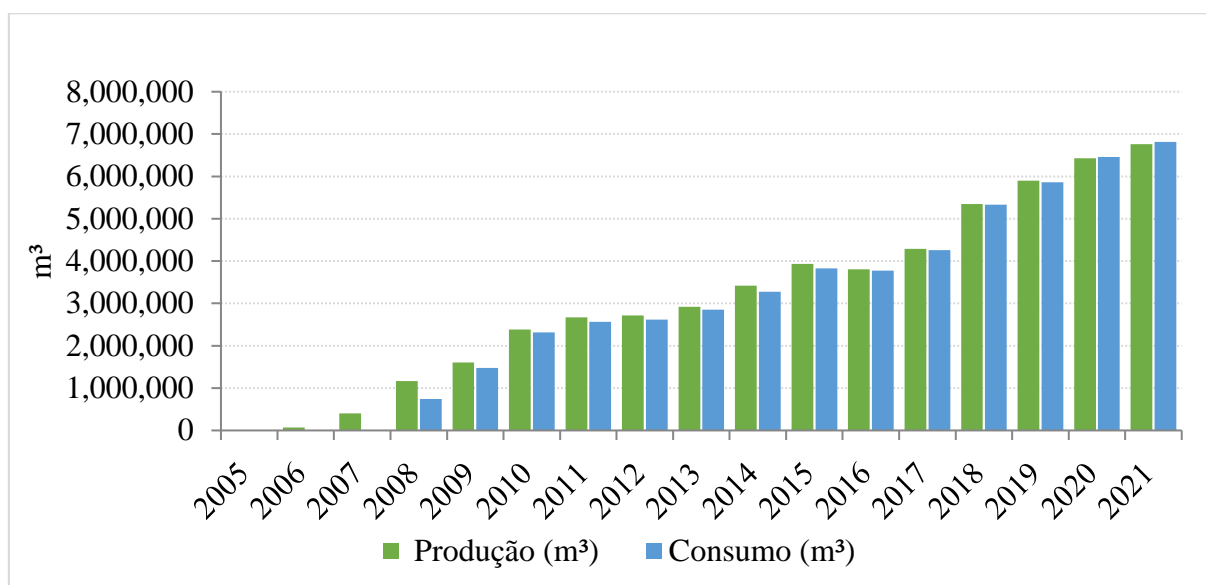
Fonte: ABIOVE, 2022c. Elaboração própria.

² Nos anos de 2020 e 2021 foi feito uma média levando em consideração o teor de mistura em cada mês. (2020=11,33% e 2021=11,17%)

É perceptível a estagnação na produção entre os anos de 2011 e 2013, onde não houve ajuste do mix. O mesmo efeito é sentido nos anos de 2015 e 2016, onde a produção efetivamente cai. Entretanto, nos anos entre 2017 e 2019 houve um aumento expressivo na produção, que acompanhou os aumentos gradativos no mix de Diesel B. A estagnação no mix que ocorreu em 2020 e 2021 foram compostas por vários ajustes feitos ao longo destes anos, por esse motivo não se tem um perfil claro de estagnação ou até diminuição.

Também se nota que a produção de biodiesel é destinada em grande parte para suprir as políticas de descarbonização, através da sua mistura com diesel fóssil. A Figura 14 demonstra que a produção é suficiente para suprir a demanda, com exceção de 2021, onde a demanda supera a produção naquele ano.

Figura 14 - Evolução da Produção e do Consumo de Biodiesel³



Fonte: ABIOVE, 2022c. Elaboração própria.

Analisando os volumes produzidos dentro de cada região e estado, percebe-se que o Sul tem protagonismo na produção de Biodiesel, como se vê na Tabela 2. De acordo com os dados da ANP, a região Sul também possui a maior capacidade instalada para produção do biocombustível, sendo Paraná e Rio Grande do Sul os principais responsáveis por este marco. As taxas de utilização da região Sul também são as maiores entre as regiões, desta forma pode-se concluir que esta região é que possui menor capacidade de aumento de produção sem investimentos em infraestrutura.

³ Foi considerado como consumo o volume de entrega de biodiesel nos leilões da ANP, valor que difere em 119 mil metros cúbicos do volume vendido no Brasil através das distribuidoras de combustível.

Tabela 2 - Produção de Biodiesel e Capacidade Instalada por UF (2021)

Região	UF	Produção (m ³)	Produção (% do total)	Capacidade Instalada (m ³ /ano)	Taxa de Utilização (%)
Norte		144.422	2,14%	324.850	44%
	RO	3.724	0,06%	32.850	11%
	TO	140.698	2,08%	292.000	48%
Nordeste		452.821	6,70%	1.239.343	37%
	BA	410.430	6,07%	1.148.093	36%
	PI	42.392	0,63%	91.250	46%
Centro-Oeste		2.553.664	37,79%	4.808.433	53%
	GO	964.641	14,27%	1.963.090	49%
	MS	367.119	5,43%	474.500	77%
	MT	1.221.905	18,08%	2.370.843	52%
Sudeste		425.277	6,29%	1.109.374	38%
	MG	112.201	1,66%	199.089	56%
	RJ	137.878	2,04%	498.846	28%
	SP	175.198	2,59%	411.439	43%
Sul		3.182.198	47,09%	4.885.525	65%
	PR	1.224.613	18,12%	1.387.000	88%
	RS	1.855.787	27,46%	2.938.250	63%
	SC	101.798	1,51%	560.275	18%

Fonte: ABIOVE, 2022c; ANP, 2022b. Elaboração própria.

As 53 usinas produtoras de biodiesel têm diferentes capacidades de produção, a Tabela 3 traz as cinco maiores plantas produtoras de biodiesel e suas capacidades respectivas.

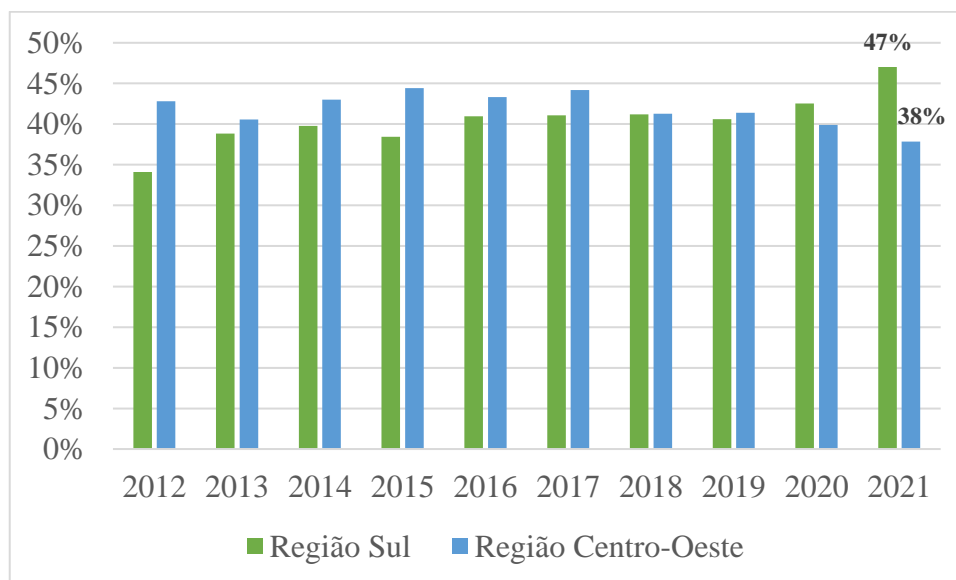
Tabela 3 - Capacidade Instalada para Produção de Biodiesel das Cinco Maiores Plantas (2021)

Unidade produtora	Município / UF	Capacidade instalada (m ³ /ano)
Potencial	Lapa/PR	912.500
Olfar	Porangatu/GO	657.000
Granol	Cachoeira do Sul/RS	565.750
ADM	Rondonópolis/MT	493.480
Bsbios	Passo Fundo/RS	474.500

Fonte: ANP, 2022b. Elaboração própria.

As regiões Sul e Centro-Oeste se destacam como produtoras de biodiesel. Na Figura 15, é possível ver a evolução da produção de biodiesel nestas regiões de destaque. Percebe-se que a região sul vem ganhando protagonismo na produção do biocombustível em anos recentes.

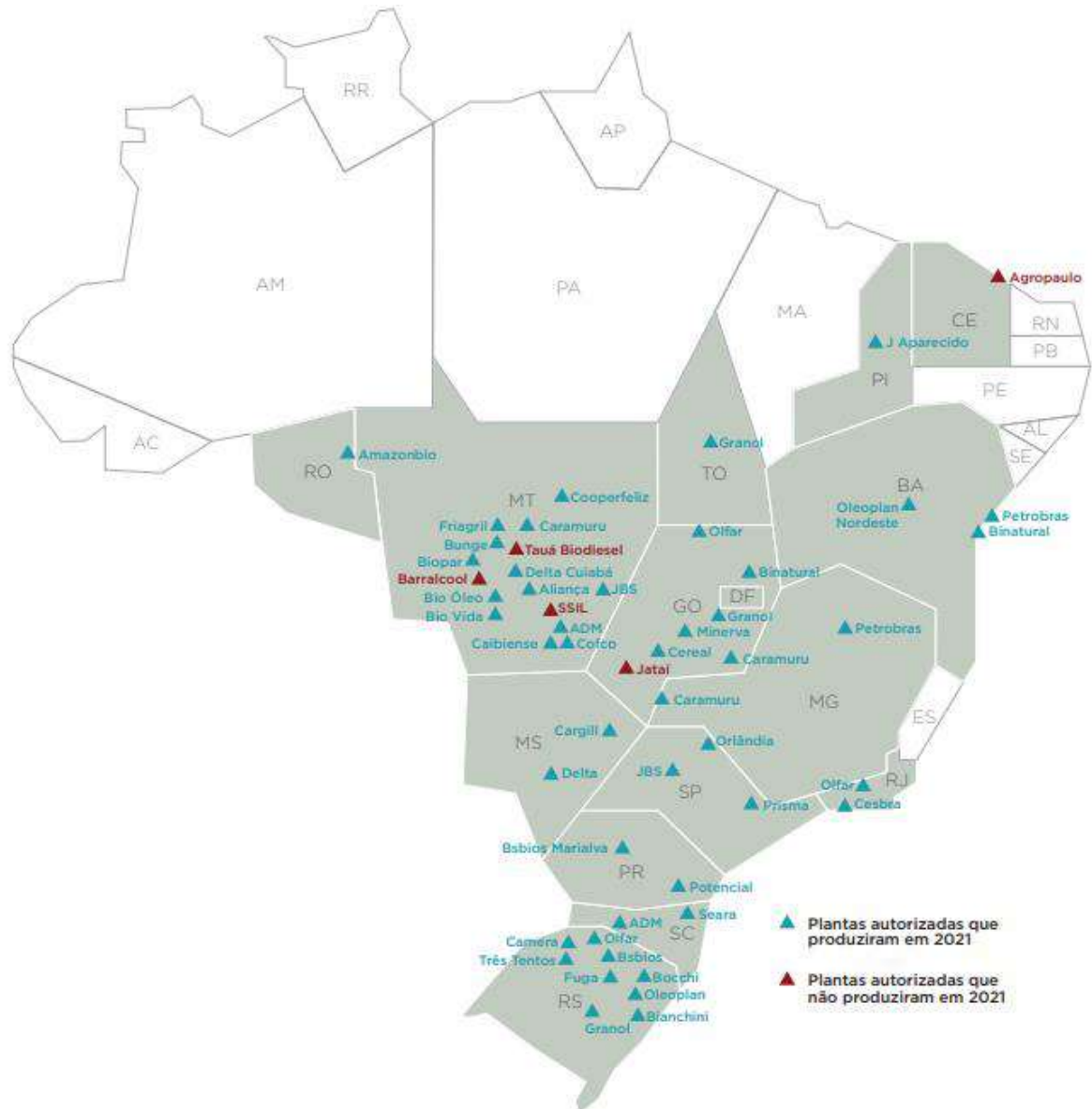
Figura 15 - Evolução da Representatividade das Regiões Sul e Centro-Oeste na Produção Nacional de Biodiesel



Fonte: ANP, 2022a. Elaboração própria.

As plantas produtoras de biodiesel se localizam, portanto, dentro das regiões Sul e Centro-Oeste principalmente, conforme a Figura 16. Percebe-se no Centro-Oeste plantas produtoras que não produziram biodiesel no período analisado, um fator que reflete a baixa taxa de utilização das plantas do Centro-Oeste.

Figura 16 - Localização das Plantas Produtoras de Biodiesel (2021)



Retirado de: ANP, 2022b.

3.7 TRANSPORTE NACIONAL DE BIODIESEL

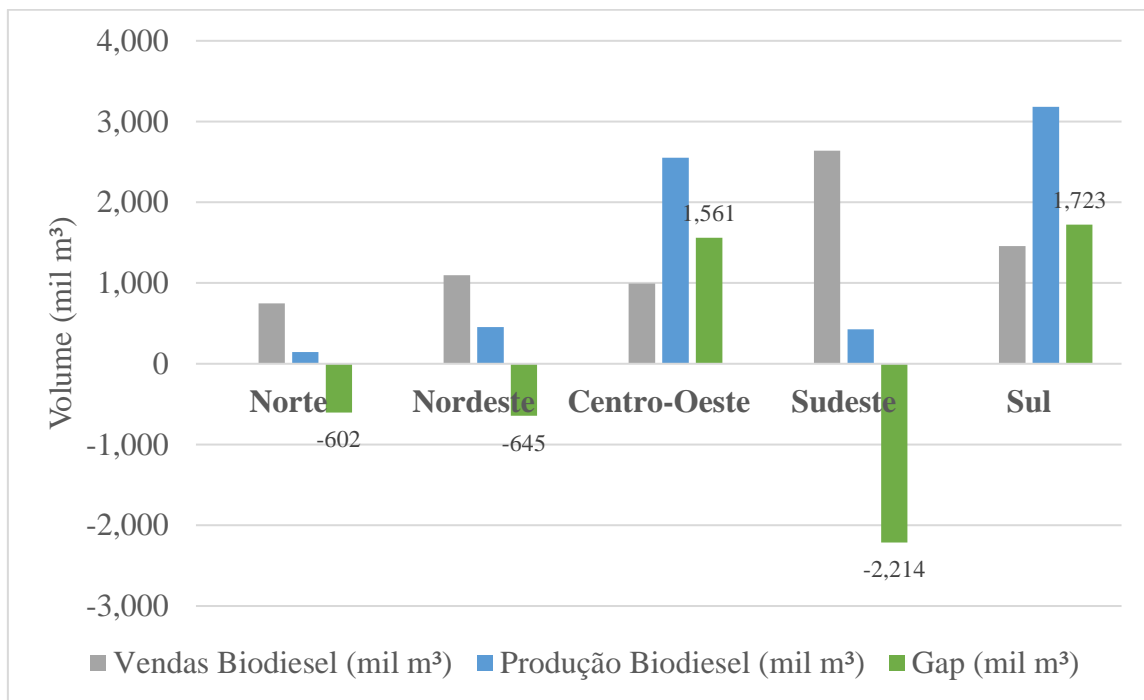
Diferentemente do etanol, outro biocombustível com alta relevância no Brasil, o biodiesel não é comercializado em sua forma pura (B100). As refinarias vendem o óleo diesel A (B0) para as companhias distribuidoras de combustível e estas fazem a adição do biodiesel conforme a legislação vigente (Petrobras, 2022). Assim, chega-se ao óleo Diesel B, comercializado em postos e pontos de distribuição.

As vendas de óleo diesel B, apresentadas na Tabela 4, mostram como é distribuído o combustível no país. As regiões Sudeste e Sul tem o maior consumo de óleo diesel B, e

conclusivamente de biodiesel, com 38 e 21% das vendas nacionais, respectivamente. Além disso, São Paulo, Minas Gerais e Paraná são os estados com maior demanda pelo combustível em nível nacional.

Á partir das informações de venda, da Tabela 4, e de produção, da Tabela 2, pode-se calcular os gaps de oferta e demanda para se concluir onde deverão ocorrer os maiores fluxos de transporte de biodiesel. A Figura 17 mostra que as regiões Sul e Centro-Oeste tem superávit enquanto as outras regiões tem déficit, sendo a região sudeste a que tem maior déficit. A Tabela 5 traz a informação de gaps aberta por UF de forma semelhante. A Figura 18 traz os gaps representados através de um mapa do Brasil, em vermelho os locais deficitários e em azul os locais superavitários. No geral, o ano de 2021 foi deficitário em aproximadamente 177 mil metros cúbicos de biodiesel, de acordo com as estimativas realizadas.

Figura 17 - Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel entre as Regiões do Brasil (2021)



Fonte: ANP, 2022b; ABIOVE, 2022c. Elaboração própria.

