



Estratégia de Descarbonização da Rota de Transporte Inbound: Uma Análise na Indústria de Cosméticos

Maiara Soares Costa de Oliveira

Monografia em Engenharia Química

Orientadora

Profa. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

Dezembro de 2022

ESTRATÉGIA DE DESCARBONIZAÇÃO DA ROTA DE TRANSPORTE INBOUND: UMA ANÁLISE NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Maiara Soares Costa de Oliveira

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira Química.

Aprovado por:

Bettina Susanne Hoffmann, D. Sc.

Ronaldo Goulart Bicalho, D. Sc..

Orientado por:

Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Dezembro de 2022

Soares, Maiara C. de Oliveira.

Estratégia de descarbonização da rota de transporte Inbound: uma análise na indústria de cosméticos/ Maiara Soares Costa de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022. x, 53 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022.

Orientadora: Clarice Campelo de Melo Ferraz

1. Descarbonização. 2. Transportes. 3. CO₂ eq. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ).
5. Clarice Campelo de Melo Ferraz. I. Título

Dedico este trabalho com todo carinho e admiração aos meus pais, Maria da Conceição e Ascendino, a minha irmã, Marcelle e a todos os professores que fazem da educação uma ferramenta de mudança.

“Meta é ganhar o oceano, não se apaixonar em anzol.”

– Sant

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família por todo apoio, amor e esforços realizados para que eu tivesse uma criação exemplar e pudesse me tornar a pessoa que eu sou hoje. Agradeço especialmente à minha mãe, Maria da Conceição, por sempre me mostrar que o caminho da educação é o que deve ser seguido e por me acalmar nos momentos de estresse. Ao meu pai, Ascendino, por me ensinar através do exemplo que devo fazer o meu melhor sempre, não importa a ocasião. À minha irmã, Marcelle, por ser minha melhor amiga e acreditar tanto no meu potencial e à minha tia, Georgina, por ter incentivado o meu amor pela ciência. Eu amo vocês e sempre sei que não estou sozinha. Agradeço à minha namorada, Vitória, por todo amor, apoio e paciência, estando do meu lado e me ajudando a superar os momentos de descrença e dificuldades. Agradeço também aos meus amigos por me motivarem e sonharem meus sonhos comigo. A jornada seria muito sem graça sem a presença de vocês.

A todos os meus queridos amigos que fiz na UFRJ, saibam que cada um de vocês foi essencial para que eu superasse meus momentos de dificuldade e conseguisse finalizar essa etapa.

À minha orientadora, professora Clarice, agradeço a paciência, apoio, troca de ideias e direcionamentos. Somente assim esse trabalho pôde ser concluído.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Química

ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO DA ROTA DE TRANSPORTE INBOUND: UMA ANÁLISE NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Maiara Soares Costa de Oliveira

Dezembro, 2022

Orientadora: Profa. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

As mudanças climáticas evidenciam cada vez mais que as opções tradicionais de matriz energética devem ser repensadas, tais mudanças são consequências do modelo atual de produção das indústrias e do consumo acelerado da população. Para que essa alta demanda seja atendida é necessário o envolvimento da cadeia logística em todo o processo. Diversos países vêm olhando mais atentamente para soluções alternativas que promovam a descarbonização das atividades econômicas. No Brasil, 12% das emissões totais de CO₂ tem como responsável o setor de transportes, em um cenário em que o transporte de carga é predominantemente realizado pelo modal rodoviário, que por sua vez utiliza majoritariamente combustíveis fósseis, denotando elevado potencial de poluição. Devido a importância das emissões relacionadas ao transporte, este trabalho tem por objetivo central analisar alternativas de como promover a descarbonização da área de Transporte Inbound, no âmbito nacional, de uma grande empresa de cosméticos. Propõe-se, assim, entender a competitividade de dois biocombustíveis, o biometano e o etanol, perante o combustível usado atualmente na empresa analisada, o GNV. Os resultados demonstram que a substituição da matriz atual por biocombustíveis é positiva no âmbito de redução de emissões, mas oferecem restrições que impedem um atendimento da demanda reprimida. Para contornar tal situação, são necessários mais investimentos e incentivos, como tributários, para que haja a descarbonização da frota de transportes de carga no Brasil.

