



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Uso de Bioetanol em Substituição à Gasolina em uma Frota Empresarial: Viabilidade Econômica e Impacto Ambiental

Autor: René Gabriel Pereira Barbosa

Orientadora: Caroline Borges Agustini

Porto Alegre, setembro de 2023

Autor: Renê Gabriel Pereira Barbosa

Uso de Bioetanol em Substituição à Gasolina em uma Frota Empresarial: Viabilidade Econômica e Impacto Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Caroline Borges Agustini

Banca Examinadora:

Doutora, Débora Jung Luvizetto Faccin, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Doutora, Luciane Ferreira Trierweiler, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha gratidão à minha mãe e meu pai, cujo apoio incondicional, amor e incentivo em todas as minhas conquistas.

À minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo suporte emocional e encorajamento.

À minha orientadora, Caroline, sua orientação, conhecimento e todo apoio ao longo desta jornada.

À empresa onde atualmente trabalho, sou imensamente grato por disponibilizar os dados essenciais para a pesquisa.

Às minhas orientadoras Marilene Hannigen Vaisten e Anna Christina de Almeida e aos meus queridos colegas do Centro de Biotecnologia da UFRGS e do laboratório de Microbiologia Aplicada da UFMG, agradeço pelos ensinamentos e acolhimento no início da minha jornada na pesquisa científica.

Aos meus colegas das Organizações Não Governamentais, Enactus e Revolusolar, que despertaram em mim o interesse em causas ambientais.

RESUMO

Este estudo aprofunda a análise da produção e consumo de etanol no Brasil, examinando tanto sua viabilidade econômica quanto seu impacto ambiental. A produção de etanol no país é liderada pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste, especialmente São Paulo, impulsionada pela safra de cana-de-açúcar, responsável por 93,2% da produção em 2022. A pesquisa investiga o consumo de uma empresa metalmeccânica em 2022, em diversas cidades, focando na redução das emissões de gases de efeito estufa e nos custos associados à adoção do etanol. As simulações indicam que a substituição da gasolina pelo etanol na região Centro-Oeste poderia ocorrer sem custos adicionais, devido a preços favoráveis. Já na região Sudeste, a adoção total do etanol resultaria em custos extras a partir de 70% do volume de etanol em substituição da gasolina. A sazonalidade na produção de etanol também foi considerada, mostrando que a adoção estratégica em períodos de maior produção traz vantagens econômicas. O estudo considera custos por quilômetro rodado, emissões de gases de efeito estufa e a sazonalidade ao longo do ano. Reconhece-se que a transição total para o etanol enfrenta limitações, como disponibilidade regional irregular e necessidade de abastecimentos mais frequentes devido à menor eficiência comparada à gasolina. Sugerindo um equilíbrio entre uso de etanol e futura eletrificação da frota, o estudo ressalta a importância de decisões estratégicas na transição para fontes de energia mais sustentáveis no transporte.

Palavras-chave: etanol, gasolina, emissões, viabilidade econômica

ABSTRACT

This study deepens the analysis of ethanol production and consumption in Brazil, examining both its economic viability and its environmental impact. Ethanol production in the country is led by the Midwest and Southeast regions, especially São Paulo, driven by the sugarcane harvest, responsible for 93.2% of production in 2022. The survey investigates the consumption of a metalworking company in 2022, in several cities, focusing on reducing greenhouse gas emissions and the costs associated with the adoption of ethanol. The simulations indicate that the substitution of gasoline for ethanol in the Center-West region could occur without additional costs, due to favorable prices. In the Southeast region, the total adoption of ethanol would result in extra costs from 70% of the volume of ethanol replacing gasoline. Seasonality in ethanol production was also considered, showing that the strategic adoption in periods of higher production brings economic advantages. The study considers costs per kilometer traveled, greenhouse gas emissions and seasonality throughout the year. It is recognized that the full transition to ethanol faces limitations, such as irregular regional availability and the need for more frequent supplies due to lower efficiency compared to gasoline. Suggesting a balance between the use of ethanol and the future electrification of the fleet, the study highlights the importance of strategic decisions in the transition to more sustainable energy sources in transport.

Keywords: *ethanol, gasoline, emissions, economic viability*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do histórico das flutuações de valor dos créditos de carbono na EU ETS (em dólares americanos por tonelada de dióxido de carbono equivalente).....	9
Figura 2: Fluxograma de etapas da metodologia adotada.....	10
Figura 3: Volume de produção de etanol no Brasil por estado em 2022	18
Figura 4: Custo mensal para evitar emissões de gases de efeito estufa por macrorregião do Brasil <i>versus</i> volume de produção mensal de etanol no Brasil em 2022.....	19
Figura 5: Produção de bioetanol por número de automóveis na frota estadual em 2022	21
Figura 6: Análise do custo para evitar emissão na frota da empresa pela segunda metodologia.....	23
Figura 7: Análise comparativa das metodologias de análise do custo para evitar emissão na frota da empresa	22
Figura 8: Análise do custo para evitar emissão na frota da empresa pela terceira metodologia	24
Figura 9: Análise mensal do custo para evitar emissão na frota da empresa no Centro-Oeste	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Licenciamento de automóveis novos por combustível – 1957/2022.....	6
Tabela 2: Fatores de emissão de gases de efeito estufa por combustível.....	12
Tabela 3: Fatores de conversão para tonelada de CO ₂ equivalente	13
Tabela 4: Critérios adotados nas diferentes metodologias.....	15

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Setor metalmeccânico	2
2.2	Etanol e Gasolina como combustível automotivo	2
2.2.1	Etanol	2
2.2.2	Gasolina	4
2.2.3	Veículos Flex Fuel	5
2.2.4	Veículos movidos à eletricidade e movidos à hidrogênio	6
2.3	Emissões de Gases de Efeito Estufa	7
3	Materiais e Métodos	10
3.1	Produção de etanol no Brasil	11
3.2	Emissões de Gases de Efeito Estufa	11
3.3	Análise de impacto da produção mensal de etanol no custo de abastecimento e emissões	13
3.3.1	Levantamento da produção mensal de etanol no Brasil	13
3.3.2	Análise comparativa de custos e emissões entre etanol e gasolina pelos veículos da empresa nas diferentes regiões brasileiras	14
3.4	Comparação entre Metodologias de Análise	14
3.4.1	Metodologia da análise anual por cidade com base no preço por litro do etanol	16
3.4.2	Metodologia da análise anual por cidade com base na diferença entre o preço por quilômetro rodado do etanol e da gasolina	16
3.4.3	Metodologia da Análise Mensal por Cidade com Base na Diferença entre o Preço por Quilômetro Rodado do Etanol e da Gasolina	17
4	Resultados	18
4.1	Produção de etanol no Brasil	18
4.2	Análise de Impacto da Produção Mensal de Etanol no Custo de Abastecimento e Emissões	19
4.3	Comparação entre Metodologias de Análise	21
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	27
	REFERÊNCIAS	29

1 Introdução

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a busca por alternativas mais sustentáveis aos combustíveis fósseis têm impulsionado a investigação e adoção de biocombustíveis, como o etanol, como opções viáveis para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos ambientais. No contexto do Brasil, um dos principais produtores e consumidores mundiais de etanol, a análise aprofundada dos resultados e discussões referentes à produção, custos, emissões e viabilidade do uso de etanol como substituto da gasolina ganha relevância (Queiroz et al., 2022).

A justificativa para a abordagem deste tema reside na sua relevância tanto a nível nacional quanto global. Em um momento em que as preocupações ambientais e a transição para energias mais limpas se tornaram fundamentais, compreender a produção, distribuição e impacto do etanol na matriz energética brasileira é crucial para a formulação de políticas públicas, tomadas de decisão empresariais e a busca por práticas mais sustentáveis na mobilidade. Além disso, a escolha do etanol como objeto de estudo se sustenta na sua importante posição como um dos biocombustíveis mais utilizados no país, o que o torna um ponto focal para a exploração de estratégias eficazes para redução de emissões e melhoria da eficiência energética no setor metalmeccânico (Vidal, 2020).

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar uma análise abrangente sobre a produção, distribuição e impacto ambiental do etanol como biocombustível no contexto brasileiro, com foco na redução das emissões de gases de efeito estufa e na viabilidade econômica de sua utilização em substituição à gasolina. Através da coleta e análise de dados relevantes, este estudo visa a compreender as relações entre fatores geográficos, climáticos e econômicos que influenciam a produção de etanol no Brasil, bem como avaliar a eficácia das estratégias de abastecimento de etanol em termos de custos e impacto ambiental. Adicionalmente, busca-se identificar potenciais desafios e oportunidades associados à transição para um maior uso de etanol em automóveis.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Setor metalmeccânico

O setor metalmeccânico, parte da indústria de transformação, abrange diversos segmentos econômicos interconectados, tendo os metais e seus derivados como matéria-prima comum. Inclui desde fundições, soldagem e oficinas de corte até a produção, manutenção e reparação de produtos finais como equipamentos, veículos e máquinas. A indústria nacional é heterogênea, com predominância de micro e pequenas empresas e presença notável de multinacionais, especialmente na fabricação de automóveis. O setor engloba seis grandes segmentos, cada um com subdivisões específicas (Melo, 2011).

2.2 Etanol e Gasolina como combustível automotivo

2.2.1 Etanol

O etanol é uma substância química de fórmula molecular C_2H_6O , majoritariamente obtida por meio da fermentação de açúcares. O etanol disponível nos postos de combustível é hidratado. Esse biocombustível é usado em motores de combustão interna com ignição por centelha, seguindo o ciclo Otto, como uma alternativa à gasolina e outros combustíveis fósseis (Frutuoso, 2019; Paulo, 2019).

Nos primeiros anos do século XX, o Brasil realizou as primeiras iniciativas para incorporar o etanol à sua matriz energética. Sendo o pioneiro global na adoção de biocombustíveis, o país introduziu o etanol como combustível em 1925, e, em 1933, o governo de Getúlio Vargas estabeleceu o Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA, através da lei 737, tornando obrigatória a adição de etanol à gasolina (Paulo, 2019; Silva, 2015; Souza, 2021).

No cenário global, o Brasil se destaca por comercializar o etanol puro, conhecido como E100, sendo amplamente adotado em sua frota automotiva. Desde a década de 1970, o país lidera a adoção em larga escala do etanol, inicialmente como resposta à crise do petróleo. Atualmente, muitos países empregam o etanol em misturas com a gasolina, como estratégia para reduzir emissões e a dependência do petróleo (Frutuoso, 2019; Gorren, 2009; Paulo, 2019).

Apesar de ocupar o segundo lugar como maior produtor global de etanol, o Brasil se distancia consideravelmente da liderança ostentada pelos Estados Unidos, que não apenas dominam a produção, mas também se destacam como os maiores consumidores e exportadores mundiais desse biocombustível. Vale ressaltar que os Estados Unidos têm alcançado esse feito através da produção de etanol a partir do milho, uma matéria-prima menos eficiente em comparação à cana-de-açúcar. Enquanto a produtividade média de etanol por hectare a partir da cana-de-açúcar é de cerca de 7.500 litros, a partir do milho, esse número é aproximadamente 3.000 litros. Essa escolha pelo milho tem gerado desafios, incluindo a majoração dos preços dessa *commoditie*, já que o milho é uma fonte importante de alimentação para as populações mexicana e norte-americana, além de apresentar um alto custo de produção. Por outro lado, a Tailândia, que anteriormente utilizava a mandioca, tem adotado a cana-de-açúcar em substituição, considerando a importância desta última na alimentação da população local. No Brasil, a cana-de-açúcar é a fonte primordial para a

produção de etanol, representando notáveis 93,2% de toda a matéria-prima empregada em 2022 (ANP, 2023; Queiroz et al., 2022; Vidal, 2020).

Em 2022, a produção de etanol alcançou a marca de 30,7 milhões de metros cúbicos, apresentando crescimento moderado em relação ao ano anterior, quando foram produzidos 30,1 milhões de metros cúbicos. Esse aumento ganhou relevância diante do crescente interesse global em fontes de energia sustentável. A produção do biocombustível nesse mesmo ano envolveu o processamento de 313 milhões de toneladas de matéria-prima, possibilitado pela presença de 354 instalações produtoras em todo o território brasileiro (ANP, 2023).