Tabela 4 - Vendas de Óleo Diesel B por Região e UF (2021)

Região	UF	Venda de Óleo Diesel B (mil m ³)	Biodiesel Associado (mil m ³)	Venda de Óleo Diesel B (% do total)
Norte		6.686,33	746,64	10,77%
	RO	1.056,79	118,01	1,70%
	AC	157,88	17,63	0,25%
	AM	935,52	104,47	1,51%
	RR	454,03	50,70	0,73%
	PA	2.764,95	308,75	4,45%
	AP	113,28	12,65	0,18%
	TO	1.203,87	134,43	1,94%
Nordeste		9.834,54	1.098,19	15,83%
	MA	1.522,50	170,01	2,45%
	PI	568,53	63,49	0,92%
	CE	1.080,92	120,70	1,74%
	RN	500,86	55,93	0,81%
	PB	435,24	48,60	0,70%
	PE	1.679,67	187,56	2,70%
	AL	367,02	40,98	0,59%
	SE	319,52	35,68	0,51%
	BA	3.360,30	375,23	5,41%
Centro-Oeste		8.891,92	992,93	14,32%
	MS	1.826,18	203,92	2,94%
	MT	3.446,11	384,82	5,55%
	GO	3.238,95	361,68	5,21%
	DF	380,67	42,51	0,61%
Sudeste		23.631,27	2.638,83	38,05%
	MG	7.488,75	836,24	12,06%
	ES	1.260,81	140,79	2,03%
	RJ	2.279,12	254,50	3,67%
	SP	12.602,59	1.407,29	20,29%
Sul		13.067,51	1.459,20	21,04%
	PR	6.240,07	696,81	10,05%
	SC	2.933,52	327,58	4,72%
	RS	3.893,92	434,82	6,27%

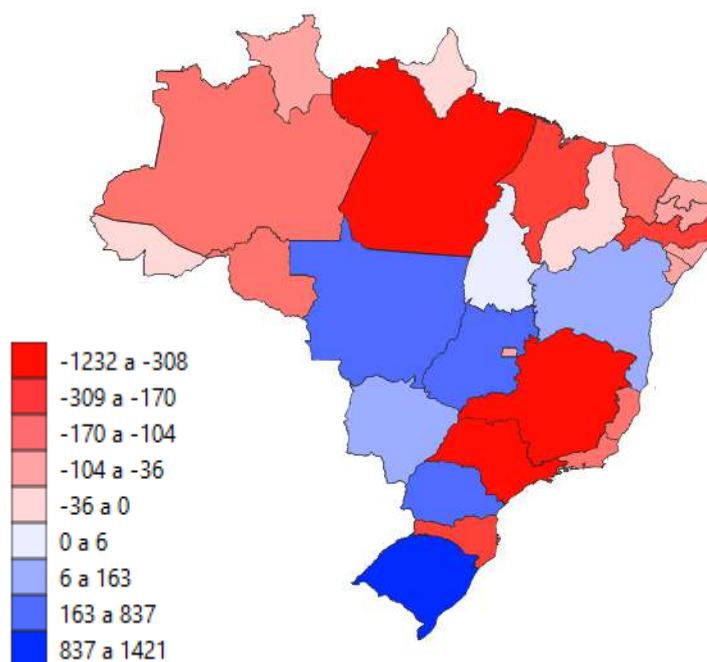
Fonte: ANP, 2022b. Elaboração própria.

Tabela 5 - Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel entre as Regiões e UFs do Brasil (2021)

Região	UF	Demanda Biodiesel (mil m ³)	Oferta Biodiesel (mil m ³)	Gap (mil m ³)
Norte		746,64	144,42	-602,22
	RO	118,01	3,72	-114,28
	AC	17,63	0,00	-17,63
	AM	104,47	0,00	-104,47
	RR	50,70	0,00	-50,70
	PA	308,75	0,00	-308,75
	AP	12,65	0,00	-12,65
	TO	134,43	140,70	6,27
Nordeste		1.098,19	452,82	-645,37
	MA	170,01	0,00	-170,01
	PI	63,49	42,39	-21,09
	CE	120,70	0,00	-120,70
	RN	55,93	0,00	-55,93
	PB	48,60	0,00	-48,60
	PE	187,56	0,00	-187,56
	AL	40,98	0,00	-40,98
	SE	35,68	0,00	-35,68
	BA	375,23	410,43	35,20
Centro-Oeste		992,93	2.553,66	1.560,73
	MS	203,92	367,12	163,20
	MT	384,82	1.221,90	837,09
	GO	361,68	964,64	602,96
	DF	42,51	0,00	-42,51
Sudeste		2.638,83	425,28	-2.213,55
	MG	836,24	112,20	-724,04
	ES	140,79	0,00	-140,79
	RJ	254,50	137,88	-116,62
	SP	1.407,29	175,20	-1.232,09
Sul		1.459,20	3.182,20	1.722,99
	PR	696,81	1.224,61	527,81
	SC	327,58	101,80	-225,78
	RS	434,82	1.855,79	1.420,97

Fonte: ANP, 2022; ABIOVE, 2022c. Elaboração própria.

Figura 18 - Mapa dos Gaps de Oferta e Demanda de Biodiesel (em mil m³).



Fonte: Elaboração própria.

Além dos locais de produção e venda de combustíveis, ainda há outra entidade que faz parte da logística desta indústria, as bases de distribuição. São locais intermediários que recebem das usinas produtoras e refinadores, armazenam, transferem e distribuem para companhias distribuidoras (Transpetro, 2022). Estas bases são infraestruturas essenciais para a distribuição de combustível no país e devem fazer parte da análise como elo intermediário da cadeia de suprimentos. Estas entidades estão avaliadas por UF na Tabela 6. As principais distribuidoras de combustíveis hoje, as são proprietárias destas bases, são: Vibra (27,9% do mercado), Raízen (20%) e Ipiranga(18,9%) (ANP, 2022b).

Percebe-se que, novamente, as regiões Sudeste e Sul tem protagonismo no número de bases de distribuição e na capacidade de armazenamento destas bases. A região Centro-Oeste, entretanto, é a terceira maior em número de bases, porém menor em capacidade de armazenamento.

Tabela 6 - Bases de Distribuição e Armazenagem por Região e UF (2021)

Região	UF	Número de Bases de Distribuição	Capacidade de Armazenamento (m³)
Norte		44	42.086,82
	RO	7	7.217,86
	AC	4	100,00
	AM	5	11.462,70
	RR	2	166,00
	PA	19	14.322,73
	AP	2	684,57
	TO	5	8.132,96
Nordeste		45	38.193,19
	MA	7	6.347,95
	PI	2	636,83
	CE	4	4.173,69
	RN	3	3.489,15
	PB	0	-
	PE	3	3.925,59
	AL	2	649,59
	SE	2	3.996,37
	BA	22	14.974,02
Centro-Oeste		50	35.848,90
	MS	11	5.545,22
	MT	26	11.962,36
	GO	9	9.337,92
	DF	4	9.003,40
Sudeste		94	98.759,34
	MG	22	20.158,18
	ES	2	1.526,42
	RJ	15	13.181,75
	SP	55	63.892,99
Sul		59	50.712,74
	PR	30	21.727,20
	SC	14	6.905,16
	RS	15	22.080,38

Fonte: ANP, 2022b. Elaboração própria.

Dessa forma, pode-se concluir que a cadeia de suprimentos do biodiesel de soja passa por cinco principais etapas, conforme Figura 19:

Figura 19 - Cadeia de Suprimentos do Biodiesel

Fonte: elaboração própria.

3.8 MODAIS DE TRANSPORTE

No estudo do Ministério da Infraestrutura “Corredores Logísticos Estratégicos. Volume VI – Petróleo e Combustíveis (Versão 1.0)” são apresentadas as infraestruturas de transporte atuais a fim de identificar e caracterizar corredores logísticos estratégicos para o escoamento de petróleo e combustíveis, no caso do relatório VI. O estudo avalia a cadeia produtiva do setor de combustíveis de forma completa, mapeado volumes, origens e destino, fluxos e rotas. O estudo, que tem como objetivo mapear a cadeia de combustíveis para justificar medidas de planejamento governamental, foi concluído em 2020, sendo realizado ao longo de 2019 com dados de 2018. Sendo assim, algumas das conclusões obtidas no estudo não serão comparáveis aos dados mencionados ao longo deste trabalho, dado que este foi realizado com, em sua maioria, informações de 2021.

Primeiramente, foi obtida uma matriz de origem e destino para cada combustível, incluindo biodiesel, a fim de determinar o suprimento dos gaps também apresentados neste trabalho. A matriz resultante, como apresentado na Figura 20, aloca os volumes produzidos em

cada região produtora em uma ou mais regiões compradoras. Todas as regiões tem uma produção voltada ao mercado interno, porém as regiões deficitárias (Norte, Nordeste e Sudeste) necessitam comprar o excedente da produção de outras regiões. É importante ressaltar que a matriz apresentada não inclui todos os volumes movimentados, pois é feito um corte de pequenos fluxos que representa aproximadamente 35% do volume total.

Figura 20 - Matriz de Consumo Interno de Biodiesel (m³)

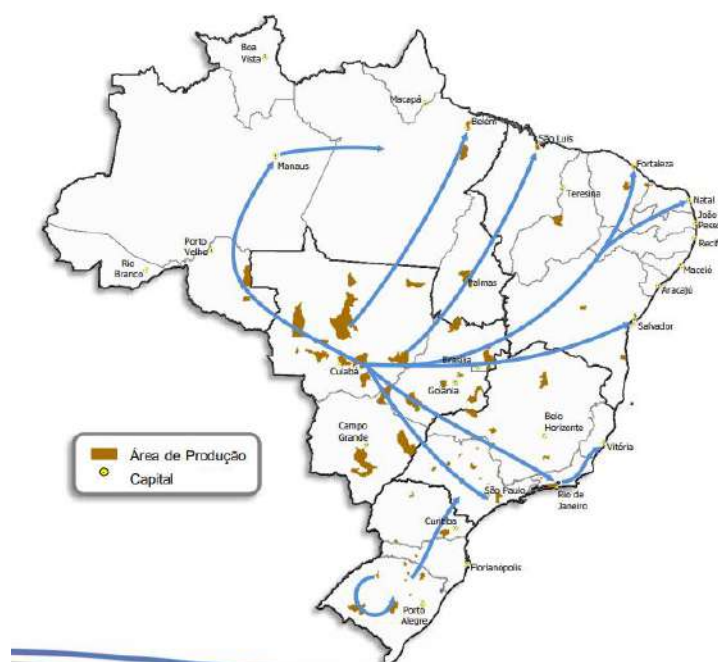
ORIGEM	DESTINO					TOTAL ORIGEM
	SUDESTE	NORDESTE	SUL	CENTRO-OESTE	NORTE	
SUDESTE	238.120	67.023				305.143
NORDESTE		265.204				265.204
SUL	511.238		735.042			1.246.280
CENTRO-OESTE	382.112	233.053		243.076	366.913	1.225.154
NORTE		45.490			14.291	59.781
TOTAL DESTINO	1.131.470	610.770	735.042	243.076	381.204	3.101.564

Fonte: ANP - Elaboração: SFPP/MINFRA

Retirado de: Ministério da Infraestrutura, 2020.

Á partir da matriz calculada, o estudo foi capaz de determinar os fluxos de maior volume dentro do cenário nacional de distribuição. A maior parte dos fluxos de biodiesel partem do Centro-Oeste para as outras regiões do país, com a exceção da região sul, que também é superavitária e autossuficiente de biodiesel, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Principais Fluxos de Carga de Biodiesel

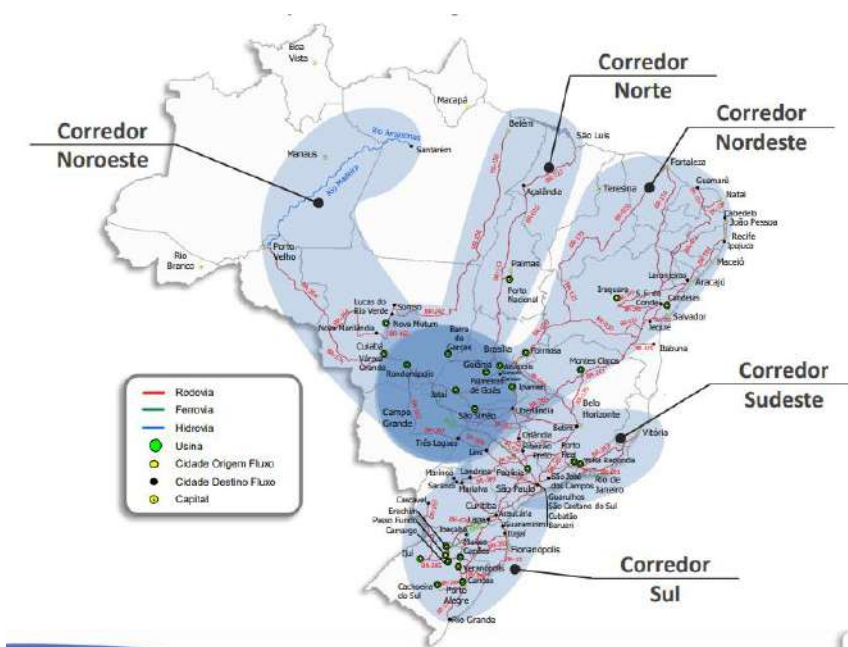


Retirado de: Ministério da Infraestrutura, 2020.

A Figura 15 evidencia o aumento da representatividade da região Sul desde 2018 frente à região Centro-Oeste. Em 2018, ambas as regiões tinham uma produção correspondente a 41% da produção nacional, já em 2021 a região Sul tem 47% e a região Centro-Oeste tem 38%. Isso altera significativamente os corredores logísticos da região Sul, intensificando os fluxos para a região Sudeste e possibilitando fluxos para a região Nordeste.

Após a definição dos fluxos, o estudo definiu cinco corredores logísticos por onde seria transportada a maior parte do biodiesel no país. Quatro corredores partem do Centro-Oeste em direção as regiões deficitárias do país e um corredor parte da região Sul para a Sudeste, como posto na Figura 22.

Figura 22 - Mapa Corredores Logísticos de Biodiesel



Retirado de: Ministério da Infraestrutura, 2020.

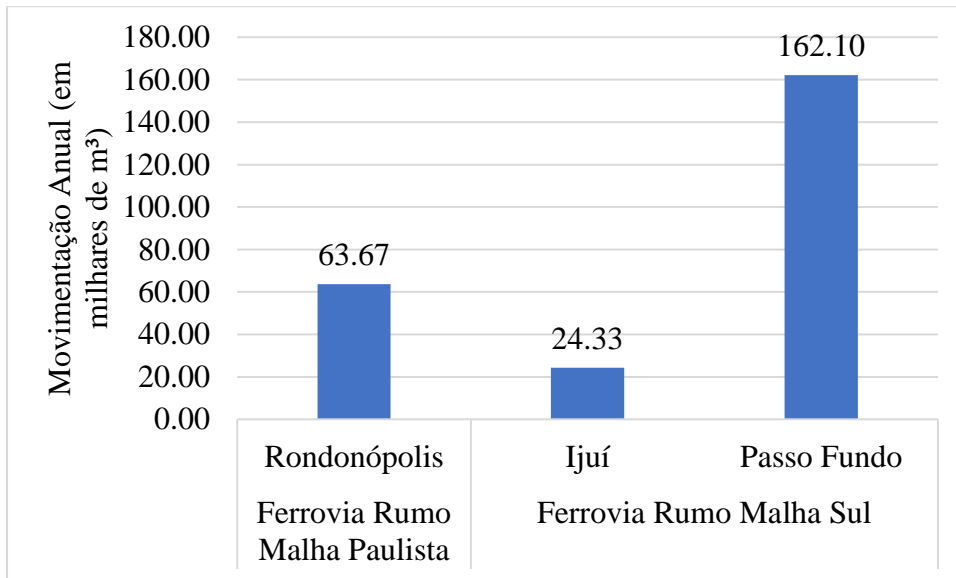
A partir dos corredores mapeados foi estimado que para o consumo interno de biodiesel a partir da lógica de investimento dos corredores logísticos, seriam utilizados 29,7 mil quilômetros de rodovias estaduais e federais, 2,3 mil km de ferrovias (trechos da RMS, RMN e RMP) e 1,7 mil quilômetros de hidrovias. É importante ressaltar que neste estudo não foi avaliada a transferência de biodiesel via cabotagem.

Quando analisadas as movimentações em 2021, determina-se que há um baixo aproveitamento dos diferentes modais de grande volume que poderiam realizar o transporte de biodiesel nacionalmente.

De acordo com dados da ANTT, a movimentação ferroviária interestadual de biodiesel ocorre em dois fluxos: entre os estados do Mato Grosso e São Paulo e entre os estados do Rio Grande do Sul e Paraná (ANTT, 2022a). O volume total destas movimentações é

aproximadamente 250 mil metros cúbicos anualmente, para o ano de 2021. O volume movimentado em cada fluxo pode ser encontrado na Figura 23. A visualização geográfica destes fluxos pode ser encontrada na Figura 24.