ÍNDICE

1	Introdução	11
1.1	Contexto.....	11
1.2	Objetivos e Metodologia.....	12
2	Conceitos de Bioeconomia	13
3	A cadeia logística.....	15
3.1	Transporte Inbound.....	15
3.2	Rota vs. Disponibilidade de combustível.....	16
4	Análise dos Combustíveis Selecionados	17
4.1	Regulação dos Combustíveis Analisados	17
4.2	Biometano.....	17
4.3	Etanol.....	22
4.4	Mercado Global e Nacional dos Combustíveis Analisados	25
4.4.1	Biometano	26
4.4.2	Etanol	31
5	Comparação entre os combustíveis.....	35
5.1	Potencial de Distância a Ser Percorrido Energeticamente.....	35
5.2	Emissões de CO ₂ Equivalente	36
5.3	Combustíveis Renováveis.....	37
5.4	Rendimento, Emissões e Preço	37
5.5	Maior Rendimento Energético.....	38
5.6	Emissões de CO ₂ Equivalente a Serem Evitadas	38

6	Resultados e Discussão	39
6.1	Combinação de Emissão e Energia.....	39
6.2	Preço.....	40
6.3	Comparativo Entre os Combustíveis.....	42
7	Conclusão	43
	Referência Bibliográfica	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1:Exemplificação simplificada do fluxo realizado pelo Inbound Nacional (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).	15
Figura 4.1: Processo de Produção de biometano (IEA, 2022)	19
Figura 4.2: Número de plantas de biometano por Estado (BIOGASMAP, 2021).	21
Figura 4.3:Produção industrial de etanol (CBIE, 2020).	24
Figura 4.4: Consumo do biogás mundial de acordo com o uso final (IEA, 2018).	26
Figura 4.5: Produção de biometano (em Mtep) e share do total de biogás produzido purificado por região em 2018 (IEA, 2018).	27
Figura 4.6: Novas plantas de biometano mapeadas no Brasil (EPBR, 2022).	30
Figura 4.7: Evolução do preço médio do GNV no Brasil (ANP, 2022).	31
Figura 4.8: Clientes consumidores do etanol oriundo dos Estados Unidos em 2021 (TRADE MAP, 2022).	32
Figura 4.9:Participação percentual do etanol de milho na produção total de etanol nos principais estados produtores de etanol de milho (VIDAL, 2020).	33
Figura 4.10: Análise do potencial de exportação do etanol. (EXPORT POTENCIAL MAP, 2022).	34
Figura 4.11: Evolução do preço médio do etanol hidratado no Brasil (ANP, 2022).	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1: Levantamento de algumas especificações do biometano (ANP, 2020).	18
Tabela 4.2: Plantas de biogás que produzem biometano como aplicação principal desde 2018 (CIBIOGÁS, 2021).....	21
Tabela 4.3: Levantamento de algumas especificações do EHC (ANP, 2021).....	23
Tabela 4.4: Projetos de produção de biometano operando por ano nos Estados Unidos (EPA, 2022).....	28
Tabela 4.5: Classificação do porte das plantas de biogás no Brasil (CIBIOGÁS, 2022).	30
Tabela 4.6: Produção brasileira de etanol hidratado (VIDAL, 2021).	34
Tabela 5.1: Propriedades dos combustíveis GNV, etanol hidratado (ANP, 2020) e biometano (MADHUSUDHANAN et al., 2020).	36
Tabela 5.2: Fator de Emissão rodoviária dos combustíveis (IPCC, 2006).	37
Tabela 5.3: Energia por volume dos combustíveis selecionados.....	38
Tabela 5.4: Emissões de Kg CO ₂ eq rodoviárias por volume.....	39
Tabela 6.1: Equivalência energética entre os combustíveis.....	39
Tabela 6.2: Emissões de Kg CO ₂ eq geradas no transporte rodoviário.	40
Tabela 6.3: Quilômetro percorrido por unidade de volume.	41
Tabela 6.4: Preço médio por quilômetro rodado gasto por combustível (ANP, 2022).....	41
Tabela 6.5: Matriz de decisão dos combustíveis.....	42

1 Introdução

1.1 Contexto

O estilo de vida da sociedade tem contribuído cada vez mais com o agravamento das mudanças climáticas no mundo. A alta demanda de produtos e serviços envolve complexas cadeias logísticas em todo o processo, que produzem alto nível de emissões atrelado a cadeia de valor. No cenário vigente, as emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE) continuam crescendo e colaborando com a aceleração dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Caso o ritmo de consumo e produção continuem aumentando, estima-se que entre 2030 e 2052 o aquecimento global atinja mais que 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2018).