A produção de etanol no Brasil está concentrada no Sudeste e Centro-Oeste. A região Sudeste se destacou como a principal produtora, sendo responsável por 49,1% de todo o etanol produzido no país, seguida pela região Centro-Oeste, que contribuiu com 40,8%. Em menor escala, a região Nordeste teve uma participação de 5,7% na produção total, enquanto as regiões Sul e Norte representaram, respectivamente, 3,5% e 0,88% (ANP, 2023; Vidal, 2020).

Ao calcular as emissões líquidas que têm impacto no efeito estufa, é importante não incluir as emissões provenientes da queima de etanol, seja puro ou em mistura com gasolina. Essa contribuição será compensada pelo cultivo de cana-de-açúcar. A reação de absorção de dióxido de carbono (CO₂) durante o processo de fotossíntese nas plantações de cana-de-açúcar pode ser representada pela seguinte equação química simplificada (Lemos et al., 2011; Vianna et al., 2009):



A expansão da plantação de cana-de-açúcar para produção de etanol pode resultar em implicações críticas que demandam avaliação minuciosa para um monitoramento mais eficaz da sustentabilidade desse biocombustível. É crucial evitar a pressão sobre áreas de preservação, pois o desmatamento prejudicial à biodiversidade e contribuinte para o agravamento do aquecimento global é um dos principais riscos. No entanto, um desafio central do cultivo de cana-de-açúcar é a degradação do solo causada por erosão e compactação, que comprometem sua integridade física e a função dos ecossistemas. A avaliação abrangente das transformações no uso da terra, incluindo o manejo adequado para evitar riscos à segurança alimentar e às emissões de gases de efeito estufa, é essencial para a produção sustentável de etanol (Canisares, 2022; Martinelli, 2014; Martins, 2023; Tomazini, 2023).

Além disso, é fundamental considerar o equilíbrio entre a realização de atividades humanas e a preservação do meio ambiente, adotando uma abordagem racional no uso dos recursos naturais, de modo a permitir um desenvolvimento que atenda às necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras. Nos dias atuais, observa-se um aumento significativo no uso de biomassa, em particular aquela derivada de resíduos agrícolas, para a produção de combustíveis e outros produtos químicos, tornando-se um elemento-chave no contexto do desenvolvimento sustentável, uma vez que tais resíduos são recursos renováveis em contraste com as matérias-primas de origem fóssil. Na produção de bioetanol, os materiais lignocelulósicos, principais constituintes da parede celular das

plantas, desempenham um papel crucial. O material lignocelulósico é amplamente disponível e de custo reduzido em comparação com os materiais tradicionalmente utilizados na produção de etanol. Dentre os materiais lignocelulósicos mais estudados e empregados na obtenção de etanol, destacam-se os resíduos agrícolas e florestais, com ênfase nos resíduos da indústria açucareira, sendo o bagaço de cana-de-açúcar o material mais explorado devido à sua abundância, caráter renovável e custo acessível.

2.2.2 Gasolina

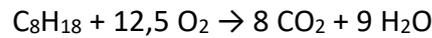
O petróleo desempenha um papel crucial como fonte de gasolina, utilizada como combustível automotivo, além de derivados que impulsionam a capacidade produtiva e o desenvolvimento econômico global. A gasolina, uma complexa mistura de hidrocarbonetos voláteis com 5 a 12 carbonos, é empregada em automóveis. No Brasil, a gasolina tipo C é comercializada com uma adição obrigatória de etanol anidro, atualmente fixada em 27% (E27), contribuindo para a elevação da octanagem e atendendo a objetivos estratégicos governamentais para a economia nacional. A variante sem etanol, conhecida como gasolina tipo A, é destinada especificamente para usos específicos e exportação (Frutuoso, 2019; Inagaki, 2016).

A política de preços da gasolina no Brasil é um tema complexo e sensível, envolvendo vários setores diferentes. O governo está tentando encontrar um equilíbrio entre controlar a preservação e estimular o crescimento de setores importantes, como o sucroenergético, ao mesmo tempo em que atende às necessidades dos consumidores que querem preços justos. Enquanto isso, as empresas que produzem petróleo estão tentando proteger seus lucros, considerando os grandes investimentos necessários para explorar e produzir petróleo e seus resultados. As mudanças imprevisíveis, como as variações no valor do dólar, os preços internacionais do petróleo, os impostos e os lucros das empresas que vendem a gasolina, estão causando intensos debates entre os governantes e os setores privados sobre como definir os preços dos combustíveis fósseis no Brasil (Fonseca, 2023).

O preço da gasolina nos postos é influenciado significativamente pelo custo da gasolina importada ou produzida localmente nas refinarias, representando cerca de um terço do preço final. Embora o mercado de combustíveis no Brasil tenha uma cadeia produtiva bem distribuída, com diversos participantes, a dependência da Petrobras como principal fornecedora é notável devido ao seu papel dominante na produção nacional. Desde 2016, a política de preços da Petrobras tem sido alinhada aos preços internacionais do petróleo, o que faz com que variações nos preços globais do petróleo afetem o custo da gasolina e, conseqüentemente, seu preço ao consumidor. Portanto, flutuações na taxa de câmbio também têm impacto na demanda por gasolina, como demonstrado pelo fato de que um aumento na taxa de câmbio resulta em uma diminuição no consumo do combustível (Matos e Santos, 2022).

A máxima eficiência na extração da energia química contida no combustível, visando otimizar as taxas de liberação de calor, é atingida por meio de uma reação de combustão estequiométrica, em condições ideais. Nesse processo, a quantidade de oxigênio é adequada para converter totalmente o carbono do combustível em dióxido de carbono (CO_2) e todo o hidrogênio em água (H_2O), conforme indicado pela reação de combustão completa. Para a gasolina, que pode ser aproximada pela composição do isoctano (C_8H_{18}), a reação de

combustão completa e estequiométrica é representada pela equação (Júnior, 2018; Malaquias, 2023):



No entanto, na prática, o processo difere dessa equação devido à presença de componentes não oxidantes no ar atmosférico, como nitrogênio (N₂). O nitrogênio, embora frequentemente considerado inerte, sob altas temperaturas na câmara de combustão, passa por oxidação e alterações em sua composição química. A combustão em motores, sendo uma reação exotérmica, é menos completa em temperaturas extremas e pode gerar além de CO₂ e H₂O, outros produtos indesejados, incluindo monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (UHC) e óxidos de nitrogênio (NOX), que são considerados poluentes significativos (Malaquias, 2023).

A presença de oxigênio no etanol intrinsecamente amplia os níveis de oxigênio nas zonas com excesso de combustível, resultando na diminuição das emissões de partículas comuns em casos de combustão incompleta. A combinação de gasolina e etanol promove uma combustão mais abrangente, o que contribui para a otimização da eficiência do motor (Serpa et al., 2019).

2.2.3 Veículos Flex Fuel

A introdução da tecnologia *flex fuel* no Brasil a partir de março de 2003 foi um marco significativo no setor automotivo. Essa inovação envolveu a criação de um sistema de injeção eletrônica avançado, capaz de identificar e ajustar a proporção da mistura de álcool e gasolina no tanque de combustível de um veículo. Essa abordagem permitiu aos proprietários de veículos a flexibilidade de escolher entre os dois tipos de combustíveis com base nas condições de mercado e no impacto ambiental (Figueiredo, 2019; Junior, 2011).

Como pode ser visto na Tabela 1, houve um aumento substancial no número de automóveis novos utilizando tecnologia *flex fuel* entre os anos de 2003 e 2005. A partir de 2005, essa tecnologia assumiu consistentemente a posição líder em todos os anos seguintes, quando comparada com outras opções de combustível para automóveis novos. Além disso, o período de 2003 a 2022 apresentou um aumento de 36 vezes no número de automóveis *flex fuel*, destacando assim a rápida adoção e popularização dessa tecnologia no mercado automotivo (ANFAVEA, 2023).

Tabela 1: Licenciamento de automóveis novos por combustível – 1957/2022

ANO	GASOLINA	ETANOL	FLEX FUEL	ELETRIFICADO	DIESEL	ANO	GASOLINA	ETANOL	FLEX FUEL	ELETRIFICADO	DIESEL
1957	9478	-	-	-	-	1990	463464	70250	-	-	1055
1958	20677	-	-	-	-	1991	474069	129139	-	-	1302
1959	39554	-	-	-	466	1992	434173	164840	-	-	1176
1960	68452	-	-	-	310	1993	679685	227289	-	-	3631
1961	86859	-	-	-	4	1994	1013410	119203	-	-	2388
1962	116666	-	-	-	538	1995	1381192	32808	-	-	1542
1963	120338	-	-	-	1224	1996	1421342	6333	-	-	834
1964	128857	-	-	-	1578	1997	1599517	924	-	-	4773
1965	136240	-	-	-	554	1998	1239984	982	-	-	5098
1966	155120	-	-	-	432	1999	1023240	9851	-	-	3111
1967	158716	-	-	-	266	2000	1191685	9610	-	-	3775
1968	184812	-	-	-	247	2001	1299796	14979	-	-	3457
1969	255509	-	-	-	293	2002	1181780	47366	-	-	-
1970	320544	-	-	-	146	2003	1046474	33034	39095	-	-
1971	411987	-	-	-	134	2004	967235	49801	278764	-	-
1972	474216	-	-	-	127	2005	646659	30904	752597	-	9662
1973	571106	-	-	-	87	2006	283240	1651	1334342	1	13713
1974	655066	-	-	-	74	2007	233440	90	1834259	2	17915
1975	674517	-	-	-	116	2008	206815	70	2113289	8	21122
1976	704880	-	-	-	256	2009	210281	61	2416111	21	17388
1977	681920	-	-	-	368	2010	264330	44	2570578	24	21564
1978	801505	-	-	-	499	2011	350848	44	2524402	200	26153
1979	829919	2276	-	-	474	2012	258950	46	2834334	117	21776
1980	570249	226534	-	-	612	2013	182046	29	2833091	484	25133
1981	320421	128774	-	-	677	2014	180561	10	2588367	842	24907
1982	346479	212060	-	-	652	2015	133922	13	1959868	843	28363
1983	70837	538834	-	-	455	2016	79490	12	1572798	1085	34904
1984	29012	503904	-	-	508	2017	68145	26	1739014	3278	46121
1985	24321	578725	-	-	577	2018	81493	20	1969672	3965	46964
1986	54384	620221	-	-	748	2019	73429	26	2123841	11844	52933
1987	24752	387785	-	-	901	2020	58330	18	1490480	19687	47427
1988	65698	492642	-	-	1202	2021	52089	19	1411662	34839	59858
1989	222551	345658	-	-	1022	2022	44286	32	1437713	48744	45891

Fonte: (ANFAVEA, 2023)

2.2.4 Veículos movidos à eletricidade e movidos à hidrogênio

A redução dos impactos ambientais no setor automotivo pode ocorrer através da substituição de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, sendo duas possibilidades amplamente discutidas para veículos leves o uso de biocombustíveis em motores de combustão interna ou a eletrificação da frota com baterias. O cenário energético brasileiro difere consideravelmente do cenário mundial devido à matriz elétrica altamente renovável e à indústria de etanol altamente desenvolvida e menos impactante no país. Nesse sentido, é necessário avaliar as alternativas de substituição de combustíveis fósseis localmente para entender melhor os impactos ambientais de cada alternativa (Lavrador e Teles, 2022; Mateus, 2021).