Figura 23 - Origens e Volumes das Movimentações Ferroviárias de Biodiesel (2021)



Fonte: ANTT, 2023a. Elaboração própria.

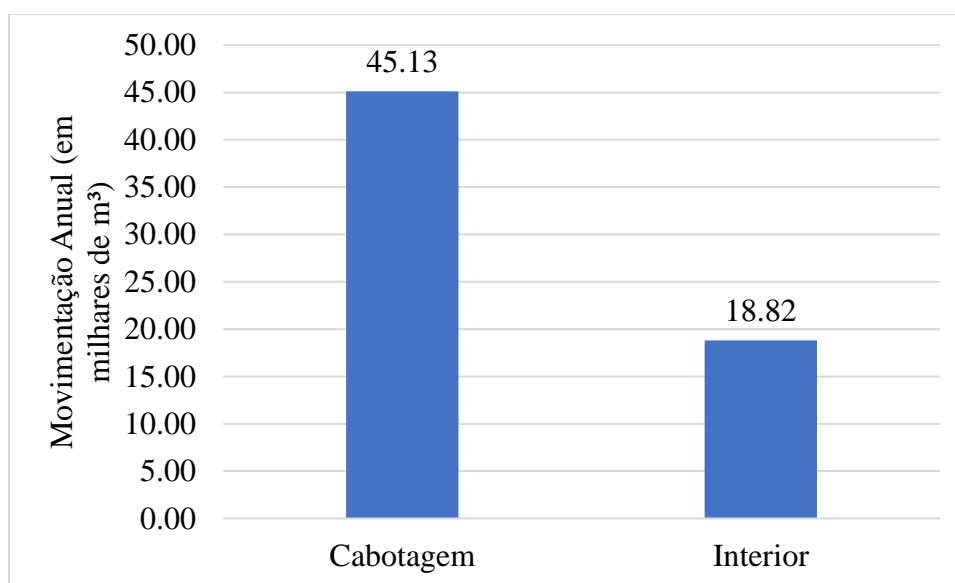
Figura 24 - Fluxos Históricos Ferroviários de Biodiesel (2021)



Fonte: ANTT, 2023a. Elaboração própria.

Além disso, de acordo com a ANTAQ, a maior parte dos fluxos aquaviários são encontrados nas rotas de cabotagem. Em 2021 apenas uma rota de cabotagem foi identificada para o transporte de biodiesel, a rota de Rio Grande/RS para Suape/PE. Esta rota foi responsável pela movimentação de 45 mil metros cúbicos do produto no ano. Outros fluxos de navegação interior, ou seja, em rios e hidrovias, foram responsáveis pela outra parcela das movimentações, movimentando 18,8 mil metros cúbicos de biodiesel, como se pode observar na Figura 25 (ANTAQ, 2022).

Figura 25 - Movimentação Aquaviária de Biodiesel (2021)



Fonte: ANTAQ, 2022 Elaboração própria.

Dos 6,9 milhões de metros cúbicos de biodiesel vendidos em 2021, estima-se que apenas 314 mil m³ foram transportados por modais de grande volume, representando apenas 4,5% do volume total comercializado. Este volume pode ser ainda menor caso haja sobreposição nos volumes calculados para os modais, ou seja, um mesmo fluxo conter ambos os modais ferroviário e aquaviário, porém este não parece ser o caso nos fluxos levantados.

O modal dutoviário não apresenta fluxo interestadual de biodiesel. Os fluxos dutoviários de biodiesel existentes não contribuem diretamente para o transporte nacional do biocombustível e normalmente são dutos curtos. De acordo com os dados da ANP, existem 131 dutos, sendo todos eles menores do que 3 quilômetros (ANP, 2023). Os dutos são divididos entre portuários, que somam 105 dos 131 dutos, e de transferência, que somam 26.

Uma vez que foram levantadas as movimentações dos modais aquaviário, ferroviário e dutoviário, constata-se que o transporte de biodiesel é feito de forma quase exclusiva através do modal rodoviário. Este modal é um dos menos eficientes para o transporte de longas distâncias, trazendo diversas complicações para a logística e ganho ambiental deste produto.

4 O MODAL RODOVIÁRIO NO TRANSPORTE DE BIODIESEL

Neste capítulo será dado um panorama geral e breve sobre o modal rodoviário. Em seguida, serão analisadas as distâncias rodoviárias entre os estados para determinar os fluxos para o transporte de biodiesel, dada a informação pública disponível e os *gaps* calculados no capítulo anterior. Também será definido o custo do frete rodoviário para este produto, a fim de calcular o custo do sistema de transporte como um todo.

4.1 O MODAL RODOVIÁRIO NO BRASIL

O modal rodoviário pode ser definido como aquele que utiliza estradas e rodovias para a movimentação de cargas e pessoas através de veículos automotores (BARRETO, 2020). Ainda de acordo com Barreto (2020), o transporte rodoviário é o mais apropriado para a movimentação de produtos de alto valor agregado com baixa ou média tonelagem.

Pereira et al. (2018) pontuam que uma das principais vantagens do modal rodoviário é a sua flexibilidade, pois não necessita de infraestrutura tão complexa e se apoia no uso de estradas, assim tem acesso à múltiplos pontos. Quando comparado ao modal ferroviário, tem-se que o custo de construção da via para o modal rodoviário pode ser até três vezes menor, segundo Moreira (2018). Esse impacto pode ser visto no atual cenário brasileiro, que conta com um milhão e setecentos mil quilômetros de estradas e apenas trinta mil quilômetros de ferrovias (CNT, 2022a).

De acordo com os dados do Anuário de Transporte da Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2021 a malha rodoviária brasileira totalizou mil setecentos e vinte e um quilômetros de extensão total. Destes, apenas duzentos e treze quilômetros são pavimentados, com cinquenta e cinco por cento destes apresentando problemas no pavimento (CNT, 2022a). Dessa forma, pode-se determinar que a malha brasileira é majoritariamente ineficiente pela falta de pavimentação ou pela presença de problemas que interferem diretamente na qualidade e eficiência no transporte de cargas e pessoas.

Na pesquisa de pontos críticos nas rodovias brasileiras, feita pela CNT, foram analisados os principais pontos críticos nas rodovias brasileiras, sendo eles: Quedas de Barragem, Buracos Grandes, Erosões na Pista, Pontes Caídas e Pontes Estreitas. De acordo com o estudo, nos últimos dez anos (de 2012 a 2021) a densidade de pontos críticos, ou seja, ocorrências por quilômetro, aumentou quatrocentos e oitenta e um por cento, um aumento expressivo que deverá ser combatido com a retomada de investimento em rodovias, sinalização de ocorrências, gerenciamento de manutenções e fiscalização do tráfego, entre outros (CNT, 2022c).

Em 2022, ocorreram mais de sessenta e quatro mil acidentes, apenas nas rodovias federais do Brasil, sendo cinquenta e três mil deles com vítimas (CNT, 2022b). Esse valor representa uma queda de sessenta e cinco por cento quando comparado há dez anos antes, em 2013. A maior parte das mortes decorrentes destes acidentes ocorreram em automóveis e motocicletas (CNT, 2022b).

Os acidentes rodoviários geram custos à toda uma cadeia de agentes de saúde, seguro, manutenção e outros. Os custos estimados dos acidentes das rodovias federais foram de aproximadamente treze bilhões de reais (CNT, 2022b). Já o custo de reparo de todos os pontos críticos levantados pela CNT em 2022 seria de um bilhão e oitocentos milhões de reais (CNT, 2022c).

4.2 METODOLOGIA DO CÁLCULO DE FLUXOS LOGÍSTICOS

Os fluxos de transporte de biodiesel, como visto anteriormente, são dados entre os produtores e as bases de distribuição, que posteriormente distribuem ao consumidor final. Estes fluxos podem ser de feitos com a utilização de diversos modais, como rodoviário, ferroviário e aquaviário. Devido ao caráter flexível do modal rodoviário e pela alta presença deste modal no transporte de biodiesel, foram calculados os fluxos rodoviários entre os estados de forma simplificada, através da metodologia abaixo:

- Os dados de oferta de biodiesel foram obtidos por estado na ABIOVE, de forma a apresentar as produções locais deste produto;
- Os dados de demanda de biodiesel foram obtidos a partir da demanda de diesel B por estado, disponível na ANP, utilizando o mix de adição obrigatório;
- Os dados de oferta e demanda permitem o cálculo do gap, que dará as direções para os fluxos de compradores e supridores;
- A partir dos gaps de oferta e demanda de biodiesel, calculados na Tabela 5, os estados foram divididos entre supridores e compradores de biodiesel. Para isso, foi estimado que os estados, prioritariamente, usariam a produção local para o auto suprimento;
- Para que toda a demanda seja atendida, é necessário que os totais de oferta e demanda nacionais sejam iguais, o que não ocorre na prática. Os valores de oferta de biodiesel foram, portanto, ajustados em 2,5% para fechar o balanço negativo que existiu no ano de análise (2021). Dessa forma toda a demanda de 2021 será suprida pela produção nacional de 2021, corrigida pelo fator.

- O excedente dos estados supridores de biodiesel foi alocado no estado mais próximo a fim de suprir seu déficit. As distâncias entre os estados foram estimadas a partir das suas capitais através da base de dados do DNIT para distâncias rodoviárias, que calcula as menores distâncias pavimentadas usando rodovias federais, estaduais ou municipais. Foi estimado que o custo logístico rodoviário seria diretamente proporcional à distância entre os pontos de origem e destino.
- Quando dois supridores competem por um comprador, obteve preferência aquele que tem a menor distância até o destino.
- Uma vez que um supridor tenha alocado todo o volume disponível ele não pode mais suprir volume de fora da sua produção interna.
- Uma vez que um supridor não tem volume suficiente para neutralizar o déficit de um estado comprador, ele irá alocar todo o volume disponível e outro supridor poderá suprir o restante do déficit daquele estado.
- O estado do Amapá e sua capital Macapá não tem dados disponíveis de distâncias rodoviárias, dessa forma seu volume foi alocado no estado do Pará, pois é seu único vizinho.

A metodologia descrita tem diversas limitações para viabilizar a análise das rotas dentro do escopo deste trabalho, elas são:

1. Os custos de produção não foram levados em consideração para melhor avaliar a competitividade dos polos produtores. Dessa forma, apenas o custo logístico foi levantado, já que o objetivo deste trabalho não é avaliar a competitividade dos produtores e sim a logística associada ao transporte do produto;
2. Os custos logísticos rodoviários foram considerados diretamente proporcionais às distâncias calculadas, sem levar em consideração outros custos associados ao frete rodoviário, como manutenção de frota, pedágio, qualidade da estrada, velocidade média de via, etc. fatores que podem influenciar a escolha de uma determinada origem em detrimento de outra.
3. Não foram considerados os fluxos de biodiesel disponíveis publicamente que ocorrem nos modais de grande volume como ferrovias, hidrovias e cabotagem. Este cenário base leva em consideração o transporte de biodiesel como se fosse realizado apenas pelo modal rodoviário.

4. Individualidades estaduais que afetam a produção e transporte de biodiesel, como redução de impostos, incentivos fiscais, etc. não foram levados em consideração.

4.3 RESULTADOS DE FLUXOS LOGÍSTICOS

Por meio da metodologia descrita acima foi possível, então, criar a matriz de atendimento rodoviário da Tabela 7. Nas colunas estão presentes os fornecedores e nas linhas os compradores, os volumes alocados nas interseções representam o volume transferido do fornecedor para o comprador. Ocorrências de múltiplos fornecedores para um mesmo comprador representam que o fornecedor não foi capaz de neutralizar o déficit do estado então outro fornecedor também alocou volume naquele estado.

Fica então evidente que o Rio Grande do Sul é o fornecedor com mais destinos, somando dez diferentes estados compradores de sua produção, seguido do Mato Grosso com 7 estados compradores. O Rio Grande do Sul é um dos fornecedores mais distante dos principais centros consumidores (São Paulo, Minas Gerais e Pará) e frequentemente existe um outro fornecedor que tem menor custo logístico rodoviário. Assim, o Rio Grande do Sul é um estado que supre diversos estados menores no nordeste e sudeste, assim como alguns na região norte, depois que os fornecedores do centro-oeste já estão chegando ao limite de oferta.

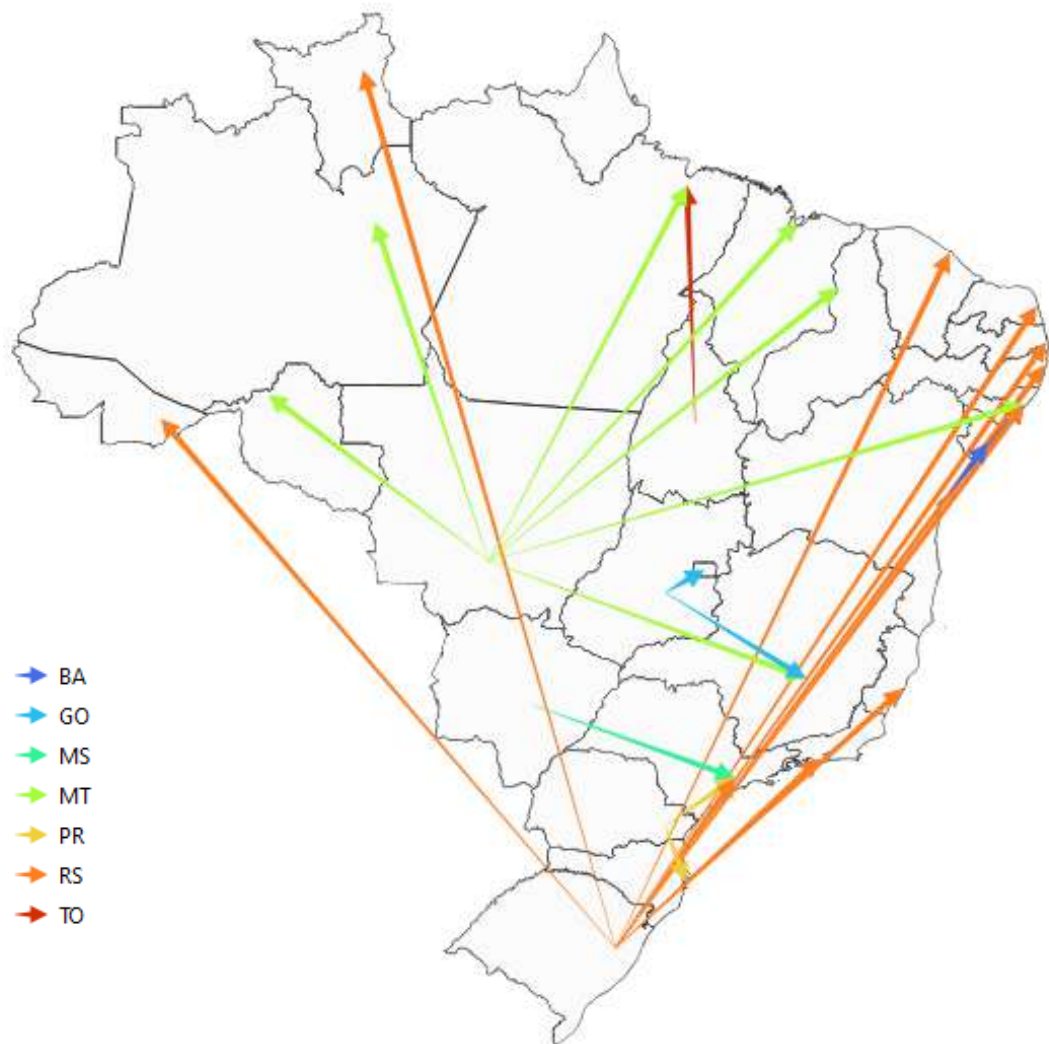
Foi feito, também, o mapa de fluxos baseado na matriz descrita acima, disposto na Figura 26. No Anexo, se encontram os fluxos da Figura 26 individuais dos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso, e também os fluxos dos outros estados, para melhor visualização do leitor. Na figura, pode-se perceber que o carácter de fornecedores nacionais dos estados do Rio Grande do Sul e do Mato Grosso. Os únicos estados que, nesta análise, não recebem biodiesel destes dois estados são Santa Catarina (que recebe exclusivamente do Paraná), Distrito Federal (que recebe exclusivamente de Goiás) e Sergipe (que recebe exclusivamente da Bahia), todos os outros estados compradores tem fluxos do Rio Grande do Sul ou do Mato Grosso.