Em busca de uma solução global, a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou uma série de acordos internacionais, ratificados por seus países membros, em torno de objetivos relacionados à sustentabilidade. Em dezembro de 2015, foi ratificado o que ficou conhecido como o Acordo de Paris. O Acordo propôs que os governos ajam de maneira ativa para controlar as emissões de GEE, limitando o aumento do aquecimento global a 1,5°C (MCTIC, 2021).

Neste contexto, é importante que se atue sobre as emissões relacionadas ao setor de transporte. Estas correspondem à 23% das emissões totais de CO₂ no mundo (SIMÃO *et al.*, 2022) e a cerca de 12% das emissões totais de CO₂ no Brasil (SEEG, 2021). O setor de transporte rodoviário se destaca, pois possui a maior participação na movimentação de cargas nacional, cerca de 63% (SIMÃO *et al.*, 2022). A descarbonização do transporte representa um desafio para empresas cujas cadeias logísticas envolvem o transporte rodoviário.

Atualmente, na indústria de cosméticos de larga escala, para fazer com que os produtos cheguem ao consumidor final, há uma forte movimentação da cadeia logística. Esta, envolve a cadeia de transportes, que faz o uso majoritário de combustíveis fósseis, contribuindo para o aumento das emissões de GEE (WWF, 2020).

O Brasil é o 3º maior país no mercado de cosméticos (SEBRAE, 2022). De acordo com o “Caderno de Tendências #2019-2020” elaborado pela ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos) e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) cresce o número de consumidores que se preocupam com o meio ambiente, os “bioconsumidores”.

Diante dos compromissos de responsabilidade ambiental e da mudança do perfil de seus consumidores, algumas empresas têm se empenhado em reduzir os impactos ambientais negativos de suas cadeias de valor. Uma alternativa importante para suprirem essa nova tendência do mercado surge com o desenvolvimento de ações em bioeconomia, que “pode ser definida como uma economia sustentável que reúne todos os setores da economia que utilizam recursos biológicos ou seres vivos” (PURQUERIO *et al*, 2018, p. 6). Essas ações englobam a escolha de matéria-prima utilizada no produto, o tipo de embalagem que o produto estará, assim como o trajeto da fabricação do produto até a chegada ao consumidor.

Desse modo, há uma grande importância no desenho logístico, no tipo de frota a ser considerada e, principalmente, nos combustíveis a serem utilizados.

1.2 Objetivos e Metodologia

O objetivo deste trabalho é analisar as alternativas para a descarbonização da área de Transporte Inbound, no âmbito nacional, de uma grande empresa de cosméticos. Para isso, foi realizado um estudo de caso comparando 2 alternativas de biocombustíveis que promovem a descarbonização dessa atividade e suas respectivas viabilidades técnico-econômica.

Com isso, teremos as seguintes etapas:

- Comparação do potencial de descarbonização entre os biocombustíveis biometano e etanol com o GNV, combustível que é utilizado na gestão atual. Entendendo a efetividade das emissões evitadas de gases do efeito estufa de uma possível substituição do combustível fóssil.
- Comparação da viabilidade técnico-econômica entre os biocombustíveis biometano e etanol com o GNV, combustível que é utilizado na gestão

atual. Para o entendimento da disponibilidade da substituição da matriz energética fóssil para a renovável.

A metodologia adotada no desenvolvimento desse trabalho foi o estudo de caso junto com a busca na literatura através da pesquisa bibliográfica. Foi realizada uma análise exploratória em relação ao comportamento da empresa analisada e seu posicionamento em relação a cadeia logística no mercado.