De acordo com a revisão desenvolvida por Lavrador e Teles (2022), quatro avaliações recentes de ciclo de vida que comparam veículos elétricos a bateria (BEV) e veículos de combustão interna (ICEVe) foram confrontadas. Foi observado que, para o critério de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os resultados desses estudos divergiram consideravelmente, com dois deles indicando vantagens para os veículos elétricos e os outros dois indicando vantagens para o uso de etanol em motores de combustão. A principal divergência metodológica identificada entre esses trabalhos foi a inclusão da mudança

indireta do uso da terra nos cálculos, favorecendo os BEVs. Evidencia-se, portanto, que existe um limite ambiental acima do qual os impactos relacionados ao uso indireto da terra relacionados ao cultivo de cana-de-açúcar superam os benefícios do uso de ICEVe. Ao mesmo tempo, também é possível observar que, considerando a área de terra atualmente utilizada para esse fim, os ICEVe parecem ter níveis de emissão mais baixos que os BEVs. Portanto, a evolução paralela dessas tecnologias parece ser a melhor opção para os formuladores de políticas públicas, que devem adotar medidas que a) aumentem a eficiência energética/territorial do etanol e b) incentivem o aumento controlado da produção de veículos elétricos para atender à crescente demanda.

Segundo a Análise do Ciclo de Vida demonstrada por Gauto et al. (2023) que veículos elétricos híbridos (Automóvel híbrido elétrico - HEV e Veículo elétrico híbrido plug-in - PHEV) com biocombustíveis têm menores emissões de gases de efeito estufa do que veículos elétricos a bateria (BEVs) na Europa e no Brasil, mesmo considerando a matriz elétrica limpa do Brasil. Os biocombustíveis brasileiros são tão competitivos que a comparação de um veículo a combustão tradicional abastecido com etanol de cana-de-açúcar ou biometano apresenta menores emissões do que um BEV na Europa. As emissões relacionadas à fabricação de baterias, recarga e infraestrutura impactam significativamente a pegada de carbono dos BEVs em seu ciclo de vida. Leva-se em conta fatores como matriz elétrica associada e perdas energéticas. Com isso, as emissões totais de um BEV podem superar as de um veículo a combustão.

O desenvolvimento de tecnologias ambientalmente eficazes é um desafio contemporâneo crucial, e o hidrogênio está ganhando destaque no mercado de transporte devido à sua conformidade com essas necessidades, ainda que, no Brasil, os programas de incentivo governamental ainda estejam em desenvolvimento. Os veículos movidos a hidrogênio oferecem diversas vantagens em relação aos veículos elétricos e aos movidos a combustíveis fósseis, como a ausência de baterias, emissões zero de gases de efeito estufa, maior autonomia e potência adequada. Embora enfrentem desafios, como altos custos e questões de segurança, a abertura do mercado e a produção em massa podem superar essas limitações (SILVA, 2022).

2.3 Emissões de Gases de Efeito Estufa

O aquecimento global é o resultado do aumento gradual da temperatura média da Terra, uma consequência direta da crescente concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Os principais entre eles - dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) - são predominantemente liberados devido às atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, desmatamento e práticas agrícolas intensivas. Embora esses gases permitam a entrada de radiação solar, eles também dificultam a saída de raios infravermelhos, desencadeando o conhecido fenômeno do efeito estufa. A amplificação desse efeito, resultado das atividades humanas, desencadeia um desequilíbrio energético na Terra, levando a um aquecimento mais acelerado do que o observado historicamente (IPCC, 2007; Maia, 2021; Nobre et al., 2012; Schvambach, 2022; Vecchia et al., 2020).

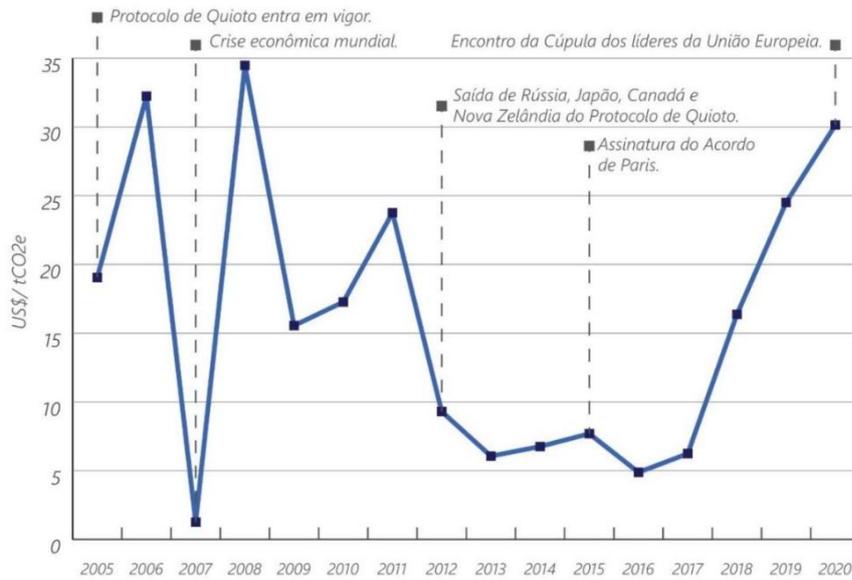
As mudanças climáticas são intrinsecamente ligadas ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. Este fenômeno é uma consequência direta da queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para energia e transporte,

juntamente com a prática de desmatamento e as modificações do solo. A emissão significativa de CO₂ e outros gases resultantes dessas atividades intensifica o efeito estufa e conduz a uma série de consequências abrangentes. O derretimento das geleiras e calotas polares, a elevação do nível do mar, a intensificação de eventos climáticos extremos e as alterações nos padrões de chuva são algumas das manifestações físicas das mudanças climáticas. Além disso, essas transformações têm efeitos dramáticos na biodiversidade, segurança alimentar, abastecimento hídrico e podem intensificar desigualdades socioeconômicas, afetando, de maneira desproporcional, comunidades vulneráveis globalmente (Kozloski, 2020; Lucon, 2022; Martins e Ferreira, 2011; Nobre et al., 2012; Pineda et al., 2023).

O aquecimento global é intensificado pelas crescentes concentrações de gases de efeito estufa, principalmente CO₂, na atmosfera (Schvambach, 2022). O ciclo do carbono, um sistema que engloba a contínua troca de carbono entre a atmosfera, oceanos, biosfera terrestre e litosfera, foi profundamente afetado pela atividade humana. A queima de combustíveis fósseis e o desmatamento introduziram uma quantidade substancial de carbono no ciclo, notadamente carbono fóssil, anteriormente aprisionado por milhões de anos sob a terra. A rápida liberação desse carbono na forma de CO₂ desequilibra o ciclo e desempenha um papel significativo no agravamento do aquecimento global. No entanto, é importante destacar que tanto a vegetação quanto os oceanos desempenham papéis vitais como sumidouros de carbono. Através da fotossíntese, as plantas retiram o CO₂ da atmosfera e o armazenam como biomassa, enquanto os oceanos absorvem uma parte substancial, apesar das consequências, como a acidificação oceânica (Casais et al., 2022; Monteiro, 2020; Valença et al., 2023).

O mercado de créditos de carbono surge das transações para atingir metas de redução de gases de efeito estufa (GEEs), emitindo certificados eletrônicos por diminuição de emissões. Cada crédito equivale a uma tonelada de CO₂ equivalente não emitida. Esse mecanismo envolve a valoração econômica da redução de emissões de carbono. Empresas e nações que conseguem diminuir suas emissões de CO₂ abaixo de limites preestabelecidos podem gerar créditos de carbono, que podem ser comercializados ou negociados com entidades que excedem suas metas. Essa abordagem incentiva a adoção de práticas mais sustentáveis e a transição para tecnologias de baixa emissão. A negociação de Créditos de Carbono pode criar oportunidades de negócios no Brasil, impulsionada pelo potencial do país, que tem se destacado nos últimos anos por sua participação em projetos sustentáveis que abrangem diversos setores econômicos. Conforme demonstrado na Figura 1, observa-se uma ampla variação nos valores dos créditos de carbono no Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), que é atualmente o maior mercado de carbono, desde sua implementação em 2005 (Andrade e Santos, 2023; Oliveira, 2022; Poyer et al., 2020).

Figura 1: Evolução do histórico das flutuações de valor dos créditos de carbono na EU ETS (em dólares americanos por tonelada de dióxido de carbono equivalente).

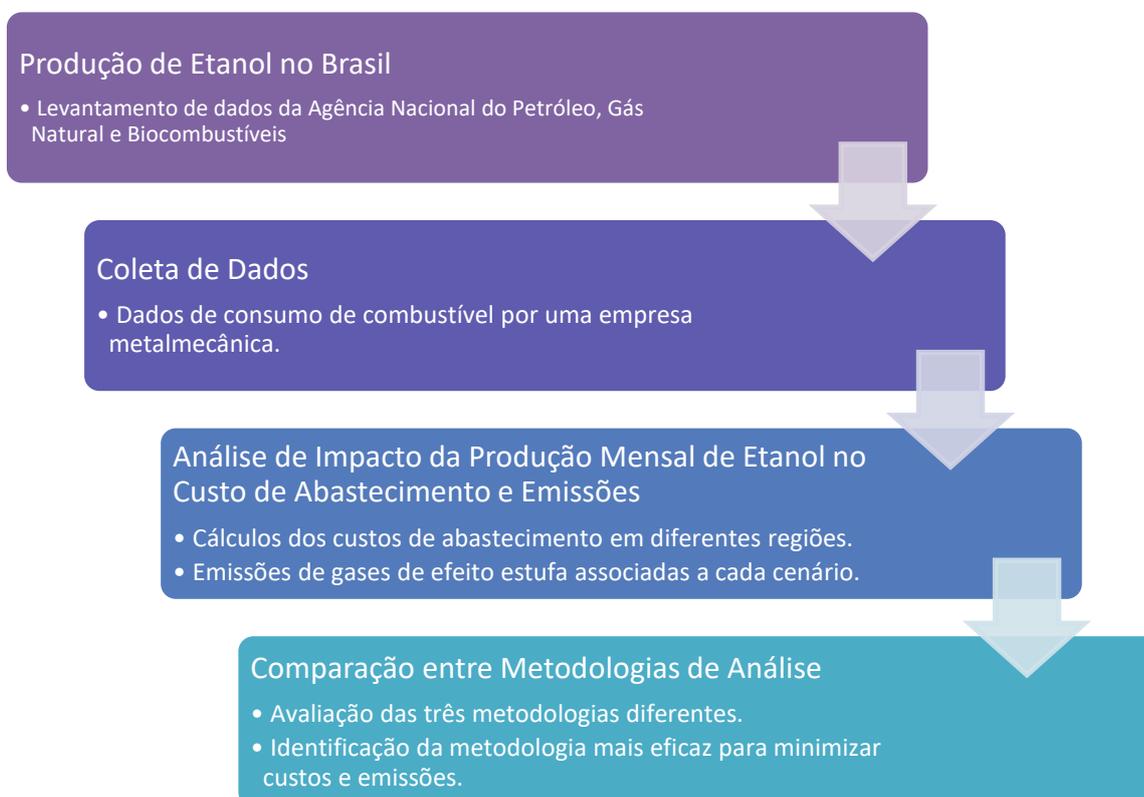


Fonte: (Oliveira, 2022)

3 Materiais e Métodos

A metodologia adotada é apresentada de forma clara em cada etapa no fluxograma (Figura 2), destacando as análises realizadas.

Figura 2: Fluxograma de etapas da metodologia adotada



O estudo analisou a produção de etanol no Brasil durante o ano de 2022, utilizando dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Coletaram-se informações sobre os volumes de produção de etanol em diferentes estados, e a pesquisa abrangeu 1077 cidades em todo o país. Através de cálculos específicos, foram estimados os volumes de etanol e gasolina que seriam consumidos por cada cidade se fossem abastecidas exclusivamente com um desses combustíveis, considerando a quilometragem percorrida e a eficiência de consumo.

Além disso, calculou-se a quantidade de emissões de gases de efeito estufa decorrentes de ambos os cenários. A composição da gasolina comercializada no Brasil (27% de etanol anidro e 73% de gasolina pura) também foi levada em conta. Foram realizadas análises para comparar os custos de abastecimento e as emissões entre etanol e gasolina nas cinco diferentes regiões brasileiras. Três metodologias distintas foram aplicadas: análise anual com base no preço por litro de etanol, análise anual com base na diferença de custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, e análise mensal com base na mesma diferença de custo. O objetivo central era estabelecer relações entre a produção mensal de etanol, os custos associados à mitigação de emissões e os padrões de consumo. As metodologias permitiram explorar a influência de fatores econômicos e sazonais nas decisões de abastecimento e impactos ambientais.