Tabela 7 - Matriz de Atendimento de Supridores e Compradores (em milhares de metros cúbicos)

Região	Supridores	TO	BA	MS	MT	GO	PR	RS
	Compradores							
Norte	RO				114,19			
	AC							17,63
	AM				104,47			
	RR							50,70
	PA ⁴	9,96			311,44			
	AP							
Nordeste	MA				170,01			
	PI				19,98			
	CE							120,70
	RN							55,93
	PB							48,60
	PE							187,56
	AL		10,29		13,74			16,95
	SE		35,68					
Centro-Oeste	DF					42,51		
Sudeste	MG				135,33	585,77		
	ES							140,79
	RJ							113,00
	SP			172,83			336,84	717,82
Sul	SC						223,11	

Fonte: Elaboração própria.

⁴ O estado do Pará tem, além de seu próprio volume, o volume do Amapá também, pelas limitações já explicitadas. Portanto, o volume do Amapá aparece zerado na tabela.

Figura 26 - Mapa de Fluxos de Transporte de Biodiesel

Fonte: Elaboração própria.

4.4 ESTIMATIVA DO CUSTO DE FRETE RODOVIÁRIO

Para o cálculo do frete rodoviário foi utilizada uma metodologia que se baseia no uso da Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas, que determina valores mínimos referentes ao quilômetro rodado. O piso mínimo foi utilizado como padrão de custo para as transportadoras.

A Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas foi instituída na Lei Nº 13.703, de 8 de agosto de 2018. Esta lei tem como fim promover condições mínimas

para a realização do frete no Brasil. Dessa forma, a lei garante que o custo do frete será suficiente para, no mínimo, cobrir os principais custos do exercício da atividade (ANTT, 2023 d).

A ANTT é o órgão responsável pela publicação das normas com os valores relativos ao piso mínimo do transporte rodoviário. Para este trabalho foi considerado o Reajuste do Anexo II da Resolução ANTT nº 5.867/2020, em razão do disposto no §3º do art. 5º da Lei nº 13.703/2018, publicado sob a Portaria SUROC nº 219/2022. Para o cálculo dos coeficientes de piso mínimo foram utilizados, pela ANTT, os parâmetros dispostos na Portaria SUROC nº 212/2022.

Utilizou-se como premissa para o transporte rodoviário de biodiesel um caminhão com 6 eixos. De acordo com a Portaria SUROC nº 212/2022, o caminhão padrão é o Axor 2544 6x2 Multiuso da Mercedes-Benz, representado na Figura 27. De acordo com a própria fabricante, o caminhão tem peso bruto total de 23,00 toneladas e, subtraindo o peso do próprio caminhão, pode carregar até 13,72 toneladas de carga (Mercedes Benz, 2023).

Figura 27 - Caminhão Axor 2544 6x2 Multiuso da Mercedes-Benz



Fonte: Mercedes Benz, 2023.

Portanto, a tarifa do frete rodoviário será representada pelo piso mínimo estabelecido pela Lei Nº 13.703, de 8 de agosto de 2018. A Portaria SUROC nº 219/2022 estabelece os um custo de deslocamento de 6,4883 reais por quilômetro e um custo fixo de carga e descarga de 529,55 reais, conforme a Tabela 8, uma vez que o biodiesel é uma carga perigosa de granel

líquido. Adicionalmente ao que previsto em lei, foi calculado o custo de deslocamento em reais por quilômetro metro cúbico, utilizando as dimensões do caminhão Axor 2544 6x2 Multiuso da Mercedes-Benz.

Tabela 8 - Coeficientes de Piso Mínimo para Transporte Rodoviário de Diferentes Cargas em Caminhão com 6 Eixos

Tipo de Carga	Custo de Deslocamento (R\$/km)	Custo de Carga e Descarga (R\$)	Custo de Deslocamento (R\$/km.m ³)
Granel Sólido	5,7490	381,80	0,4772
Granel Líquido	5,8340	395,24	0,4843
Frigorificada ou Aquecida	6,9383	463,84	0,5760
Containerizada	5,7471	381,28	0,4771
Carga Geral	5,7471	381,28	0,4771
Neogranel	5,7471	381,28	0,4771
Perigosa (Granel Sólido)	6,4010	505,53	0,5314
Perigosa (Granel Líquido)	6,4883	529,55	0,5386
Perigosa (Frigorificada ou Aquecida)	7,4422	554,79	0,6178
Perigosa (Containerizada)	6,0612	462,11	0,5032
Perigosa (Carga Geral)	6,0612	462,11	0,5032
Perigosa (Pressurizada)	5,9167	427,93	0,4912

Fonte: Portaria SUROC nº 219/2022

5 VIABILIDADE TÉCNICA E LOGÍSTICA DO MODAL FERROVIÁRIO

Neste capítulo será avaliado o modal ferroviário com suas vantagens e limitações para, assim, compreender como este pode auxiliar no transporte de biodiesel, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa.

5.1 O MODAL FERROVIÁRIO NO BRASIL

Segundo Boiteux (2014), a segunda metade do século dezenove e o início do século vinte foram marcados pela chamada “Era Ferroviária” onde a maior parte das ferrovias brasileiras foi concebida. Boiteux (2014) ainda ressalta que normalmente a ferrovia é vista como braço direito do crescimento econômico e industrialização, porém os anos 1950 a 1970, que foram os anos de maior industrialização do país, foram os anos de declínio das ferrovias brasileiras e não se recuperaram desde então.

Segundo estudo do BNDES sobre o setor ferroviário, as ferrovias tem papel essencial para a economia brasileira, reduzindo custos logísticos de diversas cadeias produtivas, contribuindo para a competitividade de empresas e para o bem estar da sociedade (Assis, 2017). O estudo ainda ressalta a importância que o modal ferroviário tem no longo prazo, reforçando a necessidade de medidas legislativas para inserir cada vez mais o modal na matriz de transportes brasileira.

De acordo com o Plano Nacional de Logística (PNL) 2035, em 2017 o modal ferroviário correspondia a vinte e dois por cento da matriz de transportes de cargas brasileira, atrás apenas do modal rodoviário que era responsável por sessenta e sete por cento da matriz (PNL, 2021). O mesmo estudo projeta um crescimento expressivo para o setor ferroviário chegando, em 2035, a representar trinta e três por cento da matriz de transportes.

A Figura 28 mostra o mapa do de ferrovias em operação no Brasil em 2022.

Fica evidente, que as regiões sul e sudeste são as regiões com maior quantidade e variedade de ferrovias.

Hoje, o Brasil se posiciona como o oitavo país com mais ferrovias no mundo, somando quase trinta mil quilômetros de trilhos espalhados pelo país (CIA, 2023). Ainda assim, pela vasta extensão territorial brasileira ainda há espaço para crescimento. Um indicador utilizado no setor ferroviário é o de “Ferrovias/Áreas” que determina o tamanho da malha ferroviária dividido pela extensão territorial do país, nesse caso o Brasil se posiciona bem abaixo de outros países de dimensões semelhantes, como Rússia, Canadá, Austrália e EUA, com aproximadamente 3,6 km de ferrovias por mil km² de área (ANTF, 2023). Estes países também

tem, em sua maioria, maior participação do modal ferroviário dentro da matriz de transportes, como pode ser observado na Figura 29.

Figura 28 - Mapa de Ferrovias Brasileiras em Operação (2022)

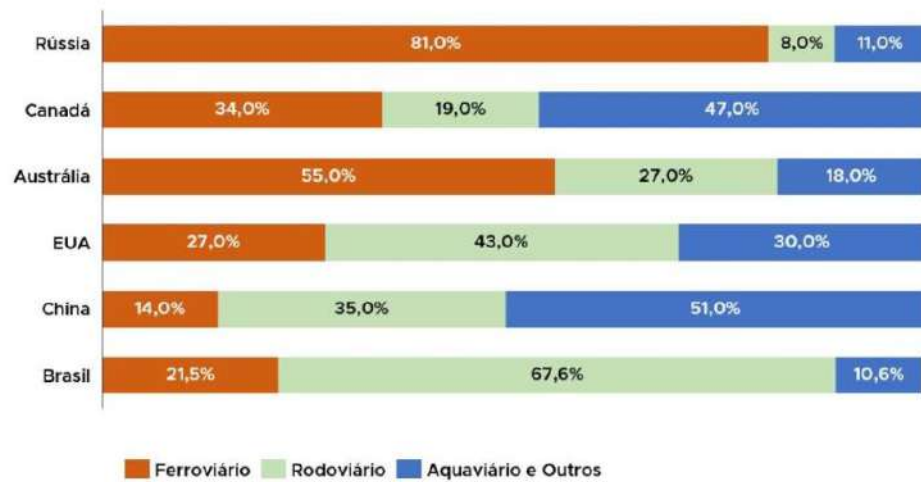


Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria.

O principal produto movimentado pelas ferrovias brasileiras, em 2020, foi o minério de ferro. Este produto representou 70% das cargas transportadas no ano, seguido pelo transporte de soja (8%) e milho (7%), estas bem menos representativas (ONTL, 2023).

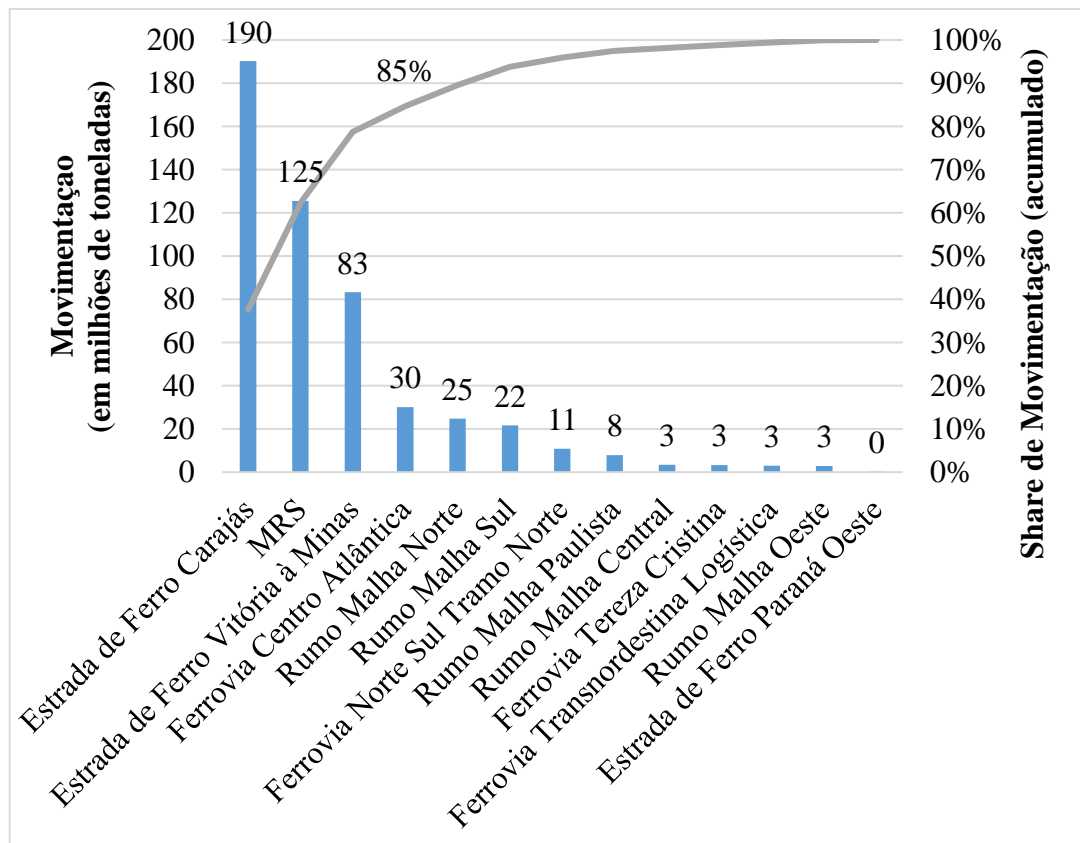
De forma geral, quatro ferrovias são responsáveis pela movimentação de quase oitenta e cinco por cento da carga transportada, em peso, como mostra a Figura 30 (CNT, 2023).

Figura 29 - Participação dos Modais na Matriz de Transportes de Países com Dimensões Próximas ao Brasil.



Retirado de: ANTF, 2023.

Figura 30 - Movimentação Ferroviária por Ferrovia (2021)



Fonte: CNT, 2023. Elaboração própria.

A Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), empresa de economia mista, foi criada mediante autorização da Lei nº 3.115, de 16 de março de 1957, com o objetivo de promover os

interesses da União no setor de Transporte Ferroviário, porém foi incluída no Programa Nacional de Desestatização em 1992 (Ministério da Infraestrutura, 2019). Dessa forma, a empresa estatal que geria as ferrovias nacionais foi privatizada e assim o setor privado foi capaz de entrar no setor de transporte ferroviário de carga.

Assim, a maior parte das ferrovias brasileiras foi alvo de contratos de concessão firmados na década de 90. Segundo Guerra Neto (2019) estes contratos apresentam diversas lacunas regulatórias e não incentivam o uso eficiente do modal ferroviário quando concedido aos entes privados, principalmente por não prever condições adequadas para promover o direito de passagem.

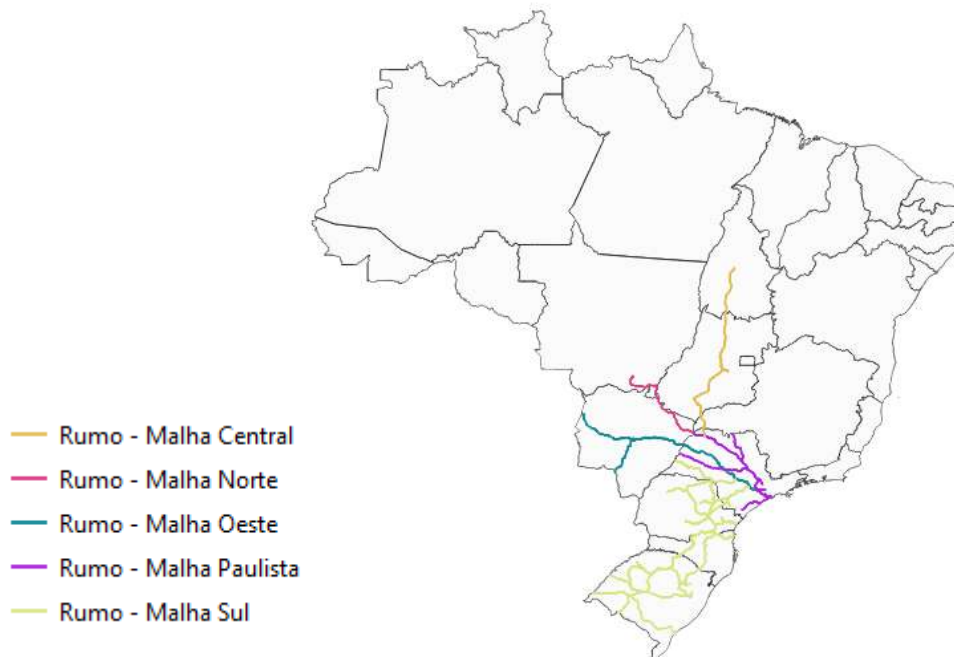
Outra ineficiência da malha ferroviária brasileira vem da incompatibilidade entre as bitolas de diferentes tamanhos, que gera dificuldade na interoperabilidade entre as diferentes ferrovias (Pelissari, 2022). Existem três tipos de bitolas, que representam a distância entre os trilhos: a métrica, que foi empregada nas linhas antigas, a larga, empregada nas linhas novas, e a mista, utilizada para as linhas com transporte de passageiros. Pelissari (2022) ainda ressalta que se não houver uma unificação no tipo de bitola ou adoção de um modelo interoperável, sempre existirá o custo extra de transbordo, ou seja, o custo de descarga e recarga da carga quando trafegando em trechos com diferentes bitolas.

As ferrovias concedidas foram divididas pelas empresas privadas que as gerenciam, as concessões existentes hoje são, de forma breve (ANTT, 2023e; ANTT, 2023f; CNT, 2023):

5.1.1 Rumo

A empresa Rumo, hoje, é concessionária de cinco ferrovias como presente na Figura 31.

Figura 31 - Concessões Rumo



Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria

As ferrovias sobre concessão da Rumo são divididas em diferentes malhas, que são:

5.1.1.1 Rumo Malha Central

Esta ferrovia (EF-151) conecta os estados de Goiás e Tocantins com mil quinhentos e quarenta e quatro quilômetros de extensão, toda em bitola larga.

A ferrovia foi a subconcessão mais recente, iniciada em 2019 e com vigência de trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou três milhões e trezentos e sessenta mil toneladas de carga útil. Não houve transporte de combustíveis (óleo diesel, biodiesel ou gasolina) nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.1.2 Rumo Malha Norte

Esta ferrovia (EF-364) conecta os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo com setecentos e trinta e cinco quilômetros de extensão, toda em bitola larga.

A ferrovia foi concessionada em 1989 por noventa anos.