Todos os cálculos empregados neste estudo foram realizados utilizando a plataforma Microsoft Excel, que oferece uma robusta e amplamente reconhecida capacidade de processamento de dados. Além disso, os gráficos apresentados neste artigo foram gerados com base nos resultados obtidos por meio das funcionalidades de criação de gráficos disponíveis no Excel.

3.1 Produção de etanol no Brasil

Realizou-se uma análise ampla dos dados referentes à produção de etanol no Brasil ao longo do ano de 2022, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Inicialmente, foram coletadas informações sobre os volumes de produção de etanol em metros cúbicos (m³) nos diversos estados do país.

3.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram empregados dados fornecidos por uma empresa do setor metalmeccânico, que presta serviços em âmbito nacional. Os dados utilizados correspondem ao ano de 2022 e englobam informações da frota operacional de veículos em sua maioria veículos leves e de ano superior a 2020 abrangendo 1077 cidades distintas. Foram fornecidos dados específicos para cada uma das cidades, abrangendo as seguintes informações:

- Quilometragem percorrida com o uso de gasolina.
- Quilometragem percorrida com o uso de etanol.
- Eficiência em quilômetros rodados por litro de etanol consumido.
- Eficiência em quilômetros rodados por litro de gasolina consumido.
- Custo do litro de gasolina em reais.
- Custo do litro de etanol em reais.
- Custo por quilômetro rodado com etanol em reais por quilômetro.
- Custo por quilômetro rodado com gasolina em reais por quilômetro.

Com base nesses dados de cada uma das cidades, procedeu-se aos seguintes cálculos:

- Foi calculado o volume, em litros, que os veículos da frota de cada cidade consumiria de etanol se fosse exclusivamente abastecida com esse biocombustível.

$$V_{E,SIMULADO}(L) = V_{E,REAL}(L) + \frac{D_{G,REAL}(km)}{Efi_{cE}(\frac{km}{L})}$$

Sendo:

$V_{E,SIMULADO}$: Volume de etanol que seria consumido em dada cidade se nela só fosse consumida apenas etanol

$V_{E,REAL}$: Volume que realmente foi consumido de etanol naquela cidade

$D_{G,REAL}$: Distância, em quilômetros, que realmente foi percorrida pelos veículos em dada cidade que estavam abastecidos com gasolina

Efi_{cE} : Média de eficiência de consumo de etanol que os veículos da cidade performaram

- De maneira análoga, foi determinado o volume, em litros, que cada cidade consumiria de gasolina se a opção de abastecimento fosse unicamente essa.

$$V_{G,SIMULADO}(L) = V_{G,REAL}(L) + \frac{D_{E,REAL}(km)}{Efic_G\left(\frac{km}{L}\right)}$$

Sendo:

$V_{G,SIMULADO}$: Volume de gasolina que seria consumido em dada cidade se nela só fosse consumida apenas gasolina

$V_{G,REAL}$: Volume que realmente foi consumido de gasolina naquela cidade

$D_{E,REAL}$: Distância, em quilômetros, que realmente foi percorrida pelos veículos em dada cidade que estavam abastecidos com etanol

$Efic_G$: Média de eficiência de consumo de gasolina que os veículos da cidade performaram

Além disso, as emissões de gases de efeito estufa decorrentes de ambos os cenários foram calculadas. Para essa análise, foram empregados os fatores de emissão presentes na Tabela 2.

Tabela 2: Fatores de emissão de gases de efeito estufa por combustível

Combustível	Fatores de Emissão (kg GEE/L)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina Automotiva (pura)	2,212 <i>Fonte: (MMA, 2014)</i>	0,0008077 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>	0,0002585 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>
Etanol Hidratado	1,457 <i>Fonte: (MMA, 2014)</i>	0,0003841 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>	0,0000128 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>
Etanol Anidro	1,526 <i>Fonte: (MMA, 2014)</i>	0,0002235 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>	0,0000134 <i>Fonte: (IPCC, 2006)</i>

Para calcular as emissões de gases de efeito estufa provenientes da combustão da gasolina, foi levado em consideração o fato de que a composição da gasolina comercializada no Brasil é composta por 27% de etanol anidro e 73% de gasolina pura.

Após determinar a quantidade em quilogramas de CO₂, CH₄ e N₂O emitidos em cada cenário, procedeu-se ao cálculo das emissões em toneladas de CO₂ equivalente. Importa salientar que para esse cálculo não foram consideradas as emissões de CO₂ provenientes do etanol. Isso se deve ao fato de o etanol ser um biocombustível que resulta em emissões de

carbono neutro no que diz respeito ao impacto climático. As emissões de CO₂ associadas ao etanol integram o ciclo biológico recente do carbono, conhecido como "carbono biogênico". Portanto, seu papel nas emissões líquidas de gases de efeito estufa é diferente daquele dos combustíveis fósseis.

Os fatores para converter a quantidade em toneladas de CO₂, CH₄ e N₂O emitidos em CO₂ equivalente estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de conversão para tonelada de CO₂ equivalente

	t CO ₂ (eq)
1t CO ₂	1
1t CH ₄	28
1t N ₂ O	265

Fonte: (IPCC, 2013)

3.3 Análise de impacto da produção mensal de etanol no custo de abastecimento e emissões

Após compilar os dados mensais relativos ao ano de 2022, abrangendo 1077 cidades brasileiras onde os veículos da empresa em estudo realizaram abastecimentos, uma análise foi conduzida. Essa análise teve como intuito determinar o custo médio mensal para a redução de emissões de gases de efeito estufa. Essa avaliação foi realizada de forma mensal, ao longo de todo o ano de 2022, para possibilitar uma comparação detalhada.

O foco central era comparar o custo médio para a redução de emissões da frota de veículos da empresa, mês a mês, com os dados relativos ao volume de produção de etanol no Brasil. Para realizar essa comparação, também foi importante realizar um levantamento completo da produção mensal de etanol no país em cada mês de 2022.

O objetivo fundamental era estabelecer uma conexão clara entre o volume de produção mensal de etanol e os custos associados à mitigação das emissões. Isso é essencial, pois permite compreender de que maneira a quantidade de etanol produzido mensalmente influencia diretamente nos gastos necessários para reduzir as emissões de gases de efeito estufa da empresa.

3.3.1 Levantamento da produção mensal de etanol no Brasil

Foram utilizados os dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) referentes à produção total de etanol em metros cúbicos ao longo do ano de 2022. Esses dados foram analisados considerando tanto a dimensão temporal mensal quanto a distribuição regional no território brasileiro.

3.3.2 Análise comparativa de custos e emissões entre etanol e gasolina pelos veículos da empresa nas diferentes regiões brasileiras

Foram calculados os custos totais de abastecimento de cada uma das cinco regiões do Brasil considerando somente o uso de etanol. Isso significa somar todos os gastos envolvidos no abastecimento de etanol em cada região. Depois, realizou-se o mesmo processo, mas considerando o abastecimento apenas com gasolina, calculando os custos totais para cada região. Uma vez que os custos totais de abastecimento com etanol e gasolina foram obtidos, a diferença entre esses dois valores foi calculada. Essa diferença representa a variação de custos entre usar somente etanol e somente gasolina para abastecer cada região do Brasil.

Adicionalmente, foram realizados cálculos para estimar as quantidades de gases de efeito estufa que seriam emitidas em cada região caso todos os veículos daquela localidade abastecessem exclusivamente com gasolina ou etanol, respectivamente. A partir desses resultados, foi possível determinar o preço, custo ou receita, associado à diferença entre o abastecimento de etanol e gasolina por cada tonelada de CO₂ equivalente que deixaria de ser emitida.

3.4 Comparação entre Metodologias de Análise

Neste estudo, foram aplicadas três abordagens metodológicas distintas, descritas na Tabela 4, para analisar o consumo de combustível em diferentes áreas urbanas. A primeira abordagem envolveu uma análise anual nas cidades, focando no preço por litro do etanol como fator chave. A segunda metodologia adotou uma análise anual, mas direcionada à diferença no custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, ampliando a visão das implicações econômicas entre esses combustíveis. A terceira abordagem, por sua vez, conduziu uma análise mensal nas cidades, destacando a variação no custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, permitindo a captação das flutuações sazonais e sua influência nos padrões de consumo.

Tabela 4: Critérios adotados nas diferentes metodologias

Metodologia	Número de Cidades	Critério de custo	Número de Cenários	Parâmetro temporal
Controle	1077	Sem critério	1077	Anual
1	1077	Menor preço do litro do etanol	1077	Anual
2	1077	Menor diferença entre o preço por quilômetro rodado de etanol e de gasolina	1077	Anual
3	1077	Menor diferença entre o preço por quilômetro rodado de etanol e de gasolina	5918	Mensal

Além disso, para avaliar o impacto da escolha da metodologia, foi realizada uma análise anual por cidade como grupo de controle, sem a aplicação de nenhum critério específico. Isso nos possibilita discernir as variações resultantes da adoção das diferentes metodologias das flutuações inerentes ao cenário.

As três metodologias e o controle foram conduzidos com base nos dados de consumo de combustível, anual ou mensal, em 1077 cidades, onde os automóveis da frota da empresa em estudo foram abastecidos. Mediante esses dados, procedeu-se à simulação individual de cada cidade para calcular os seguintes parâmetros:

- Foram estimadas as emissões de gases de efeito estufa decorrentes do abastecimento exclusivo com etanol em cada cidade durante o ano de 2022, bem como o custo associado a esse tipo de abastecimento.
- Da mesma forma, foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa resultantes do abastecimento exclusivo com gasolina em cada cidade durante o ano de 2022, assim como o custo total para tal abastecimento.
- Foi realizada a comparação entre os custos de abastecimento exclusivo com etanol e gasolina, visando identificar a diferença financeira entre as duas opções.

3.4.1 Metodologia da análise anual por cidade com base no preço por litro do etanol

Nesta primeira abordagem, foi realizada uma análise anual em diversas cidades, considerando unicamente o preço por litro do etanol como fator determinante. Isso permitiu avaliar como o custo deste combustível varia de acordo com as localidades.

3.4.2 Metodologia da análise anual por cidade com base na diferença entre o preço por quilômetro rodado do etanol e da gasolina

A segunda metodologia consiste em uma análise anual em diferentes cidades, focando na diferença entre o custo por quilômetro rodado do etanol e da gasolina. Isso proporciona uma visão mais abrangente das implicações econômicas entre os dois tipos de combustíveis.

Essa análise foi conduzida com base nos dados de consumo de combustível, anual, em 1077 cidades, onde os automóveis da frota da empresa em estudo foram abastecidos. Mediante esses dados, procedeu-se à simulação individual de cada cidade para calcular os seguintes parâmetros:

- Foi calculada a diferença entre o preço por quilômetro rodado ao utilizar etanol em comparação com o uso de gasolina.

Com base na diferença de custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, as 1077 cidades foram classificadas em ordem crescente. A partir dessa classificação, foram criados 1077 cenários distintos para simular as emissões e custos da empresa. O primeiro cenário representou uma simulação em que somente a primeira, ou seja, a cidade com a menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina, das 1077 cidades da ordem abastecesse com etanol, enquanto as outras 1076 cidades utilizariam apenas gasolina. O segundo cenário envolveu o abastecimento com etanol nas duas primeiras cidades com menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina, enquanto as outras 1075 cidades utilizariam gasolina, e assim por diante. No último cenário, todas as 1077 cidades foram consideradas abastecendo somente com etanol. Para cada um desses 1077 cenários projetados foi calculado:

- Total do volume em litros consumido de etanol em todas as cidades no dado cenário (T_E)
- Total do volume em litros consumido de gasolina em todas as cidades no dado cenário (T_G)
- % de consumo de etanol

$$\frac{T_E}{T_E + T_G}$$

- Total de toneladas de CO₂ equivalente emitidas
- Total de toneladas de CO₂ equivalente evitadas
- Total do custo ou economia extra por abastecer etanol

3.4.3 Metodologia da Análise Mensal por Cidade com Base na Diferença entre o Preço por Quilômetro Rodado do Etanol e da Gasolina

Na terceira abordagem, optamos por uma análise mensal, considerando a diferença entre o custo por quilômetro rodado do etanol e da gasolina em diferentes cidades. Esta abordagem nos permite capturar flutuações sazonais nos preços e sua influência nos padrões de consumo. Também com base na diferença de custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, dessa vez mensal, as 1077 cidades foram classificadas em ordem crescente. A partir dessa classificação, foram criados 5918 cenários distintos para simular as emissões e custos da empresa. O primeiro cenário representou uma simulação em que somente a primeira cidade em um determinado mês consumiria etanol, ou seja, a cidade com a menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina em um certo mês, das 1077 cidades da ordem abastecesse com etanol. Por outro lado, essa mesma primeira cidade nos outros meses do ano foi considerada que ela utilizaria gasolina e as outras 1076 cidades também utilizariam apenas gasolina. O segundo cenário envolveu o abastecimento com etanol nas duas primeiras cidades com menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina em meses específicos onde apresentavam maior vantagem. Enquanto isso, nos demais meses essas duas cidades utilizariam gasolina e as outras 1075 cidades também utilizariam gasolina, e assim por diante. No último cenário, todas as 1077 cidades foram consideradas abastecendo somente com etanol em todos os meses do ano. Para cada um desses cenários projetados também foi calculado:

- Total do volume em litros consumido de etanol em todas as cidades onde (T_E)
- Total de litros consumido de gasolina no dado cenário (T_G)
- % de consumo de etanol

$$\frac{T_E}{T_E + T_G}$$

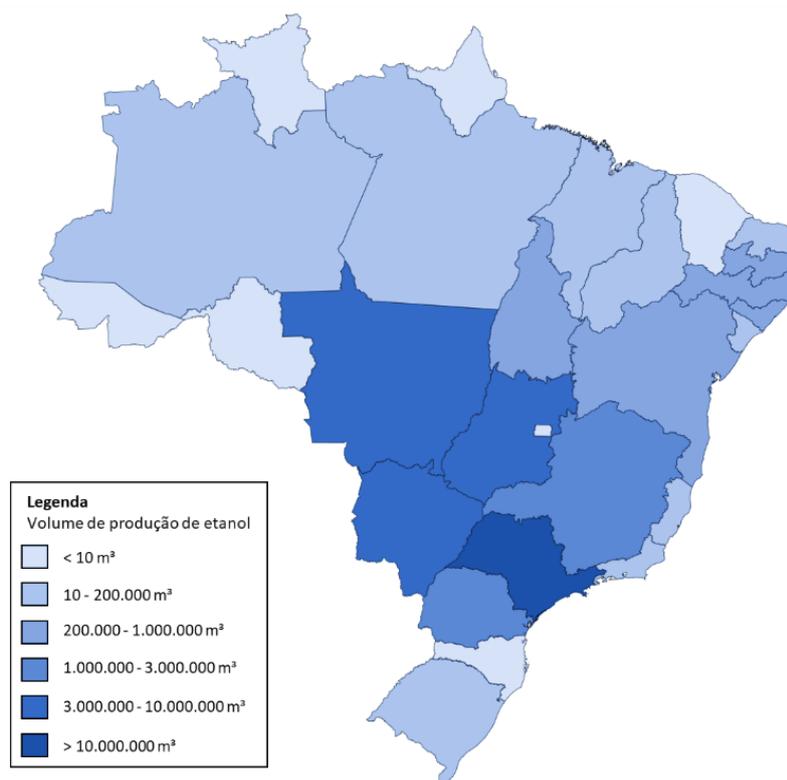
- Total de toneladas de CO₂ equivalente emitidas
- Total de toneladas de CO₂ equivalente evitadas
- Total do custo ou economia extra por abastecer etanol

4 Resultados

4.1 Produção de etanol no Brasil

A análise dos dados de volume de produção de etanol (em m³) no Brasil da ANP para o ano de 2022, apresentados na Figura 3, destacou uma notável disparidade entre as diversas regiões do país. Os dados mostram que as regiões Centro-Oeste e Sudeste, com ênfase especial no estado de São Paulo, se sobressaíram como as principais produtoras de etanol.

Figura 3: Volume de produção de etanol no Brasil por estado em 2022



A predominância dessas regiões na produção de etanol pode ser justificada por um conjunto de fatores geográficos, climáticos, agrícolas e econômicos. Em especial, a safra de cana de açúcar demonstrou ser o fator principal, contribuindo de forma expressiva com 93,2% da produção total de etanol no Brasil em 2022, reforçando sua posição como a principal matéria-prima empregada na produção brasileira de etanol (ANP, 2022).

Neste contexto, tanto a região Centro-Oeste quanto a região Sudeste se caracterizam por vastas áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar, responsáveis conjuntamente por processar 88,75% de toda a cana de açúcar utilizada na produção de etanol a nível nacional em 2022 (ANP, 2022).

Além da notável produção de etanol decorrente da extensa safra de cana de açúcar, outra justificativa para a maior concentração de produção nas regiões Sudeste e Centro-Oeste é o tamanho expressivo da frota de automóveis. De acordo com dados da SENATRAN (2022), somente a região Sudeste abriga aproximadamente 54% de toda a frota de automóveis do Brasil, levando a uma necessidade maior de produção de combustíveis. Embora a região Centro-Oeste possua uma frota de automóveis menor em comparação ao Sudeste, sua

proximidade geográfica à região Sudeste justifica a relevância estratégica da produção de etanol nessa área.

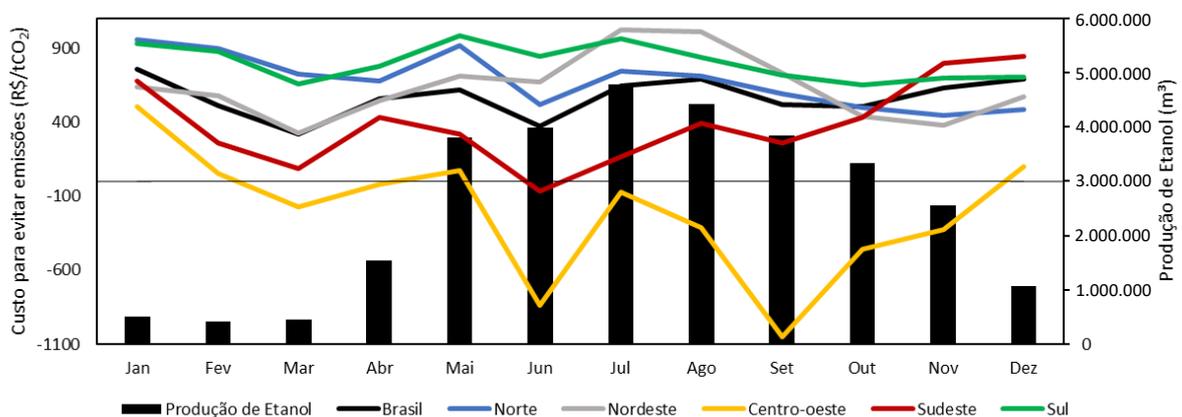
4.2 Análise de Impacto da Produção Mensal de Etanol no Custo de Abastecimento e Emissões

Após coletar dados mensais de 2022 de 1077 cidades onde os veículos da empresa foram abastecidos, realizou-se uma análise para calcular o custo médio de redução de emissões de gases de efeito estufa. Isso incluiu comparar os custos de abastecimento de etanol e gasolina em cinco regiões do Brasil e estimar as emissões de gases de efeito estufa resultantes de cada tipo de abastecimento. Com base nesses resultados, foi determinado o valor associado à diferença entre o abastecimento de etanol e gasolina por tonelada de CO₂ equivalente evitada.

No mês de junho de 2022, por exemplo, a diferença entre o somatório do preço que a empresa deveria receber para que todos os veículos da região Centro-Oeste abastecessem com etanol e gasolina foi de R\$ 4370,81, indicando um resultado favorável à empresa nesse cenário. Além disso, esse abastecimento com etanol apresentou um impacto ambiental positivo, uma vez que, se todos os veículos da região utilizassem gasolina, seriam emitidas aproximadamente 5,35 toneladas de CO₂ equivalente. Em contraste, caso todos os veículos abastecessem com etanol, as emissões seriam drasticamente reduzidas para cerca de 0,13 toneladas de CO₂ equivalente. Essa diferença evidencia que, ao optar pelo etanol, seriam evitadas aproximadamente 5,21 toneladas de CO₂ equivalente, por cada tonelada de CO₂ equivalente evitada, haveria uma economia média de aproximadamente R\$ 838,36.

Para todas as regiões do Brasil e em todos os meses do ano de 2022, o mesmo procedimento de cálculo foi aplicado, permitindo a obtenção dos custos médios para evitar emissões de gases de efeito estufa mediante o abastecimento com etanol em detrimento da gasolina. A representação gráfica desses resultados é apresentada na Figura 4. Além disso, com o intuito de realizar uma comparação abrangente, os dados de volume mensal de produção de etanol no Brasil em 2022, fornecidos pela ANP (2022), foram incorporados ao estudo.

Figura 4: Custo mensal para evitar emissões de gases de efeito estufa por macrorregião do Brasil versus volume de produção mensal de etanol no Brasil em 2022



Com base na análise realizada referente ao ano de 2022, observou-se que a região Centro-Oeste do Brasil apresentou um cenário altamente propício para o abastecimento de etanol, especialmente entre os meses de junho a novembro, período em que se registra um significativo volume de produção desse biocombustível. Durante essa mesma época, a região Sudeste também evidenciou um menor custo associado à redução das emissões de gases de efeito estufa ao optar pelo abastecimento com etanol, mesmo que tenha sido caracterizada por um contexto favorável para o uso de gasolina.

Os resultados revelados na Figura 4 destacam a importância das empresas direcionarem seus investimentos para os períodos compreendidos entre junho e novembro, uma vez que nesse intervalo de tempo o custo associado à redução das emissões de gases de efeito estufa tende a ser menor. A análise dos dados evidencia a oportunidade de otimizar as estratégias de abastecimento com etanol durante esses meses, o que pode resultar em benefícios significativos tanto para o meio ambiente, por meio da diminuição das emissões de gases poluentes, quanto para a própria empresa, ao reduzir seus custos operacionais.

A justificativa para os cenários onde os veículos que abastecem etanol emitirem menos gases de efeito estufa é que a queima de biocombustíveis resulta em emissões de carbono neutro em termos de impacto climático, uma vez que o CO₂ liberado faz parte do ciclo biológico recente do carbono, conhecido como "carbono biogênico", em contraste com o carbono proveniente de combustíveis fósseis que se relaciona a processos geológicos. A redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio de biocombustíveis está diretamente relacionada à substituição dos combustíveis fósseis pelo consumo de etanol em lugar da gasolina, sendo possível graças ao processamento da matéria-prima e sua conversão em biocombustível (Subramaniam; Masron, 2020).

Além disso, de acordo com o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (2008), o bioetanol de cana-de-açúcar é composto por aproximadamente 35% de oxigênio em sua massa, tornando-o uma opção de combustível com combustão mais limpa em relação à gasolina. Essa característica possibilita um desempenho aprimorado nos motores quando combinado com a gasolina, o que, aliado às suas vantagens ambientais, faz do bioetanol um aditivo benéfico para melhorar as propriedades da gasolina.