A ferrovia, em 2021, transportou vinte e quatro milhões e setecentos mil toneladas de carga útil. Houve transporte de sessenta e quatro mil toneladas de óleo diesel e/ou biodiesel

somados nesta ferrovia em 2021. Na base de dados da CNT, não há distinção entre óleo diesel e biodiesel.

5.1.1.3 Rumo Malha Oeste

Esta ferrovia conecta os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo com mil novecentos e setenta e três quilômetros de extensão, toda em bitola métrica.

A ferrovia foi concessionada em 1996 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou dois milhões e oitocentos mil toneladas de carga útil. Não houve transporte de combustíveis (óleo diesel, biodiesel ou gasolina) nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.1.4 Rumo Malha Paulista

Esta ferrovia conecta os estados de Minas Gerais e São Paulo com dois mil cento e dezoito quilômetros de extensão, distribuídos entre as bitolas métrica, larga e mista, sendo a maior parte em bitola larga.

A ferrovia foi a concessionada em 1999 por trinta anos e foi prorrogado por mais trinta anos a partir de 2029.

A ferrovia, em 2021, transportou sete milhões e oitocentos e oitenta mil toneladas de carga útil. Houve transporte de cento e quarenta e um mil toneladas de gasolina e um milhão cento e dezesseis mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021. Na base de dados da CNT, não há distinção entre óleo diesel e biodiesel.

5.1.1.5 Rumo Malha Sul

Esta ferrovia conecta os estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo com sete mil e duzentos quilômetros de extensão, em bitola métrica.

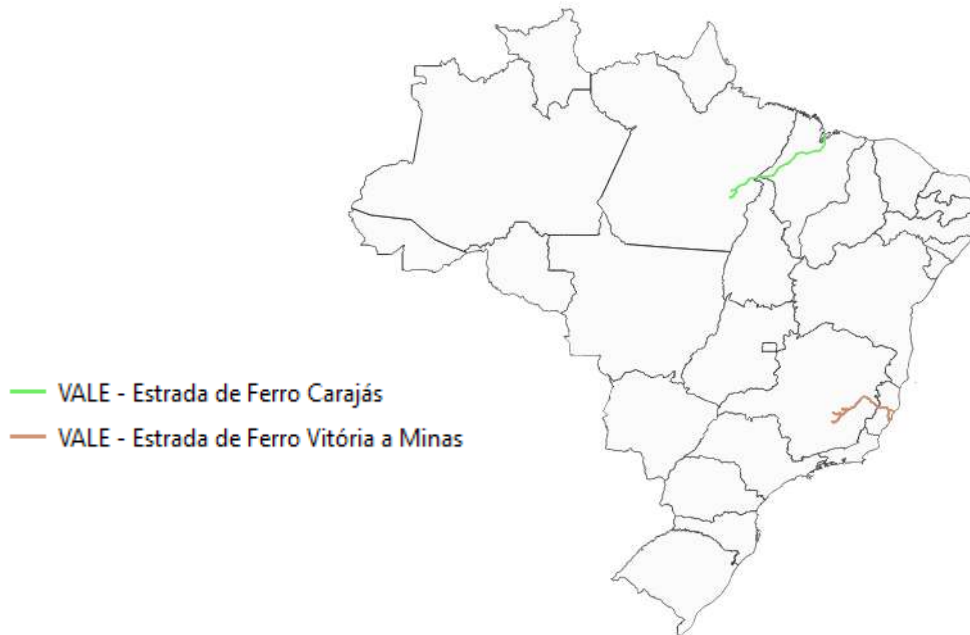
A ferrovia foi concessionada em 1997 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou vinte e um milhões e seiscentos mil toneladas de carga útil. Houve transporte de quatrocentos e oitenta e três mil toneladas de gasolina e um milhão novecentos e noventa e cinco mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021. Na base de dados da CNT, não há distinção entre óleo diesel e biodiesel.

5.1.2 Vale

A empresa VALE, hoje, é concessionária de duas ferrovias como presente na

Figura 32 - Concessões VALE



Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria

As ferrovias sobre concessão da VALE são divididas em diferentes estradas de ferro, que são:

5.1.2.1 Estrada de Ferro Carajás

Esta ferrovia (EF-315) conecta os estados de Pará e Maranhão com novecentos e noventa e oito quilômetros de extensão, toda em bitola larga.

A ferrovia foi concessionada em 1997 por trinta anos e foi prorrogado por mais trinta anos a partir de 2027.

A ferrovia, em 2021, transportou cento e noventa milhões toneladas de carga útil. Houve transporte de cento e oitenta e um mil toneladas de gasolina e seiscentos e setenta e cinco mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.2.2 Estrada de Ferro Vitória à Minas

Esta ferrovia (EF-262) conecta os estados de Espírito Santo e Minas Gerais com oitocentos e noventa e quatro quilômetros de extensão, sua maior parte é em bitola métrica, porém possui parte em bitola mista.

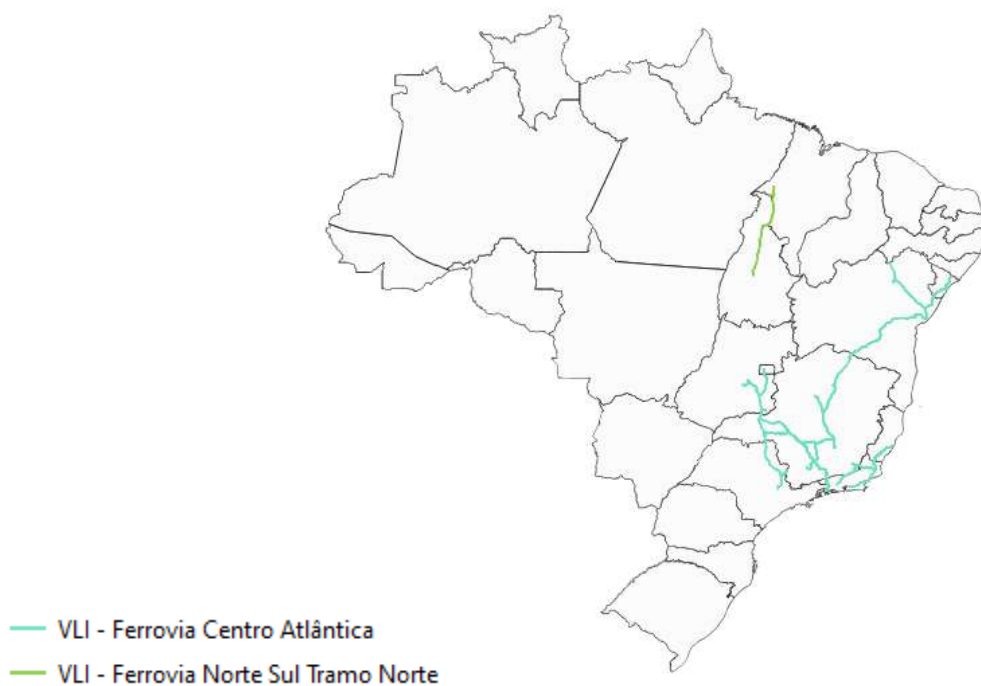
A ferrovia foi concessionada em 1997 por trinta anos e foi prorrogado por mais trinta anos a partir de 2027.

A ferrovia, em 2021, transportou oitenta e três milhões toneladas de carga útil. Não houve transporte de combustíveis (óleo diesel, biodiesel ou gasolina) nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.3 VLI

A empresa VLI, hoje, é concessionária de duas ferrovias como presente na Figura 33.

Figura 33 - Concessões VLI



Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria

As ferrovias sobre concessão da VLI são divididas em:

5.1.3.1 Ferrovia Centro Atlântica

Esta ferrovia conecta os estados de Minas Gerais, Sergipe, Goiás, Espírito Santo, Distrito Federal, Rio de Janeiro, Bahia e São Paulo com sete mil oitocentos e cinquenta quilômetros de extensão, com maior parte em bitola métrica, apresentando trechos em bitola larga e mista.

A ferrovia foi concessionada em 1996 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou trinta milhões de toneladas de carga útil. Houve transporte de cento e sessenta mil toneladas de gasolina e quatrocentas mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.3.2 Ferrovia Norte Sul Tramo Norte

Esta ferrovia (EF-151) conecta os estados de Maranhão e Tocantins com setecentos e quarenta quilômetros de extensão, em bitola larga.

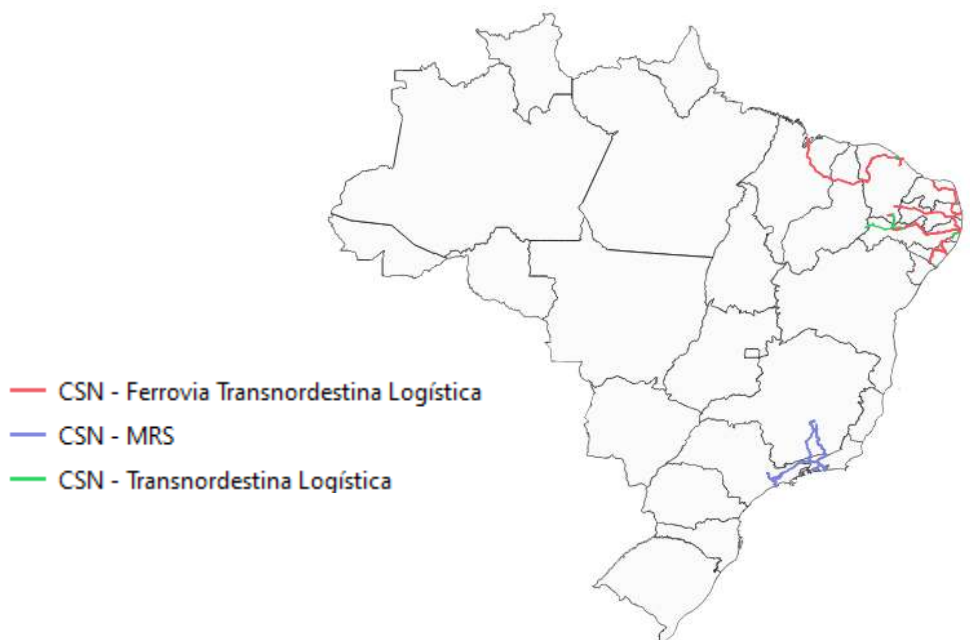
A ferrovia foi concessionada em 2007 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou dez milhões e oitocentos mil toneladas de carga útil. Houve transporte de cento e trinta mil toneladas de gasolina e seiscentas mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.4 Grupo CNS

O grupo da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), hoje, é concessionária de três ferrovias como presente na Figura 34.

Figura 34 - Concessões CSN



Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria.

As ferrovias sobre concessão do grupo CSN são divididas em:

5.1.4.1 Ferrovia Transnordestina Logística

Esta ferrovia (EF-116) conecta os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas com quatro mil e trezentos quilômetros de extensão, com maior parte em bitola métrica, trechos em bitola mista.

A ferrovia foi concessionada em 1997 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou três milhões de toneladas de carga útil. Houve transporte de duzentas e dezoito mil toneladas de gasolina e quatrocentas mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.4.2 MRS

Esta ferrovia conecta os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, com mil e oitocentos quilômetros de extensão, em maior parte em bitola larga, com presença de trechos em bitola mista.

A ferrovia foi concessionada em 1996 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou cento e vinte e cinco milhões de toneladas de carga útil. Houve transporte de quarenta e dois mil toneladas de diesel e/ou biodiesel nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.4.3 Transnordestina Logística

Esta ferrovia (EF-232) irá conectar os estados de Piauí, Ceará e Pernambuco, e ainda está em fase de construção, porém já está concessionada para empresa Transnordestina Logística S.A.

A ferrovia foi concessionada por trinta anos a partir de 2027.

5.1.5 Ferrovia Tereza Cristina

A ferrovia Tereza Cristina não pertence à um player com múltiplas ferrovias, conforme a Figura 35.

Figura 35 - Concessão FTC

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria

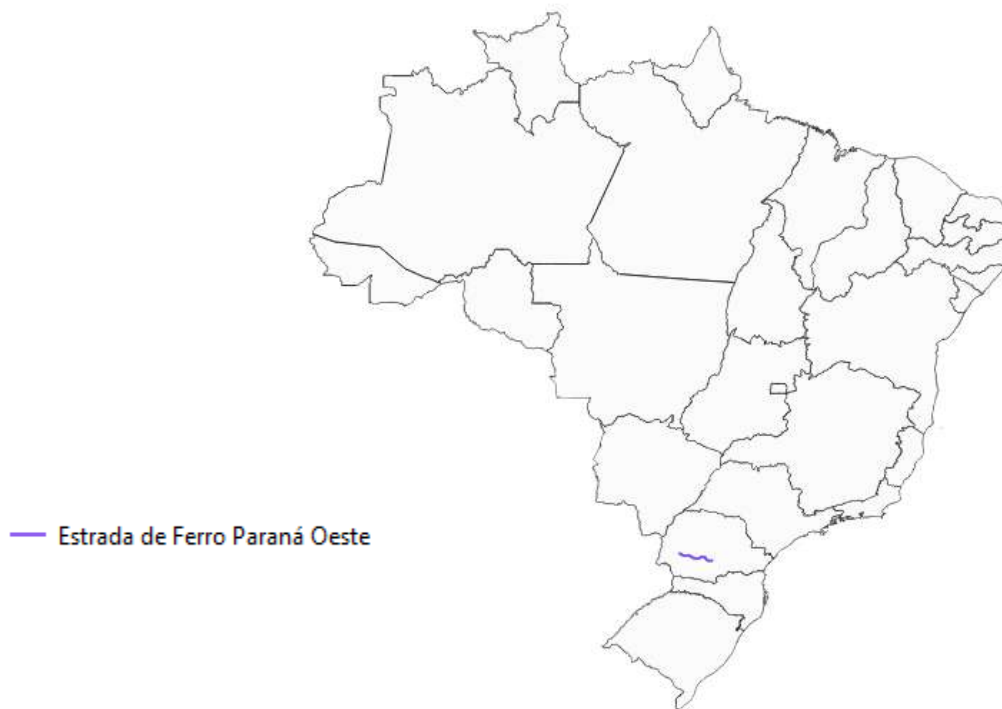
Esta ferrovia (EF-488) não conecta múltiplos estados e está contida integralmente em Santa Catarina, com cento e sessenta quilômetros de extensão em bitola métrica.

A ferrovia foi concessionada em 1997 por trinta anos.

A ferrovia, em 2021, transportou três milhões e trezentas mil toneladas de carga útil. Não houve transporte de combustíveis (óleo diesel, biodiesel ou gasolina) nesta ferrovia no ano de 2021.

5.1.6 Estrada de Ferro Paraná Oeste

A Estrada de Ferro Paraná Oeste não pertence à um player com múltiplas ferrovias, conforme a Figura 36.

Figura 36 - Concessão Ferroeste

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022. Elaboração própria.

Esta ferrovia (EF-277) não conecta múltiplos estados e está contida integralmente no Paraná, com duzentos e cinquenta quilômetros de extensão em bitola métrica.

A ferrovia foi concessionada em 1988 por noventa anos.

A ferrovia, em 2021, transportou duzentas e setenta mil toneladas de carga útil. Não houve transporte de combustíveis (óleo diesel, biodiesel ou gasolina) nesta ferrovia no ano de 2021.

Para efeito de comparação, as diferentes ferrovias foram agrupadas em uma tabela resumo com as respectivas extensões por tipo de bitola e movimentação de carga.

Tabela 9 - Tabela Resumo das Ferrovias no Brasil

Concessionária	Ferrovia	Extensão (km)			Movimentação (ton)		
		Bitola Larga	Bitola Métrica	Bitola Mista	Carga	Óleo Diesel	Gasolina
	Rumo Malha Central	1,544			3,360,000		
	Rumo Malha Norte	735			24,700,000	64,000	
	Rumo Malha Oeste		1,973		2,800,000		
Rumo	Rumo Malha Paulista	1,544	242	269	7,880,000	1,116,000	141,000
	Rumo Malha Sul		7,200		21,600,000	1,995,000	483,000
	Estrada de Ferro Carajás	998			190,000,000	675,000	181,000
Vale	Estrada de Ferro Vitória à Minas		873	22	83,000,000		
	Ferrovia Centro Atlântica	3	7,089	131	30,000,000	400,000	160,000
VLI	Ferrovia Norte Sul Tramo Norte	740			10,800,000	600,000	130,000
	Transnordestina Logística		4,275	20	3,000,000	400,000	218,000
CSN	MRS	1,613		73	125,000,000	42,000	
-	Ferrovia Tereza Cristina		160		3,300,000		
-	Estrada de Ferro Paraná Oeste		250		260,000		

Fonte: ANTT, 2023e; ANTT, 2023f; CNT, 2023

5.2 VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DE MODAIS

O modal ferroviário tem diversas vantagens sobre o modal rodoviário dentro das condições ideais para seu uso, ou seja, quando está se transportando produtos de baixo valor agregado em grandes volumes. A ferrovia, dentro destas condições, é capaz de reduzir gargalos logísticos, reduzir custos de segurança e frete, além de ter menor impacto ambiental e maior eficiência energética. Por outro lado, este modal tem pouca flexibilidade no trajeto, maior tempo no deslocamento e possibilidade de incompatibilidade entre as diferentes ferrovias espalhadas pelo país, que inviabilizam a interoperabilidade entre as vias. Altos custos de manutenção e a baixa competitividade sobre distâncias curtas também são desvantagens deste modal frente ao rodoviário (ONTL,2023b).