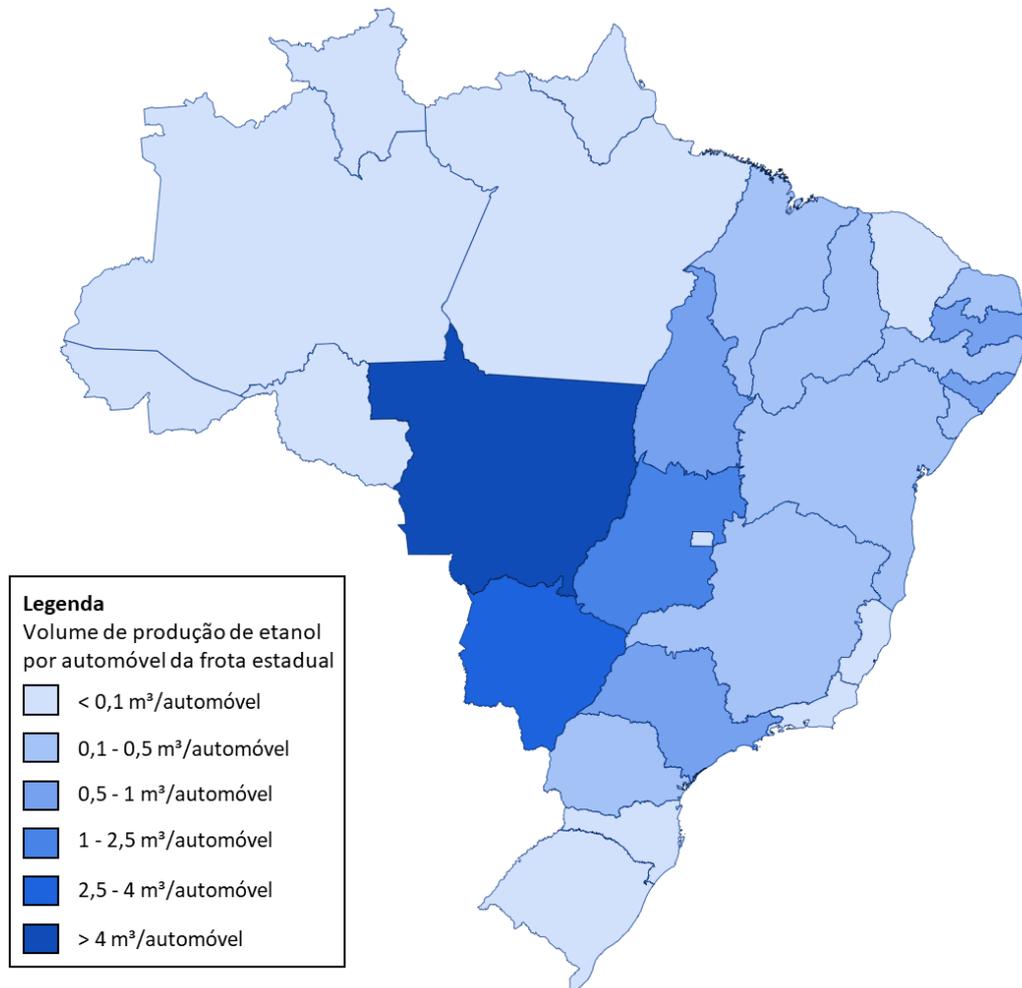
Ao analisar a Figura 4, as demais regiões do Brasil, quais sejam o Norte, Nordeste e Sul, não apresentaram uma tendência clara nos cenários mensais de custos para evitar emissões de gases de efeito estufa, quando comparados à produção nacional de etanol.

Além disso, pela Figura 4, pode-se notar que a indústria de etanol de cana-de-açúcar enfrenta um desafio significativo relacionado à operação com capacidade ociosa média de 4 meses ao longo do ano, devido à sazonalidade da safra da cana-de-açúcar e limitações quanto ao seu estoque.

Com base na participação significativa das regiões Centro-Oeste e Sudeste, representando 47% e 45%, respectivamente, da produção nacional de etanol no Brasil, era esperado que ambas as regiões apresentassem um cenário favorável para o abastecimento de etanol (ANP, 2022). No entanto, constatou-se que apenas a região Centro-Oeste demonstrou essa favorabilidade. Uma das justificativas para essa discrepância é a diferença na quantidade de automóveis presentes em cada região, sendo a região Centro-Oeste caracterizada por uma

frota consideravelmente menor em comparação à região Sudeste. Para evidenciar essa diferença, realizou-se um levantamento abrangente do volume de produção de etanol e da quantidade de automóveis presentes na frota de todos os estados do Brasil. Essa análise permitiu obter o volume de etanol produzido por cada automóvel em cada estado em 2022.

Figura 5: Produção de bioetanol por número de automóveis na frota estadual em 2022



Ao analisar a Figura 3, torna-se evidente que o estado de São Paulo detém a maior produção de etanol no Brasil. Ao comparar a Figura 3 com a Figura 5, em contrapartida, devido à expressiva quantidade de automóveis presentes nesse estado, o volume de etanol disponível por automóvel acaba sendo relativamente menor. Essa observação sugere que, apesar da alta produção total de etanol em São Paulo, a sua grande demanda de combustíveis acaba diluindo a disponibilidade do biocombustível por veículo.

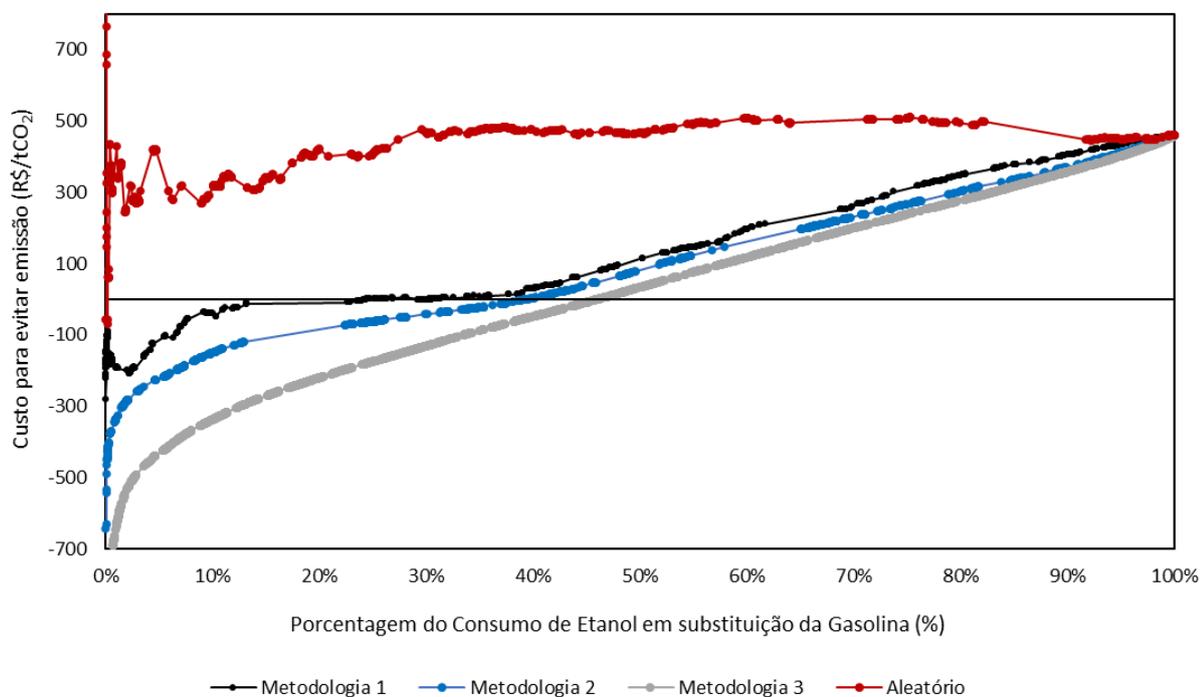
4.3 Comparação entre Metodologias de Análise

Outra análise foi conduzida com base nos dados de consumo de combustível, dessa vez anual, em 1077 cidades, onde os automóveis da frota da empresa em estudo foram abastecidos. Mediante esses dados, procedeu-se à simulação individual de cada cidade para calcular os seguintes parâmetros:

- Foi calculada a diferença entre o preço por quilômetro rodado ao utilizar etanol em comparação com o uso de gasolina.
- Foram estimadas as emissões de gases de efeito estufa decorrentes do abastecimento exclusivo com etanol em cada cidade durante o ano de 2022, bem como o custo associado a esse tipo de abastecimento.
- Da mesma forma, foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa resultantes do abastecimento exclusivo com gasolina em cada cidade durante o ano de 2022, assim como o custo total para tal abastecimento.
- Foi realizada a comparação entre os custos de abastecimento exclusivo com etanol e gasolina, visando identificar a diferença financeira entre as duas opções.

Após aplicar as quatro abordagens distintas - três metodologias com diferentes enfoques e uma ausência de critério para fins de comparação - podemos concluir que a ausência de um processo metodológico pode levar a custos elevados para a empresa, mesmo com uma baixa proporção de abastecimento de etanol. Além disso, a seleção da abordagem mais eficaz permitirá à empresa alcançar uma significativa parcela de consumo de etanol com custos reduzidos. Na Figura 6 é possível visualizar a diferença entre as quatro abordagens.

Figura 6: Análise comparativa das metodologias de análise do custo para evitar emissão na frota da empresa

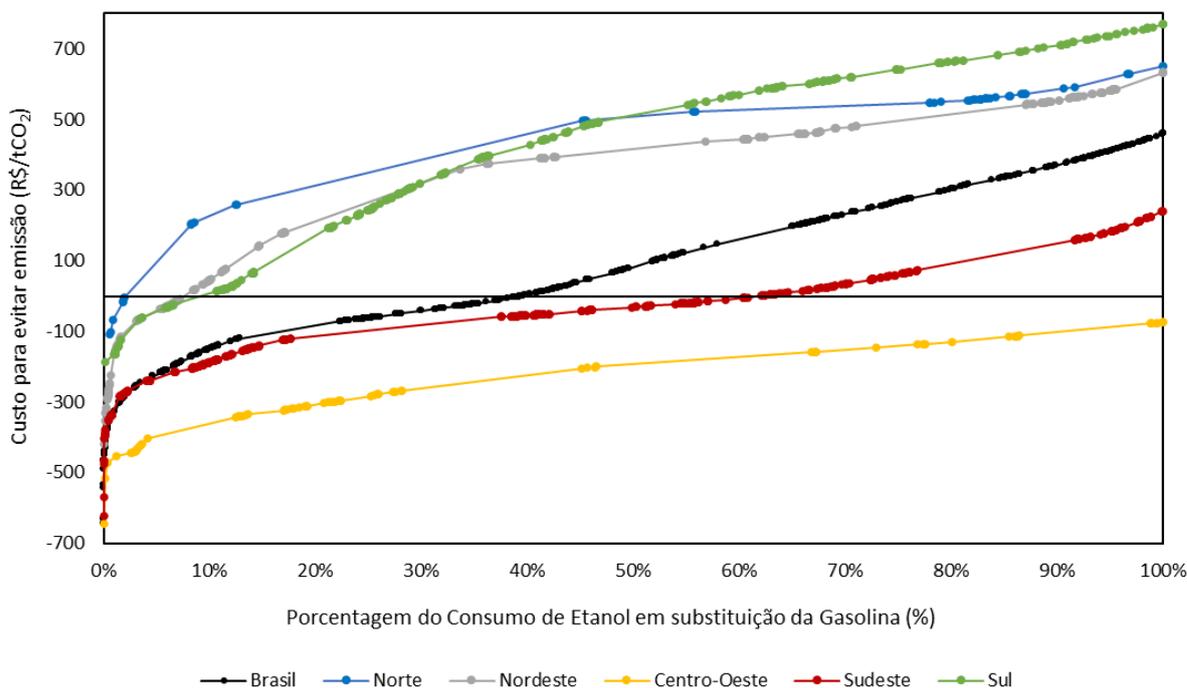


Na primeira metodologia, que considera apenas o preço do litro de etanol, a empresa consegue abastecer somente 25% do volume total nacional sem custos adicionais. Na segunda metodologia, que avalia a diferença entre os custos por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, a empresa pode atingir 39% do volume total nacional de abastecimento sem custos

extras. Já na terceira metodologia, que leva em conta não apenas a diferença nos custos por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, mas também a variação sazonal dessa diferença ao longo dos meses, a empresa consegue abastecer 46% do volume total nacional sem custos adicionais.