A manutenção de trilhos, terminais, locomotivas e vagões são os principais custos fixos das ferrovias, destaca Gimenes (2017). Já as rodovias tem a vantagem de ter baixos custos fixos, pois a construção e manutenção de estradas depende dos órgãos públicos.

Sob o ponto de vista do contratante, Leite (2016) diz que devem ser avaliadas as importâncias de quatro aspectos que definem os modais rodoviário e ferroviário. Os aspectos são custo, tempo de percurso, capacidade de carga e disponibilidade e todos eles podem variar de acordo com o trecho avaliado. Normalmente, a ferrovia possui custos mais atrativos e capacidades de carga maiores, já o modal rodoviário apresenta tempos menores de percurso e grande disponibilidade.

Segundo reportagem da Rumo (2013), uma composição ferroviária, em média, é composta por oitenta vagões. De acordo com a CNT (2013), cada vagão é capaz de carregar setenta toneladas de carga, totalizando mais de cinco mil toneladas por composição. Ainda de acordo com a CNT (2013), o modal aquaviário é o mais eficiente com uma embarcação sendo capaz de transportar cinco mil toneladas, para se equiparar à essa capacidade são necessários setenta e dois vagões ou cento e quarenta e três caminhões.

Um dos principais gargalos da malha ferroviária brasileira é a capacidade de movimentação das ferrovias, que está próxima ao seu limite (CAMPOS NETO, 2010). Além disso, falta de ramais de acesso aos portos, baixa velocidade dos trens e passagens em nível são outros gargalos operacionais que afetam diversas ferrovias.

Também existem gargalos operacionais e técnicos para a interoperabilidade entre as ferrovias. Foi destacado pela União Europeia (2016) que diversos subsistemas das ferrovias precisam estar alinhados para que possa haver livre fluxo em todas as ferrovias, adequadamente.

Esses subsistemas são: Infraestrutura da via, Energia e Alimentação, Controle de Comando e Sinalização, Operação de Tráfego, Telemática, Material Rodante e Manutenção. Dentro deste estudo, o principal subsistema analisado foi o de infraestrutura, considerando as diferentes bitolas na malha nacional. Todos os outros parâmetros também podem impor significativas dificuldades à interoperabilidade das vias.

Bastos (2022) também ressalta que as ferrovias brasileiras foram construídas para o escoamento de grãos agrícolas para o litoral e para os portos. Bastos (2022) também destaca a oportunidade para a utilização da ferrovia nos sentidos de retorno como alternativas mais baratas, aumentando a competitividade deste modal.

O fluxo de biodiesel, como visto anteriormente, normalmente é no mesmo sentido do escoamento de grãos, ou seja, do interior do país para o litoral, onde estão os maiores consumidores. Assim, o biodiesel compete diretamente por disponibilidade nas ferrovias com os grãos agrícolas. Existe, entretanto, a possibilidade de utilizar os vagões-tanque que movimentam diesel e gasolina do litoral para o interior para movimentar biodiesel no caminho de retorno. Este movimento pode ser observado nos três trechos ferroviários que atualmente movimentam biodiesel (ANTT, 2022 a).

Apesar da redução de custos com segurança ser um ponto positivo para o transporte ferroviário, as consequências de acidentes neste modal podem ser muito mais graves do que as consequências de acidentes no modal rodoviário.

Em 2023, ano de desenvolvimento deste estudo, ocorreu um descarrilhamento em East Palestine, Ohio, nos Estados Unidos, de produtos químicos de alta periculosidade, como cloreto de vinila. Grande parte da cidade foi evacuada nos dias seguintes ao acidente para que ocorresse a queima controlada dos químicos descarrilhados, como ilustrado na Figura 37. Assim que a Environmental Protection Agency realizou os testes de qualidade de ar, solo e corpos hídricos e constatou não haver perigo, os moradores retornaram às suas casas, porém houveram muitos relatos de náusea, problemas respiratórios, irritações e outros problemas de saúde (CNN, 2023 e NYT, 2023). Dessa forma, ficam nítidos os desafios para manter um alto nível de segurança no transporte em modais de grande volume.

Figura 37 - Descarrilhamento de trem da Norfolk Southern em East Palestine, Ohio



Retirado de: CNN, 2023.

6 VIABILIDADE ECONÔMICA DO MODAL FERROVIÁRIO

Neste capítulo será avaliada a viabilidade econômica da substituição do modal rodoviário pelo ferroviário e serão estimados os fluxos mais eficientes, economicamente, para o atendimento nacional deste produto.

6.1 CUSTO DE FRETE FERROVIÁRIO

Um fator importante para a determinação do potencial de utilização das ferrovias para o transporte de biodiesel é o custo de transporte. Dessa forma, serão comparadas diferentes ferrovias com o valor de custo do transporte rodoviário estimado no capítulo 4.

Foram avaliadas as tarifas de frete das principais ferrovias que estariam integradas ao sistema de produção e escoamento de biodiesel. Esta avaliação foi feita a partir das tarifas publicadas de cada empresa responsável por cada ferrovia, conforme vigência em 14/02/2023, apresentadas na Tabela 10. Estas publicações anuais são obrigações legais impostas pela ANTT. Estas tarifas dizem respeito à tarifa máxima que pode ser cobrada pelo serviço de transporte, ou seja, já consideram todos os custos de operação da empresa que realizará o serviço de transporte.

As ferrovias avaliadas foram: Ferrovia Centro-Atlântica, Ferrovia Norte-Sul Tramo Norte, MRS, Ferrovia Transnordestina Logística, Estrada de Ferro Vitória a Minas, Estrada de Ferro Carajás e Rumo, malhas Paulista, Sul, Norte e Central. Outras ferrovias não foram avaliadas pois não foram consideradas relevantes para a análise por sua localização geográfica ser localizada dentro de um único estado.

Tabela 10 - Tarifas Ferroviárias

Ferrovia	Parcela Fixa	Unidade	Parcela Única	Unidade				
MRS	22,58	R\$/m ³	0,13	R\$/km.m ³				
FNSTN	61,22	R\$/m ³	0,60	R\$/km.m ³				
EFC	42,43	R\$/m ³	0,16	R\$/km.m ³				
EFVM	23,80	R\$/m ³	0,14	R\$/km.m ³				
RMC	48,14	R\$/m ³	0,47	R\$/km.m ³				

Ferrovia	Parcela Fixa	Unidade	Até 400km	401km-800km	801km-1600km	Acima de 1600km	Unidade
RMP	19,95	R\$/m ³	0,16	0,14	0,12	0,09	R\$/km.m ³
RMS	26,84	R\$/m ³	0,21	0,19	0,17	0,13	R\$/km.m ³
RMN	34,00	R\$/m ³	0,31	0,28	0,25	0,19	R\$/km.m ³

Ferrovia	Parcela Fixa	Unidade	Até 500 km	501km-1000 km	1001km-2000 km	Acima 2000 km	Unidade
FCA	39,91	R\$/m ³	0,14	0,12	0,10	0,07	R\$/km.m ³
FTL	26,08		0,13	0,12	0,10	0,07	R\$/km.m ³

Fonte: VLI, 2023; CSN, 2023; Rumo, 2023; MRS, 2023; ANTT, 2023b; ANTT, 2023c. Elaboração própria.

6.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DO TRANSPORTE, SOB A ÓTICA DE TARIFAS

Com o intuito de comparar o frete realizado através dos dois modais, foi realizado um ajuste com relação às distâncias, já que as rodovias oferecem maior flexibilidade de caminho entre os pontos de origem e destino.

Para efeito de normalização das distâncias, foram analisadas sete linhas da ferrovia Rumo Malha Sul, através da declaração de rede 2022 (ANTT, 2022a), e também foram medidas as distâncias no aplicativo Google Maps, os resultados se encontram na Tabela 11. Através dos dados obtidos, pode-se considerar que a distância ferroviária é, em média, 25% maior do que a distância rodoviária.

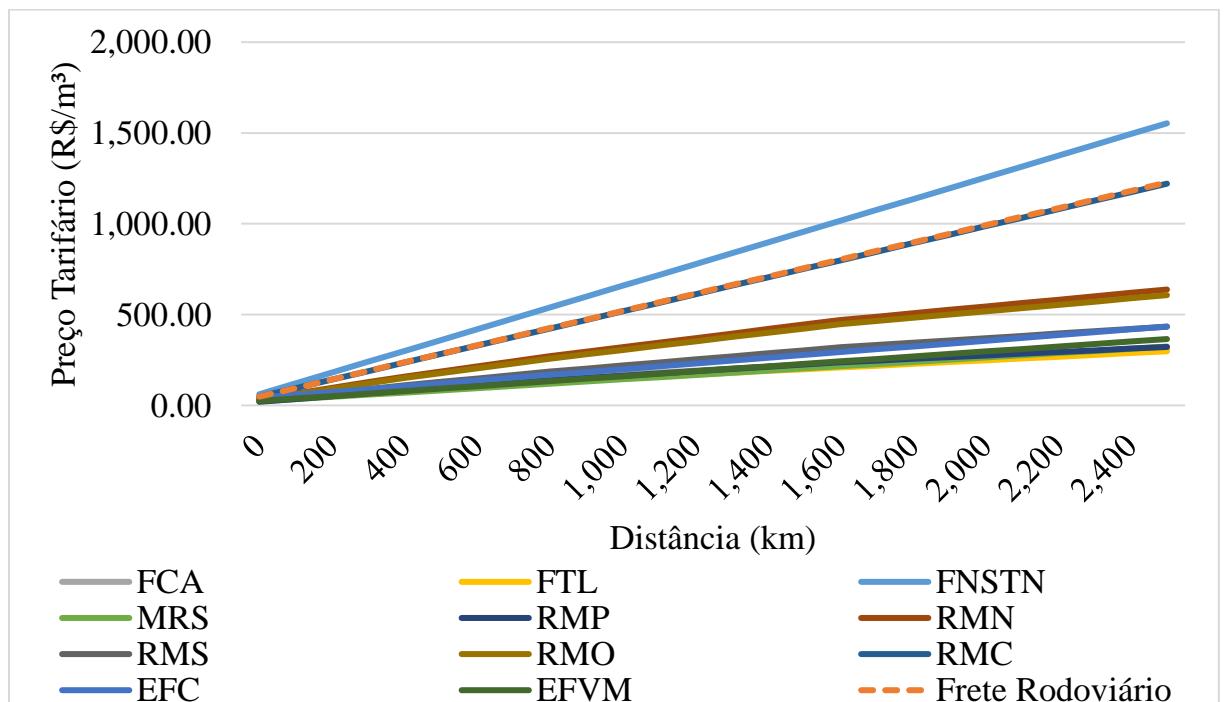
Quando comparadas as tarifas ferroviárias com as tarifas estimadas de frete rodoviário, tem-se que quanto maior a distância, mais atrativo fica o modal ferroviário. Isso ocorre pois algumas das ferrovias tem descontos para diferentes faixas de quilometragem, como visto na Tabela 10, para estas ferrovias quanto mais longo é o trajeto, mais barato fica o frete por quilômetro. Ainda assim, a Ferrovia Norte-Sul Tramo Norte teve precificação acima dos valores de referência para o modal rodoviário e será, independente do trajeto, menos viável economicamente. As curvas de frete podem ser encontradas na Figura 38.

Tabela 11 - Comparativo de Distâncias Rodoviárias e Ferroviárias.

Linha	Distância Ferroviária (km)	Distância Rodoviária (km)	Fator
Paranaguá - Uvaranas	243	203	120%
Mafra - Francisco do Sul	212	170	125%
Jaguariaíva - Uvaranas	147	120	122%
Mafra - Marcelino Ramos	649	479	135%
Mafra - Lages	293	251	117%
Ourinhos - Cianorte	430	338	127%
Passo Fundo - Marcelino Ramos	173	133	130%

Fonte: ANTT, 2022; Google Maps. Elaboração própria.

Figura 38 - Curvas de Frete das Ferrovias Seleccionadas



Fonte: VLI, 2023; CSN, 2023; Rumo, 2023; MRS, 2023; ANTT, 2023b; ANTT, 2023c. Elaboração própria.

A comparação dos modais é feita em custo de tarifa por metro cúbico, isso ocorre porque o modal ferroviário possui potencial para transportar uma quantidade muito maior de carga em uma mesma viagem, quando comparado ao modal rodoviário. As tarifas publicadas pelas concessionárias, da forma que estão dispostas, tornam as curvas de frete dependentes apenas da

distância e não dependentes da quantidade transportada. As tarifas avaliadas são as tarifas máximas que podem ser cobradas, podendo variar de acordo com quantidades contratadas e outros ajustes comerciais caso a caso (MRS, 2023). Portanto, o volume contratado pode ter impacto no preço final da tarifa ferroviária, porém esse impacto não será levado em consideração por se tratar de um acordo comercial privado sem informação pública.

Havendo desconto na tarifa ferroviária proporcional ao volume contratado, pode-se esperar que maiores polos produtores, ou empresas produtoras, de biodiesel tenham maior viabilidade econômica no transporte em ferrovias, pois conseguem consolidar mais volume.

É importante ressaltar que as tarifas consideradas para o modal rodoviário foram feitas a partir dos valores mínimos de frete enquanto o modal ferroviário está utilizando os valores máximos. A comparação destes dois modais foi feita a partir dos dados públicos disponíveis.

6.3 FLUXOS FERROVIÁRIOS SUBSTITUTOS

A partir dos dados de ferrovias explicitados no capítulo 5.1, foram mapeadas as possíveis rotas ferroviárias que os fornecedores de biodiesel poderiam utilizar para o transporte de biodiesel. Para isso, foram utilizados filtros a fim de selecionar os fluxos que fizessem sentido dentro do que foi avaliado como tecnicamente viável no estudo. Os filtros foram os seguintes:

- Os fluxos possuem passagem por ferrovias de apenas duas empresas. Esse filtro representa uma questão legal que foi abordada no estudo referente aos contratos de concessão das ferrovias e como estes não buscam o melhor aproveitamento da malha ferroviária por todos os agentes do setor. Este filtro foi incluído pela dificuldade em se obter o direito de passagem em ferrovias de terceiros, de forma que em ferrovias diferentes de uma mesma empresa, não se espera encontrar a mesma dificuldade e o fluxo é livre.
- Os fluxos possuem passagem apenas em ferrovias com bitolas adequadas. A bitola da ferrovia é um dos principais parâmetros técnicos de viabilidade de movimentação ferroviária. Fluxos com ambas as bitolas larga e métrica necessitam de operações de transbordo e por isso foram eliminados desta avaliação.
- Os fluxos entre estados foram mapeados dadas as descrições de cada ferrovia e quais estados elas conectam, descritas no capítulo 5.1, conforme a informação das agências públicas. Apenas os estados listados foram mapeados dentro do

escopo de cada ferrovia. Por exemplo, o fluxo do estado do Tocantins para o Amazonas através das Ferrovias Norte-Sul Tramo Norte (até o Maranhão) e Estrada de Ferro Carajás (até o Pará), acompanhado de um trecho rodoviário até Manaus, não foi considerado pois na descrição destas duas ferrovias não há a presença do Amazonas.

- Não foi considerado o transporte rodoviário até a estação ferroviária caso a ferrovia tivesse parte da sua rota na capital do estado, ponto focal do transporte, ou em um município vizinho.

Os fluxos encontrados através dos filtros acima foram então comparados com os fluxos rodoviários obtidos no item 4.2, sob a ótica das tarifas encontradas nos itens 4.4 e 6.1. Dessa forma, foi possível analisar como o transporte nacional de biodiesel seria impactado pelo uso do modal ferroviário, seguindo os parâmetros de viabilidade técnica e econômica encontrados nos capítulos anteriores.

Para o cálculo das distâncias ferroviárias percorridas foi utilizado o software de geolocalização QGIS. Através do software foi possível determinar a extensão da malha ferroviária e a extensão dos trechos navegados conforme disponibilizado pelo Ministério da Infraestrutura (2022). No caso do transporte multimodal, o complemento rodoviário foi calculado a partir das rotas encontradas no Google Maps.

Seguindo a mesma metodologia para alocar os volumes e determinar os fluxos nacionais que foi utilizada no capítulo 4.4, foram alocados os fluxos ferroviários e rodoviários em uma nova matriz de atendimento. Na última matriz de atendimento, foi avaliada apenas a distância entre os estados, nesta nova matriz foram comparados os custos tarifários das movimentações entre os estados, conforme tarifas apresentadas anteriormente.

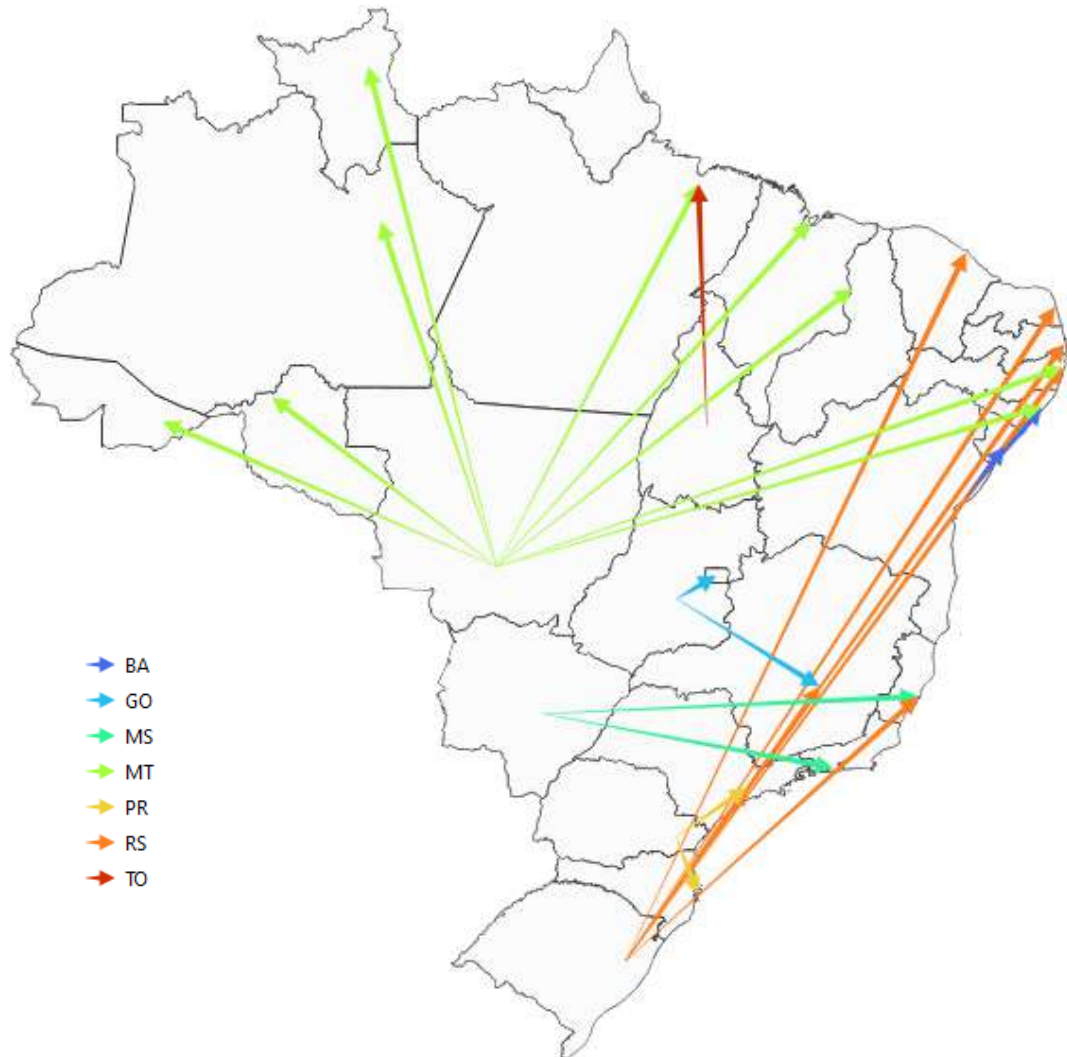
A matriz de atendimento dos estados compradores pelos estados supridores pode ser encontrada na Tabela 12. Se encontram em negrito, os valores que foram movimentados em ferrovias. Além disso, na Figura 39 estão apresentados todos os fluxos de atendimento obtidos de forma geográfica.

Tabela 12 - Matriz de Atendimento de Compradores e Supridores de Biodiesel com a Utilização do Modal Ferroviário, em metros cúbicos (2021)

Região	Supridores Compradores	TO	BA	MS	MT	GO	PR	RS
Norte	RO				114,19			
	AC				17,63			
	AM				104,47			
	RR				50,70			
	PA	9,96			311,44			
	AP							
Nordeste	MA				170,01			
	PI				19,98			
	CE							120,70
	RN							55,93
	PB							48,60
	PE				50,05			137,51
	AL		10,29		30,69			
SE		35,68						
Centro-Oeste	DF					42,51		
Sudeste	MG					585,77		135,33
	ES			59,83				80,96
	RJ			113,00				
	SP						336,84	890,65
Sul	SC						223,11	

Fonte: Elaboração própria.

Figura 39 - Mapa de Fluxos do Transporte de Biodiesel com a Incorporação do Modal Ferroviário



Fonte: Elaboração própria.

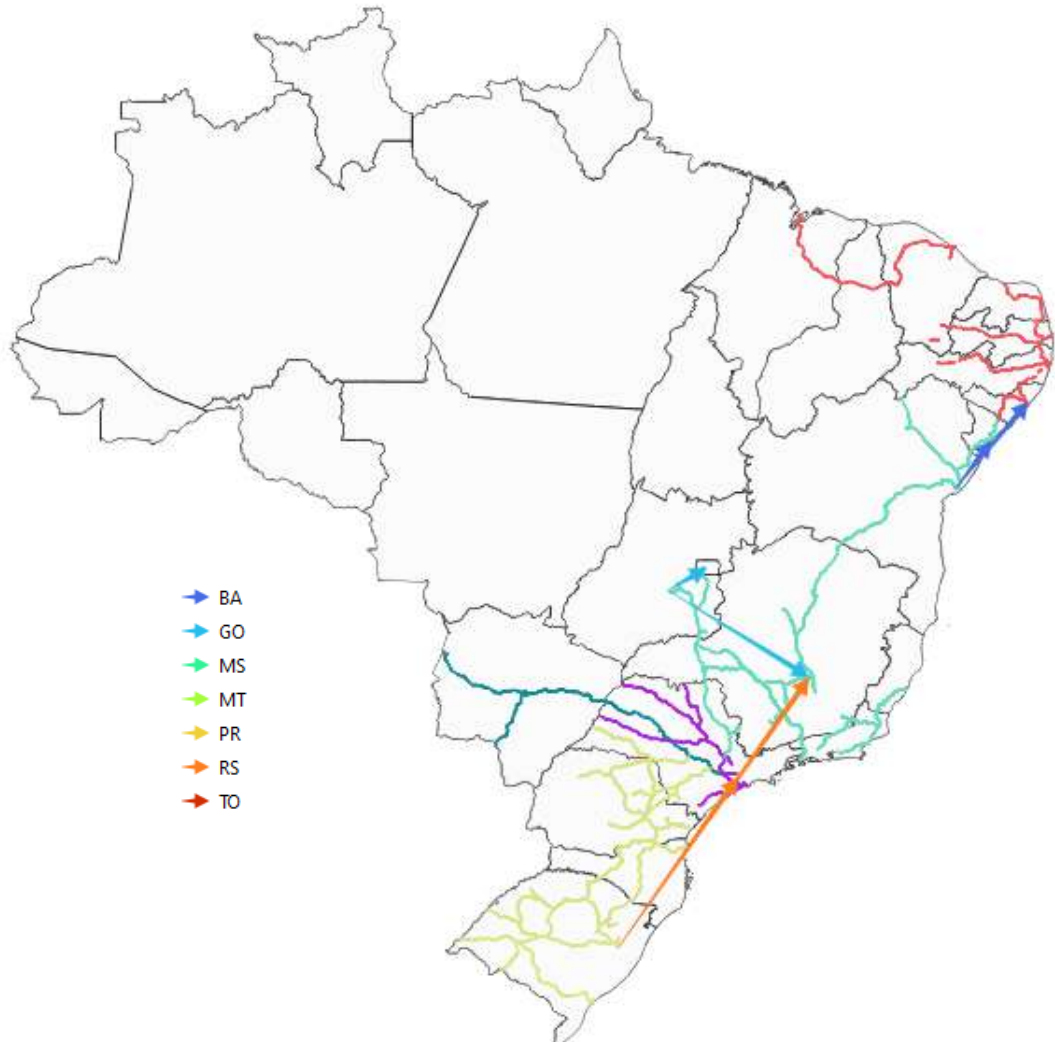
Comparando a Figura 26 e a Figura 39 é possível notar os diferentes fluxos que surgiram a partir da utilização do modal ferroviário. A maior mudança, que se torna perceptível ao analisar as duas imagens, é o atendimento majoritário da região Norte pelo estado do Mato Grosso. Na matriz de atendimento anterior, alguns destes estados eram atendidos pelo Rio Grande do Sul, um fluxo pouco intuitivo já que estas duas regiões se encontram distantes.

Essa mudança ocorre devido à competitividade da ferrovia Rumo Malha Sul ser maior do que a competitividade da Ferrovia Rumo Malha Norte. Essa competitividade permite que o estado do Rio Grande do Sul seja mais adequado para atender os estados de São Paulo e Minas Gerais. Dessa forma, o estado do Mato Grosso não esgota sua produção de biodiesel e pode atender os estados da região Norte.

Algumas outras mudanças são perceptíveis, como o alcance maior do estado do Mato Grosso do Sul chegando até Rio de Janeiro e Espírito Santo. Isso ocorre pois o Rio Grande do Sul é mais competitivo para atender São Paulo e então o estado do Mato Grosso do Sul tem que ir além para oferecer seu excedente.

Na Figura 40 estão apresentados os fluxos ferroviários de atendimento, sobre as ferrovias utilizadas no transporte, para facilitar o entendimento do leitor.

Figura 40 - Mapa de Fluxos Ferroviários do Transporte de Biodiesel com a Incorporação do Modal Ferroviário, sobre as Ferrovias Utilizadas no Transporte



Fonte: Elaboração própria.

Um resultado interessante desta etapa é que o atendimento de Santa Catarina pelos modal ferroviário não é competitivo para nenhum supridor. Isso ocorre pois a capital

Florianópolis tem difícil acesso para ferrovias e qualquer fluxo ferroviário precisaria de um complemento rodoviário que encarece a operação.

As distâncias dos fluxos ferroviários mapeados, com viabilidade técnica, que se mostraram mais viáveis economicamente podem ser encontradas na Tabela 13 e os custos tarifários originados destes fluxos podem ser encontrados na Tabela 14.

Tabela 13 - Matriz de Distâncias de Atendimento dos Fluxos Mapeados por Ferrovia

Bitola	Fluxo	FCA	FTL	FNSTN	RMP	RMN	RMS	RMO	RMC	EFC
Métrica	GO_DF	463								
Métrica	GO_MG	1.142								
Métrica	RS_SP				62		1.279	73		
Métrica	BA_SE	408								
Métrica	BA_AL	533	303							
Métrica	RS_MG	1.211			92		1.279	73		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 - Matriz de Tarifas de Atendimento dos Fluxos Mapeados por Ferrovia

Bitola	Fluxo	FCA	FTL	FNSTN	RMP	RMN	RMS	RMO	RMC	EFC
Métrica	GO_DF	104,58								
Métrica	GO_MG	185,76								
Métrica	RS_SP				29,58		266,06	53,97		
Métrica	BA_SE	96,90								
Métrica	BA_AL	113,79	66,02							
Métrica	RS_MG	192,99			34,25		266,06	53,97		

Fonte: Elaboração própria.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a logística de transporte de biodiesel no Brasil e avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização do modal ferroviário neste processo. Com este estudo foi possível determinar os principais fatores que regem a oferta e a demanda do biodiesel no Brasil e também determinar fluxos viáveis de transporte dentro do modal ferroviário.

Foi possível determinar a influência regulatória dentro do mercado de biocombustíveis através da adição obrigatória de biodiesel no diesel comercializado. O sistema de leilões tende a deixar o preço do produto uniforme nas regiões produtoras, que auxilia na avaliação logística que foi feita ao longo do trabalho. Como o sistema de leilões foi encerrado recentemente, há a necessidade de avaliar os impactos dessa mudança na distribuição e transporte de biodiesel.

A síntese e produção do biodiesel foram estudados a fim de estabelecer quais impactos estes teriam na produção, transporte e distribuição do produto final, assim como o ciclo do grão de soja, a principal matéria prima deste produto. O metanol e o óleo de soja têm grande importância na produção brasileira de biodiesel. A importação de metanol é um determinante na segurança da disponibilidade de biocombustível nacionalmente e a produção deste químico em solo nacional pode ser avaliada em trabalhos futuros.

A partir dos dados encontrados sobre os produtores e consumidores de biodiesel, foi possível estimar quais seriam os prováveis fluxos logísticos para este produto. Encontrou-se que, em maior parte, os fluxos partem dos estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul, os maiores produtores em escala nacional.

O modal ferroviário apresenta diversas vantagens e desvantagens, porém, de forma concreta, foi estimado pelo governo brasileiro como um dos agentes para atingir as metas da NDC brasileira. As principais complicações para o uso do modal de forma ampla, estão na falta de interoperabilidade, presentes principalmente nas obrigações legais das concessionárias, como viabilizar o direito de passagem, e nos parâmetros técnicos, como bitolas e sistemas de comunicações.

Apesar disso, o modal ferroviário se mostra viável economicamente sob determinadas condições, de forma que a maior parte dos fluxos são mais competitivos no modal ferroviário, comparado ao modal rodoviário. Assim, novos fluxos surgem mais eficientes com a entrada deste modal.

O trabalho foi capaz de determinar que o transporte de biodiesel pode ser mais eficiente do ponto de vista de emissões com a utilização de outro modal, maximizando os ganhos ambientais trazidos com a utilização deste biocombustível.

Alguns fluxos ferroviários, principalmente partindo da região sul para a região sudeste apresentaram potencial de utilização prático. Enquanto isso, a região Centro-Oeste apresentou o menor potencial ferroviário devido à baixa presença de ferrovias na região, fazendo com que as movimentações ferroviárias na região necessitem de transporte rodoviário adicional.

Com as análises realizadas ao longo do estudo, dentro das limitações e hipóteses apresentadas, foi possível determinar que o modal ferroviário tem um grande potencial dentro da malha nacional para o transporte de biodiesel.

Este trabalho conseguiu, dentro do que foi proposto, verificar a viabilização do modal ferroviário para o transporte de biodiesel com sucesso. Ainda assim há detalhamentos que podem ser realizados em trabalhos futuros, se aprofundando em simplificações que foram realizadas neste estudo.

As principais oportunidades que podem ser avaliadas em trabalhos futuros, do ponto de vista do autor, são:

- A viabilização dos fretes de transporte ferroviário utilizando como origens e destinos as unidades produtoras e as bases de distribuição, em lugar das capitais dos estados, como avaliado neste estudo;
- A viabilidade técnica da interoperabilidade de outros parâmetros ao curto prazo, que não podem ser alterados com facilidade;
- A viabilidade econômica de fluxos intermodais complexos, utilizando o modal ferroviário como um intermediário;
- Validação da estrutura de custos utilizada, comparando estes custos com as premissas utilizadas neste estudo;
- Investigação dos desafios que impedem a realização dos fluxos atualmente.
 - Análise de ciclo de vida do biodiesel de forma mais ampla, avaliando sua contribuição com ganhos ambientais.

Assim, este estudo se mostra como uma análise inicial da movimentação de biodiesel no modal ferroviário que deve ser complementado e aprofundado para refletir os reais ganhos potenciais desta operação. Ainda assim, este estudo tem um impacto relevante por demonstrar potencial em dois aspectos importantes para o atingimento das metas da NDC brasileira.

8 REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Painel do Estatístico Aquaviário**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/paineis>. Acesso em 08/01/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Declaração de Rede 2022**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2022. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/declaracao-de-rede-2022>. Acesso em 18/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Anuário do Setor Ferroviário**. Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario>. Acesso em 07/01/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Tarifas – Vale – Estrada de Ferro Vitória a Minas**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2023b. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/3447574. Acesso em: 14/06/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Tarifas – Vale – Estrada de Ferro Carajás**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2023c. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/913253. Acesso em: 14/06/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Política Nacional de Pisos Mínimos de Frete**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2023d. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/politica-nacional-de-pisos-minimos-de-frete>. Acesso em: 17/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Concessões Ferroviárias**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2023e. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>. Acesso em 24/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Concessões Ferroviárias - Lista de Concessões**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2023f. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>. Acesso em 24/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Nota Técnica Conjunta nº 10/2021/ANP, que propõe novo modelo de comercialização de biodiesel para atendimento da mistura obrigatória ao Diesel B, de forma a atender o disposto na Resolução CNPE nº 14/2020**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/notas-e-estudos-tecnicos/notas-tecnicas#:~:text=Nota%20T%C3%A9cnica%20Conjunta%20n%C2%BA%2010,Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CNPE%20n%C2%BA%2014%2F2020>. Acesso em: 11/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Leilões de Biodiesel**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/distribuicao-e-revenda/leiloes-biodiesel>. Acesso em: 11/04/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis(ANP), 2022a. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de>

[combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel](#). Acesso em 26/12/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2022b. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2022>. Acesso em 28/12/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Central de Sistemas SIMP**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2023. Disponível em: <https://cpl.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/simp/consulta-oleodutos/consulta.xhtml?dswid=-1499>. Acesso em: 17/04/2023.