Com base na diferença de custo por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, as 1077 cidades foram classificadas em ordem crescente. A partir dessa classificação, foram criados 1077 cenários distintos para simular as emissões e custos da empresa. O primeiro cenário representou uma simulação em que somente a primeira, ou seja, a cidade com a menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina, das 1077 cidades da ordem abastecesse com etanol durante todo o ano de 2022, enquanto as outras 1076 cidades utilizariam apenas gasolina durante o mesmo ano. O segundo cenário envolveu o abastecimento com etanol nas duas primeiras cidades com menor diferença entre o custo entre etanol e gasolina, enquanto as outras 1075 cidades utilizariam gasolina, e assim por diante. No último cenário, todas as 1077 cidades foram consideradas abastecendo somente com etanol no ano de 2022. A análise do custo para evitar emissão na frota da empresa pela segunda metodologia nos diversos cenários podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7: Análise do custo para evitar emissão na frota da empresa pela segunda metodologia



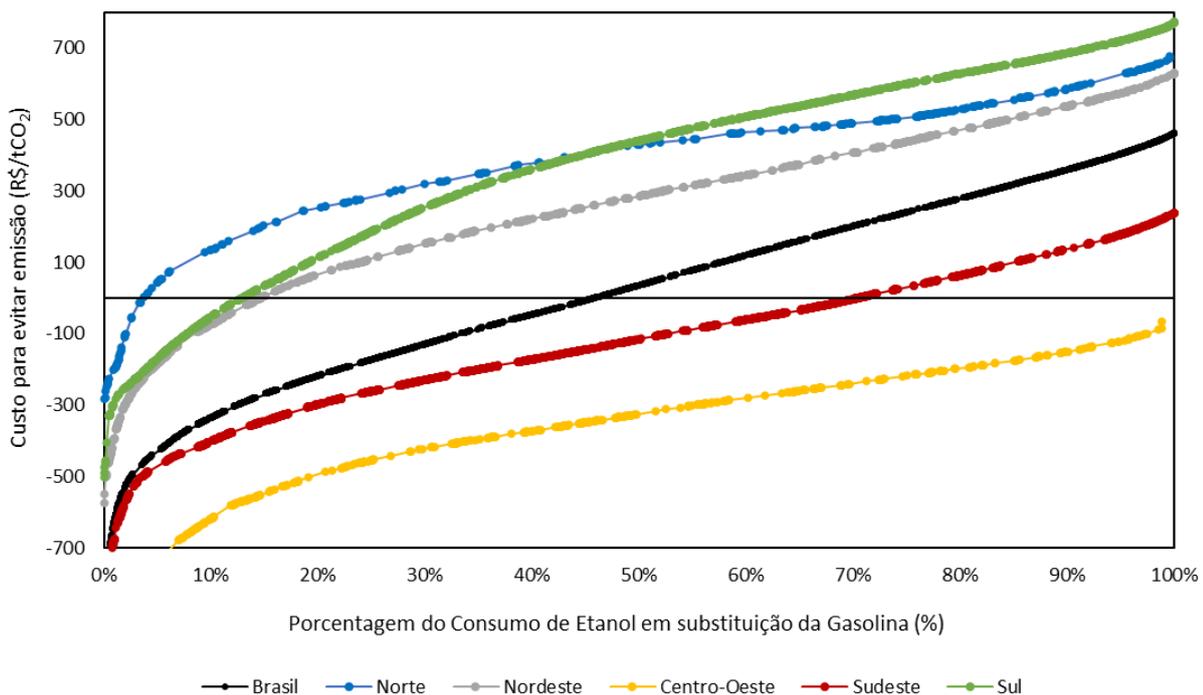
A análise efetuada neste estudo reafirmou, mais uma vez, que distintas regiões geográficas apresentam cenários divergentes em relação à viabilidade econômica do abastecimento de etanol. Destacou-se a região Centro-Oeste, evidenciando que a frota de veículos da empresa nesse local poderia adotar o abastecimento de etanol sem acarretar custos extras. Contudo, na região Sudeste, constatou-se que a partir da porcentagem de 62% de substituição da gasolina pelo etanol, a empresa começaria a incorrer em custos ao abastecer a totalidade de sua frota com etanol. Dessa forma, caso a empresa opte por não

incorrer em despesas iniciais na redução de suas emissões, ainda assim, ela pode optar por abastecer com etanol em grande parte das cidades do Sudeste, evitando custos adicionais.

Considerando uma visão geral, a empresa poderia alcançar a adoção de etanol em até 39% de todo o volume de abastecimento nacional sem custos extras. Adicionalmente, poderia atingir até 43% desse volume de abastecimento nacional com etanol, resultando em um custo inferior a 26 reais por tonelada evitada de CO₂ equivalente. Quanto às regiões Nordeste e Sul, apenas uma proporção máxima de 7% do total de volume de abastecimento poderia ser constituída por etanol sem incorrer em custos adicionais, já a região Norte essa proporção seria de um máximo de 2%. Tais resultados reiteram a relevância estratégica do abastecimento de etanol nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde prevalecem menores custos de investimento ou mesmo potenciais economias, aliados a uma expressiva redução nas emissões de toneladas de CO₂ equivalente.

Depois de feita a análise com a terceira metodologia, que leva em conta não apenas a diferença nos custos por quilômetro rodado entre etanol e gasolina, mas também a variação sazonal dessa diferença ao longo dos meses foi possível fazer a análise geral, a nível nacional e regional (Figura 8).

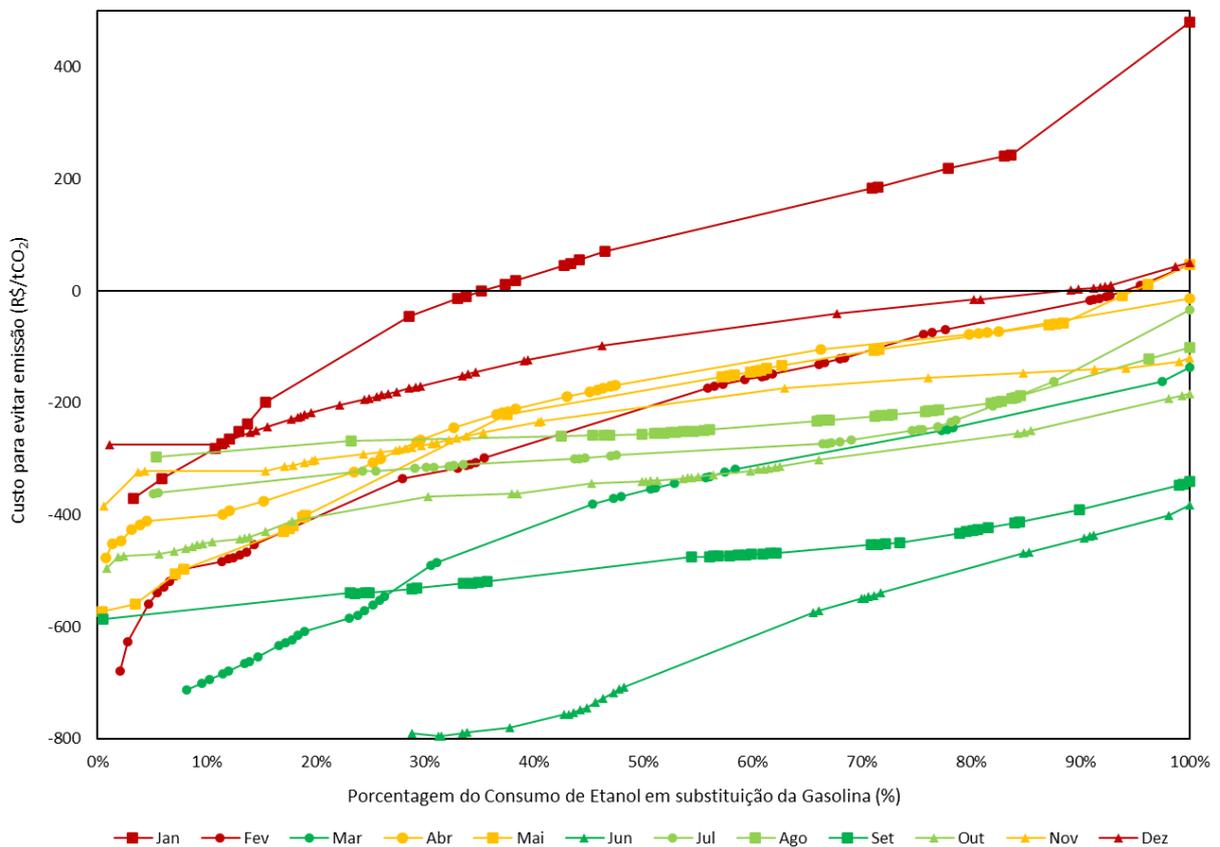
Figura 8: Análise do custo para evitar emissão na frota da empresa pela terceira metodologia



Levando em consideração uma perspectiva abrangente, a empresa tem a possibilidade de atingir uma adoção de até 46% do volume total de abastecimento nacional utilizando etanol, sem gastos adicionais. Além disso, existe a viabilidade de alcançar até 49% desse volume de abastecimento nacional com etanol, resultando em um custo inferior a 26 reais por tonelada de CO₂ equivalente evitada. Ademais, as regiões que novamente apresentaram maior vantagem no abastecimento de etanol foram as regiões Centro-Oeste e Sudeste, seria possível 100% e 70% do volume total de abastecimento utilizando etanol de cada região,

respectivamente, sem custos adicionais. No que diz respeito às regiões Nordeste e Sul, a proporção máxima de etanol no total de abastecimento poderia ser de 15% e 13%, respectivamente, sem incorrer em custos extras. Já na região Norte, essa proporção máxima seria de apenas 2%.

Figura 9: Análise mensal do custo para evitar emissão na frota da empresa no Centro-Oeste



Com o objetivo de aprofundar a compreensão sobre o perfil mensal do custo associado à redução de emissões de gases de efeito estufa na região do Centro-Oeste, região de melhor oportunidade em termos de uso de etanol, procedeu-se à construção de um gráfico ilustrativo (Figura 9). A análise gráfica ressalta a observação de que os custos para evitar emissões mostram vantagens significativas durante os períodos de maior produção nacional de etanol.

No contexto de uma empresa buscando realizar um investimento visando a transição completa de sua frota de automóveis para o abastecimento exclusivo de etanol, é importante considerar alguns desafios potenciais que poderiam afetar tal iniciativa. Um desses desafios reside na disponibilidade irregular de etanol em diferentes postos de abastecimento, o que poderia dificultar a obtenção do combustível em algumas regiões específicas. Ademais, deve-se levar em conta que veículos abastecidos com etanol tendem a percorrer uma distância menor em relação aos veículos que utilizam gasolina, o que poderia resultar em perda de tempo para os trabalhadores que precisariam abastecer seus veículos com maior frequência.

Diante disso, é crucial compreender que abastecer toda a frota com etanol não é viável financeiramente e também não é ecologicamente sustentável. Se todos os carros no Brasil

usassem apenas etanol, os problemas ambientais causados pela produção excessiva de etanol seriam mais impactantes, devido às consequências da intensificação do monocultivo de cana-de-açúcar, o que tornaria essa abordagem insustentável. Portanto, é importante além de buscar uma diversificação entre o consumo de etanol de cana-de-açúcar e etanol produzido a partir de outras matérias-primas, a transição para veículos elétricos, visando uma solução mais equilibrada e sustentável.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

No decorrer deste estudo, foram realizadas análises detalhadas relacionadas à produção de etanol no Brasil e ao impacto ambiental e econômico do seu consumo como combustível. A análise dos dados de produção de etanol evidenciou uma variação entre as regiões do país, com as regiões Centro-Oeste e Sudeste, especialmente São Paulo, emergindo como as principais produtoras de etanol, impulsionadas pela safra de cana-de-açúcar como matéria-prima predominante. Além disso, a concentração da frota nacional de automóveis na região Sudeste justificou a maior demanda por combustíveis nessa localidade e, conseqüentemente, a relevância estratégica da produção de etanol nessas áreas e em regiões próximas, como o Centro-Oeste.

A partir da análise do impacto do consumo de etanol por uma empresa metalmeccânica, por meio de diferentes metodologias, foi possível identificar oportunidades para a adoção eficiente do etanol como combustível, reduzindo emissões de gases de efeito estufa. A análise mensal indicou que as regiões Centro-Oeste e Sudeste apresentam um cenário mais favorável para o abastecimento de etanol, especialmente durante os meses de alta produção de etanol. No entanto, a seleção das metodologias de análise influenciou a interpretação dos resultados, destacando a importância de uma abordagem precisa e contextualizada para a tomada de decisões.

Comparando as metodologias, ficou claro que a escolha da abordagem adequada pode impactar significativamente os custos e os resultados ambientais. A análise sazonal, que considerou a variação de custos ao longo dos meses, mostrou-se a mais eficaz, permitindo à empresa adotar o etanol na maior proporção de seu abastecimento com custos reduzidos, em que ela pode alcançar uma adoção de até 46% do total do volume de abastecimento nacional utilizando etanol, sem incorrer em custos adicionais. Contudo, é essencial reconhecer as limitações, como a disponibilidade irregular de etanol e a necessidade de abastecimentos mais frequentes, antes de promover uma transição completa para o etanol.

Por fim, a análise revelou que a transição completa para o etanol como única solução não é viável, nem financeiramente nem ecologicamente. A diversificação de matérias primas de produção de etanol e a consideração de alternativas, como veículos elétricos, são fundamentais para alcançar uma abordagem mais equilibrada e sustentável. A compreensão das complexidades regionais, sazonalidade e fatores ambientais é essencial para orientar as estratégias de adoção de etanol e promover uma frota mais sustentável.

Com base nas conclusões e resultados do estudo, várias oportunidades de pesquisa futura podem ser exploradas para ampliar o entendimento sobre a produção e consumo de etanol, bem como suas implicações ambientais e econômicas. Sugestões incluem a expansão da Análise de Ciclo de Vida para abranger impactos além das emissões de gases de efeito estufa, a investigação de matérias-primas alternativas para a produção de etanol, a integração com energias renováveis, a otimização de estratégias de abastecimento, a avaliação dos impactos socioeconômicos da produção de etanol e a exploração de novas tecnologias de conversão.

Além disso, investigar o desempenho e os impactos ambientais de veículos elétricos híbridos e elétricos em comparação com veículos convencionais a etanol contribuirá para uma avaliação completa das opções de transporte sustentável. Essas áreas de pesquisa podem

contribuir para um entendimento mais abrangente e informado do papel do etanol no cenário energético nacional.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. S. DE; SANTOS, Y. R. **Gás de efeito estufa (GEE): causas ambientais e mercado de créditos de carbono**. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/35268>>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/site/wp-content/uploads/2023/04/ANUARIO-ANFAVEA-2023.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- ANP. **Painel Dinâmico de Produtores de Etanol**. 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-etanol>>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- CANISARES, L. P. **Estoque de carbono e nutrientes no solo em áreas sob intensificação de pastagem e expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo**. Dissertação—Piracicaba: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2022.
- CASAI, L. K. N.; VASCONCELOS, E. DOS S.; MEDEIROS, E. V. DE; et al. The role of microorganisms in mineral transformation, characterized by spectroscopic methods: a review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e80111335241, 28 set. 2022.
- FIGUEIREDO, E. F. DE. **CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DA CORRELAÇÃO ENTRE DADOS SIMULADOS E REAIS DE AUTONOMIA DE UM VEÍCULO FLEX FUEL**. Dissertação—Belo Horizonte : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, ago. 2019.
- FONSECA, M. A. **EVOLUÇÃO DO PREÇO DA GASOLINA NO BRASIL**. Trabalho de conclusão de curso—Recife: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, 2023.
- FRUTUOSO, F. DA S. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE EMISSÕES DE VEÍCULOS FLEX EM VIAS URBANAS DO TIPO BRT NA CIDADE DE FORTALEZA**. DISSERTAÇÃO—[s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ, 26 fev. 2019.
- GAUTO, M. A.; CARAZZOLLE, M. F.; RODRIGUES, M. E. P.; et al. Hybrid vigor: Why hybrids with sustainable biofuels are better than pure electric vehicles. **Energy for Sustainable Development**, v. 76, p. 101261, 1 out. 2023.
- GORREN, R. C. R. **BIOCOMBUSTÍVEIS - ASPECTOS SOCIAIS, E ECONÔMICOS: COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL, ESTADOS UNIDOS E ALEMANHA**. São Paulo: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2009.
- INAGAKI, M. T. B. **A INFLUÊNCIA DO AUMENTO DO PERCENTUAL DO ETANOL À GASOLINA NAS CARACTERÍSTICAS DO COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO**. DISSERTAÇÃO—Natal: Universidade Potiguar, 9 dez. 2016.

- IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Mobile Combustion**. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- IPCC. **Understanding and Attributing Climate Change**. 2007.
- IPCC. **Fifth Assessment Report: Climate Change**. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- JÚNIOR, F. L. D. C. **ANÁLISE COMPUTACIONAL DE EMISSÃO DE POLUENTES EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA USANDO DIFERENTES MISTURAS ENTRE ETANOL E GASOLINA**. Trabalho de conclusão de curso—UBERLÂNDIA: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2018.
- JUNIOR, W. G. O Envolvimento de Fornecedores no Desenvolvimento da Tecnologia Flex Fuel nas Montadoras Brasileiras. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 87–105, 25 maio 2011.
- KOZLOSKI, C. L. **EMISSÃO DE CO₂ DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL: ESTIMATIVAS NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES**. Dissertação—Santa Maria: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 14 dez. 2020.
- LAVRADOR, R. B.; TELES, B. A. DE S. Life cycle assessment of battery electric vehicles and internal combustion vehicles using sugarcane ethanol in Brazil: A critical review. **Cleaner Energy Systems**, v. 2, p. 100008, 1 jul. 2022.
- LEMOS, C. F.; OLIVEIRA, J. F. DE; AMARAL, N. A. DO; et al. **O BALANÇO DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇUCAR**. 1. ed. Belo Horizonte: [s.n.].
- LUCON, O. **Mudanças Climáticas: Roteiro de Estudos**. Disponível em: <<https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/download/854/768/2816?inline=1>>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- MAIA, M. R. DOS S. G. **O ENSINO DE FÍSICA NO CONTEXTO DAS QUESTÕES AMBIENTAIS: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA A SALA DE AULA**. Monografia—Santa Cruz: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE, 2021.
- MALAQUIAS, A. C. T. **Concepção de um sistema de combustão baseado na autoignição controlada do etanol em um motor monocilíndrico de pesquisa**. Tese—Belo Horizonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 19 maio 2023.
- MARTINELLI, F. S. **A PALMA DE DENDÊ E O USO DA TERRA NA AMAZÔNIA: IMPACTOS E OPORTUNIDADES PARA CONSERVAÇÃO**. Dissertação—RIO DE JANEIRO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, 2014.

MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. DA C. Uma revisão crítica sobre cidades e mudança climática: vinho velho em garrafa nova ou um novo paradigma de ação para a governança local? **Revista de Administração Pública**, v. 45, 2011.

MARTINS, T. S. **Potencial Técnico para o Uso de Plásticos na Agricultura 4.0 e em Eco Parques Agroindustriais (EPA)**. Trabalho de Conclusão de Curso—CAMPINAS: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, fev. 2023.

MATEUS, J. C. D. **UMA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE CENÁRIOS PARA A INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS DE VEÍCULOS DE PASSAGEIROS E COMERCIAIS LEVES MOVIDOS POR MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA NO BRASIL: POTENCIAIS CENÁRIOS PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA FRENTE À POSSÍVEL ADOÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS**. Dissertação—SÃO PAULO: FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 30 set. 2021.

MATOS, L. F. DA C.; SANTOS, D. R. DOS. Fatores determinantes para consumo de gasolina no estado de São Paulo: o estudo da elasticidade preço da gasolina. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 13, n. 4, p. 2337–2352, 30 dez. 2022.

MELO, L. DA C. **A COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS DA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA POTENCIAIS SUBFORNECEDORAS DA REFINARIA ABREU E LIMA EM PERNAMBUCO**. Dissertação—Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 20 dez. 2011.

MMA. **INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS**. 2014. Disponível em: <<https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/2014-05-27inventario2013.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

MONTEIRO, M. G. DE B. **A contribuição da detecção remota para avaliar o sequestro de carbono em ecossistemas florestais: uma revisão**. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/130596/2/432483.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

NOBRE, C. A.; REID, J.; SOARES VEIGA, A. P. **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. [s.l.: s.n.].

OLIVEIRA, Y. P. L. O. Desafios do Mercado de Carbono após o Acordo de Paris: Uma revisão. 28 fev. 2022.

PAULO, A. A. DE. **Análise das emissões de gases e consumo específico de um grupo motorizador abastecido com misturas diesel, biodiesel e etanol**. Dissertação—Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, mar. 2019.

PINEDA, A. M. R.; AMORIM, T. M. A. X. DE; VILLARREAL, V. I. H.; et al. Da produção aos impactos na saúde e no ambiente: uma análise dos sistemas alimentares de Brasil, Colômbia e Panamá. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, 2023.

POYER, F. R.; SILVEIRA, C. S. DA; COSTA, C. L.; et al. **Crédito de Carbono: Panorama das Publicações no Brasil para os Últimos Dez Anos (2009 a 2019)**. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218625/001122710.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

QUEIROZ, A. M. DE; PAULA, E. R. DE; VIEIRA, E. R.; et al. **VANTAGENS COMPARATIVAS NO MERCADO INTERNACIONAL DE ETANOL DO BRASIL E DOS ESTADOS UNIDOS NO PERÍODO DE 2000 A 2014**. Em: **Open Science Research**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2022. v. 1p. 2353–2371.

SCHVAMBACH, A. **EFEITO DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**. Dissertação—Florianópolis: INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA, 6 out. 2022.

SERPA, E. C. A.; RANGEL, Y. P.; OLIVEIRA, B. F. DE; et al. **AValiação DA PERFORMANCE DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA DO CICLO OTTO UTILIZANDO GASOLINA E UMA MISTURA GASOLINA - ETANOL**. **Perspectivas Online: Exatas& Engenharia**, v. 9, n. 26, p. 1–21, dez. 2019.

SILVA, F. B.; HUNT, J. D.; ROMERO, O. J. (2022). **ANÁLISE MULTICRITÉRIOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA VEÍCULOS LEVES NO BRASIL**. **Rio Oil & Gas Expo and Conference**, 2022.

SILVA, M. C. DOS S. S. **Avaliação da Capacidade de Produção de Etanol de Segunda Geração a Partir da Variedade de Palma Nopalea Cochenilifera**. DISSERTAÇÃO—Maceió: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, 26 maio 2015.

SOUZA, D. R. C. DE. **Crise da economia sucroalcooleira de Alagoas: suas causas, novos fatores e reorganização do espaço no início do século XXI**. Dissertação—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 5 abr. 2021.

TOMAZINI, M. V. A. **O USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO**. Trabalho de Conclusão de Curso—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, jan. 2023.

VALENÇA, G. O.; FILHO, P. B.; SILVA, D. D. C. E; et al. **O papel dos micro-organismos na transformação de minerais, caracterizada por métodos espectroscópicos: uma revisão**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/247015/artigo%209%20124-136.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

VECCHIA, F. A. DA S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. DE F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. Disponível em: <https://sites.usp.br/climatologia/wp-content/uploads/sites/267/2020/07/CLIMATOLOGIA-DIN%3%82MICA_Conceitos-T%3%A9cnicas-e-Aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

VIANNA, J. N.; DUARTE, L.; EVA, M.; et al. **O PAPEL DO ETANOL NA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES NO MEIO URBANO**. 1 jan. 2009

VIDAL, F. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste-ETENE 2. **Caderno Setorial ETENE**, v. 121, p. 1–10, 2020.