ASSIS, A. C. V., Silva, C. A. D., Marchetti, D. D. S., Dalto, E. J., Rios, E. C. S. D., & Ferreira, M. D. A. (2017). **Ferrovias de carga brasileiras: uma análise setorial**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14136>. Acesso em 24/04/2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Brasil – Complexo Soja: Balanço de Oferta/Demanda**. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), 2022a. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em 26/12/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Capacidade Instalada da Indústria Brasileira de Óleos Vegetais**. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), 2022b. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em 26/12/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Produção de Biodiesel**. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), 2022c. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em 26/12/2022.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOCMBUSTÍVEIS DO BRASIL (APROBIO). **PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL – PNPB**. Associação dos produtores de biocombustíveis do Brasil (APROBIO), 2023. Disponível em: <https://aprobio.com.br/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>. Acesso em 11/04/2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO (ANTF). **Informações Gerais**. Associação Nacional do Transporte Ferroviário (ANTF), 2023. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/#:~:text=Em%202021%2C%20o%20setor%20ferrovi%C3%A1rio,TU%2C%20per%2C%20ADodo%20pr%C3%A9%20pandemia>. Acesso em: 30/01/2023.

BARRETO, R. C. P., & Ribeiro, A. J. M. (2020). **Logística no Brasil: uma análise do panorama dos modais rodoviários e ferroviários no cenário nacional demonstrando as vantagens e desvantagens das referidas modalidades**. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, 5(3), 145-176. Disponível em: <http://relise.eco.br/index.php/relise/article/view/355/347>. Acesso em 24/04/2023.

BARROS, Talita Delgrossi.; JARDINE, José Gilberto. Tecnologia. **Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia>. Acesso em 26/12/2022.

BASTOS, L.O. **O frete de retorno nas ferrovias regionais de cargas brasileiras caso Ferrovia Transertaneja**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50954>. Acesso em 18/04/2023.

BERNARDO, J.S.; JUNIOR, W.P.O.; FAGUNDES, F.P. **Otimização das Variáveis reacionais no processo de obtenção do biodiesel de soja**. v. 2 n. 1 (2015): TECNOLOGIA & INFORMAÇÃO. Disponível em: <https://repositorio.unp.br/index.php/tecinfo/article/view/1019>. Acesso em: 04/04/2023.

BIODIESEL BR. **Entenda como funcionam os leilões de biodiesel**. Biodiesel BR, 2008. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/revista/007/leiloes-biodiesel-05>. Acesso em: 11/04/2023.

BOITEUX, P. (2014). *História das ferrovias brasileiras*. Letra Capital Editora LTDA. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=KbZeAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=ferrovias+brasileiras&ots=doG5HwvQsw&sig=RbKEVFYwRrbUAYHT_la34INzmNI#v=onepage&q=ferrovias%20brasileiras&f=false. Acesso em 24/04/2023.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **O Biodiesel e a Inclusão Social**. Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica, 2003. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/internet/diretoria/caeat/conteudo/07020.pdf>. Acesso em 26/12/2022.

CAMPOS NETO, Carlos Alvares da Silva, et al. **Gargalos e demandas da infraestrutura ferroviária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras ferroviárias. Texto para Discussão**, 2010. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2670/1/TD_1465.pdf. Acesso em: 01/05/2023.

CASA CIVIL. **Acordo de Paris - Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)**. Casa Civil, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/comite-interministerial-sobre-mudanca-do-clima/arquivos-cimv/item-de-pauta-3-paris-agreement-brazil-ndc-final-1.pdf/view>. Acesso em: 30/04/2023.

CASTRO, N. R. D. **Estrutura, desempenho e perspectivas do transporte ferroviário de carga**. Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE) v.32 , n.2, ago 2002. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4506>. Acesso em 31/01/2023.

CAVALETT, Otávio; ORTEGA, Enrique. **Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil**. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18.1: 55-70. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609002790>. Acesso em: 11/04/2023.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA). **The World Factbook**. Central Intelligence Agency (CIA), 2023. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/railways/country-comparison>. Acesso em 31/01/2023.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **Indicador da Soja CEPEA/ESALQ – Paraná**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>. Acesso em 08/01/2023.

CNN. **It's been more than a month since a freight train carrying hazardous chemicals derailed in Ohio. Here's what's happened since**. CNN, 2023. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2023/02/23/us/east-palestine-ohio-train-derailment-timeline/index.html>. Acesso em 29/03/2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção e balanço de oferta e demanda de grãos (08/12/2022)**. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 26/12/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte Aquaviário – Cabotagem – Integra**. Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2013. Disponível em <https://cnt.org.br/transporte-aquaviario-cabotagem-2013>. Acesso em 14/02/2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do Transporte 2022**. Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2022a. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Inicial>. Acesso em 24/04/2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2022**. Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2022b. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 24/04/2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **OS PONTOS CRÍTICOS NAS RODOVIAS BRASILEIRAS**. Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2022c. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 24/04/2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Painel do Transporte Rodoviário**. Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2023. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-rodoviario>. Acesso em 29/03/2023.

CSN. **FTL**. CSN, 2023. Disponível em <https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/ftl/>. Acesso em 14/02/2023.

DE MATOS, L. B. R. (2001). **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/lbrmattos.pdf>. Acesso em: 30/04/2023.

DOS SANTOS, Debora Brito et al. **A INFRAESTRUTURA NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO NO BRASIL**. South American Development Society Journal, [S.l.], v. 4, n. 10, p. 38 - 51, mar. 2018. ISSN 2446-5763. Disponível em: <<http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/134>>. Acesso em: 31/01/2023.

EMBRAPA. **SOJA EM NÚMEROS (SAFRA 2021/22)**. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em 26/12/2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Informe Técnico. Competitividade do Gás Natural: Estudo de Caso na Indústria de Metanol**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/informe-tecnico-competitividade-do-gas-natural-estudo-de-caso-na-industria-de-metanol>. Acesso em 26/12/2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2022 – Ano base 2021**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 30/04/2023.

FONSECA, M. N., & Lourenço, J. T. V. (2010). **Modal Rodoviário sob uma abordagem logística no Brasil**. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/K214689.pdf. Acesso em 24/04/2023.

GIMENES, S.C.A.. **Custo Brasil: ferrovias, rodovias e redirecionamento das exportações**. 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19425/1/2017_SathyadeCamargoAndradeGimenes.pdf. Acesso em: 18/04/2023.

GUERRA NETO, P. P. (2019). **Evolução dos contratos das concessões de ferrovias**. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/evolucao-dos-contratos-das-concessoes-de-ferrovias.htm>. Acesso em 24/04/2023.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J.; AVILA, M. T. de. **Avaliação da relação entre soja e produção de biodiesel**. Embrapa, 2010. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/881594/avaliacao-da-relacao-entre-soja-e-producao-de-biodiesel#:~:text=Verificou%2Dse%20que%20a%20dispers%C3%A3o,log%C3%ADsticos%20existentes%20no%20agroneg%C3%B3cio%20nacional>. Acesso em 26/12/2022.

INFRA S.A.. **Infraestrutura Ferroviária**. INFRA S.A., 2020. Disponível em: <https://geo.epl.gov.br/portal/apps/sites/#/geo-ontl/pages/painel-infraestrutura-ferroviaria>. Acesso em 16/02/2023.

JOÃO, A. M., Vettorazzi, A. C., Rocha, F. V. D., Bartholomeu, D. B., & Caixeta-Filho, J. V. (2016). **Emissão de CO2 na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo arco norte**. Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/39.pdf>. Acesso em 31/01/2023.

JSL. **Apresentações de Resultados 2021**. JSL, 2023. Disponível em: <https://ri.jsl.com.br/central-de-resultados/>. Acesso em 16/02/2023.

LEITE, C.; Bittencourt, J.; Pereira, L.; Marinho, C. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE OS MEIOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO**. XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Leite-2/publication/314197441_ANALISE_COMPARATIVA_DE_CUSTOS_ENTRE_OS_MEIOS_DE_TRANSPORTE_RODOVIARIO_E_FERROVIARIO/links/58b97812aca27261e51d15f2/ANALISE-COMPARATIVA-DE-CUSTOS-ENTRE-OS-MEIOS-DE-TRANSPORTE-RODOVIARIO-E-FERROVIARIO.pdf. Acesso em: 18/04/2023.

LUSK, J.L. **Food and Fuel: Modeling Food System Wide Impacts of Increase in Demand for Soybean Oil**. 2022. Acesso em: https://ag.purdue.edu/cfdas/wp-content/uploads/2022/12/report_soymodel_revised13.pdf. Acesso em 04/04/2023.

MEHER, L. C; SAGAR, D. Vidya; NAIK, S. N. **Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review**. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2006, 10.3: 248-268. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032104001236>. Acesso em 26/12/2022.

MERCEDES BENZ. **Axor 2544 6x2 Multiuso**. Mercedes Benz, 2023. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Axor-2544-6x2-Multiuso-v3-19.pdf>. Acesso em 17/04/2023.

MINISTÉRIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO. **TRAJETÓRIAS DE MITIGAÇÃO E INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ALCANÇADAS METAS BRASILEIRAS NO ACORDO DE PARIS**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc>. Acesso em 30/04/2023.

MINISTÉRIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO. **Acordo de Paris**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>. Acesso em 30/04/2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Histórico da Antiga RFFSA**. Ministério da Infraestrutura, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/aceso-a-informacao/orgaos-extintos-desestatizados/rffsa/historico-da-antiga-rffsa#:~:text=A%20REDE%20FERROVI%C3%81RIA%20FEDERAL%20SOCIEDADE,funcionalmente%20ao%20Minist%C3%A9rio%20dos%20Transportes..> Acesso em 24/04/2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Corredores Logísticos Estratégicos. Volume VI – Petróleo e Combustíveis (Versão 1.0)**. Ministério da Infraestrutura, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/cle>. Acesso em 04/01/2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **PNL 2035**. Ministério da Infraestrutura, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/copy_of_planejamento-de-transportes/pnl-2035. Acesso em 30/01/2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Mapas e Bases Georreferenciadas**. Ministério da Infraestrutura, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em: 04/08/2022.

MOAZENI, Faegheh; CHEN, Yen-Chih; ZHANG, Gaosen. **Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil, a review**. Journal of cleaner production, 2019, 216: 117-128. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619302008>. Acesso em 06/11/2023.

/MOREIRA, M. A. L., de Freitas Junior, M., & Toloi, R. C. (2018). **O transporte /rodoviário no Brasil e suas deficiências**. Refas-Revista Fatec Zona Sul, 4(4), 1-13. Disponível em: <https://revistarefas.com.br/RevFATECZS/article/view/191>. Acesso em: 24/04/2023.

MRS. **Tarifas de Referência ANTT**. MRS, 2023. Disponível em <https://www.mrs.com.br/clientes/tarifas-referencia/>. Acesso em 14/02/2023.

MYINT, Lay L.; EL-HALWAGI, Mahmoud M. Process analysis and optimization of biodiesel production from soybean oil. Clean Technologies and Environmental Policy, 2009, 11: 263-276. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-008-0156-5>. Acesso em: 11/04/2023.

NAÇÕES UNIDAS (UN). **From Stockholm to Kyoto: A Brief History of Climate Change**. Nações Unidas (UN), 2007. Disponível em: <https://www.un.org/en/chronicle/article/stockholm-kyoto-brief-history-climate-change>. Acesso em 30/04/2023.

NAÇÕES UNIDAS (UN). **History of the Convention**. Nações Unidas (UN), 2023a. Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention#Climate-Change-in-context>. Acesso em: 30/04/2023.

NAÇÕES UNIDAS (UN). **The Paris Agreement**. Nações Unidas (UN), 2023b. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>. Acesso em: 30/04/2023.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA (ONTL). **Painel Movimentação Ferroviária**. Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), 2023a. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/paineis-analiticos/paineis-do-setor-ferroviario/movimentacao-ferroviaria/>. Acesso em 31/01/2023.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA (ONTL). **Boletim de Logística A Retomada dos Investimentos Ferroviários para Aumentar a Eficiência da Matriz de Transportes**. Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), 2023b. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/06/Setor-Ferroviario-Brasileiro.pdf>. Acesso em: 30/01/2023

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). **OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029**. OECD Publishing, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/3aeb7be3-en>. Acesso em 26/12/2022.

PELLISSARI, F. C. S. (2022). **Bitolas ferroviárias no Brasil: uma análise da possibilidade de integração da malha nacional**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30080>. Acesso em: 24/04/2023.

PEREIRA, P. H. D., Vieira, O. P. S. M., Machado, L., & de Araújo, O. P. L. A (2018). **AS CARACTERÍSTICAS DO MODAL RODOVIÁRIO NO BRASIL**. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD4_S A18_ID1700_27082018161252.pdf. Acesso em 24/04/2023.

PETROBRAS. **Óleos Diesel Petrobras**. Petrobras, 2022. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/oleo-diesel/>. Acesso em 29/12/2022.

PLANALTO. **Em nova meta, Brasil irá reduzir emissões de carbono em 50% até 2030.** Planalto, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2021/10/em-nova-meta-brasil-ira-reduzir-emissoes-de-carbono-em-50-ate-2030>. Acesso em: 30/04/2023.

PULLEN, James; SAEED, Khizer. **Investigation of the factors affecting the progress of base-catalyzed transesterification of rapeseed oil to biodiesel FAME.** *Fuel Processing Technology*, 2015, 130: 127-135. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382014003841>. Acesso em: 26/12/2022.

RAMOS, Luiz P., et al. **Tecnologias de produção de biodiesel.** Revista virtual de química, 2011, 3.5: 385-405. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/190>. Acesso em: 11/04/2023.

RAMOS, Marta, et al. **Biodiesel production processes and sustainable raw materials.** *Energies*, 2019, 12.23: 4408. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4408>. Acesso em 26/12/2022.

RUMO. **Tabela de Tarifas e Operações Acessórias.** Rumo, 2023. Disponível em <https://rumolog.com/documentos/tabela-de-tarifas-e-operacoes-acessorias/>. Acesso em 14/02/2023.

RUMO. **Nova operação de trem com 120 vagões da Rumo marca o início da safra plena de soja em Mato Grosso.** Rumo, 2022. Disponível em: <https://rumolog.com/sala-de-imprensa/nova-operacao-de-trem-com-120-vagoes-da-rumo-marca-o-inicio-da-safra-plena-de-soja-em-mato-grosso/>. Acesso em: 06/05/2023.

SELVARAJ, R.; PRAVEENKUMAR, R.; MOORTHY, I. Ganesh. **A comprehensive review of biodiesel production methods from various feedstocks.** *Biofuels*, 2019, 10.3: 325-333. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17597269.2016.1204584>. Acesso em: 11/04/2023.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS E NORMAS. **Dossiê Técnico: Biodiesel.** Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), 2006. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MzA0>. Acesso em 26/12/2022.

SUAREZ, Paulo AZ; MENEGHETTI, Simoni M. Plentz. **70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil.** *Química Nova*, 2007, 30: 2068-2071. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1987. Acesso em 11/04/2023.

THE NEW YORK TIMES. **After the Ohio Train Derailment: Evacuations, Toxic Chemicals and Water Worries.** The New York Times, 2023. Disponível em: <https://www.nytimes.com/article/ohio-train-derailment.html>. Acesso em 29/03/2023.

TRANSPETRO. **Terminais Terrestres.** Transpetro, 2022. Disponível em: <https://transpetro.com.br/transpetro-institucional/nossas-atividades/dutos-e-terminais/terminais-terrestres.htm>. Acesso em 29/12/2022.

UNIÃO EUROPÉIA. **Directive (EU) 2016/797.** União Européia, 2016. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards/rail-system-interoperability_en. Acesso em: 01/05/2023.

VLI. **Regulação e documentos.** VLI, 2023. Disponível em <https://www.vli-logistica.com.br/quem-somos/regulacao-e-documentos/>. Acesso em: 14/02/2023

VYAS, Amish P.; VERMA, Jaswant L.; SUBRAHMANYAM, N. **A review on FAME production processes.** *Fuel*, 2010, 89.1: 1-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236109003755>. Acesso em: 11/04/2023.