A análise exploratória foi utilizada com o objetivo de, através das informações iniciais coletadas sobre a empresa analisada, entender o contexto e construir hipóteses futuras (GIL, 2022).

A empresa analisada foi escolhida em relação a sua grande representatividade no mercado, tendo o poder de influenciar não só outras empresas do mesmo setor como demais empresas de setores variados.

2 Conceitos de Bioeconomia

A bioeconomia é um conceito composto pela combinação de pelo menos 3 itens: inovação, recursos biológicos e sustentabilidade (CGEE, 2020). Ela possui como objetivo propor soluções para a sustentabilidade da indústria e áreas correlatas no âmbito das ciências biológicas. A transformação através da bioeconomia será obtida com a substituição de recursos fósseis e não renováveis por renováveis (CNI, 2013).

Para se conseguir avançar no desenvolvimento de ações abarcadas em bioeconomia, é necessário ter um respaldo científico e tecnológico. Se pautar em estudos para entendimento de melhores práticas em busca de se adequar aos desafios atuais de uma utilização otimizada dos recursos naturais, fornecendo um equilibrado modelo de produção e consumo (CGEE, 2020).

O Brasil é um país que abrange uma das maiores diversidades no mundo, o que contribui para a possibilidade de escalar o avanço em pautas de biodiversidade. Comparado a outras potências mundiais, essa característica aliada a tecnologia influi positivamente para um cenário de desenvolvimento de maneira sustentada (CNI, 2020).

Além do desenvolvimento sustentável, do estímulo ao avanço tecnológico, outro benefício gerado pela bioeconomia é a possibilidade da construção de um cenário de

economia de baixo carbono, ou seja, menores níveis de emissões de gases do efeito estufa. Esse fator pode ser explorado tanto no âmbito da produção quanto no âmbito logístico, mais precisamente no de transportes, pensando em um meio mais inteligente e moderno (CNI, 2020).

O Brasil é um país tecnologicamente atrasado, de industrialização tardia e, conseqüentemente menos desenvolvida e consolidada em relações as potências mundiais. De certa maneira, isto pode ser um ponto positivo na ótica da introdução da bioeconomia, pois ela é um modelo de transição que visa a ruptura entre o antigo e o novo modo de organizar a indústria, de forma mais sustentável e menos abrupta (PEREZ, 2010).

Em questões legais e regulatórias, o setor de bioeconomia precisa ainda ser bastante desenvolvido no país, porém o marco inicial e importante para um futuro ambicioso, promissor e bem desenvolvido no setor no território nacional já foi promulgado. A aprovação da Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, conhecida também como a Lei da Biodiversidade. Essa lei regula o acesso ao patrimônio genético do país, ajudando a combater a biopirataria (EMBRAPA, 2015).

Outro ponto importante para a pavimentação de ações efetivas na bioeconomia é o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação lançado em 2016 através da Lei nº 13.243 e regulamentado pelo Decreto nº 9.283/2018 (SEBRAE, 2018). Assim, para Assumpção (2021), uma das melhorias alcançadas com a promulgação do Marco Legal de CT&I é o avanço em relação a diminuição do gap entre instituições públicas de ciência e tecnologia e o setor privado.

A construção de um ambiente regulatório deve contar com leis direcionadas para o estímulo de atividades respaldas pela bioeconomia para facilitar a inserção do modelo no desenvolvimento econômico e social do país. De acordo com estudo publicado pelo CGEE (2020), autoridades públicas devem preencher o papel de assumir os riscos iniciais e ditar pelo exemplo o ingresso no novo ciclo inovativo.

Para a empresa analisada neste trabalho, a bioeconomia no setor de transportes será obtida através de um plano de logística verde, trilhando um caminho para alcançar um transporte mais sustentável. Tal caminho será obtido através do uso de combustíveis

renováveis e parcerias em projetos inovadores e sustentáveis com as suas transportadoras e fornecedores.

3 A cadeia logística

3.1 Transporte Inbound

O Transporte Inbound é o setor de transportes responsável por carregar os produtos produzidos pela fábrica, e por terceiros, até o centro de distribuição (CD).

O setor de Transporte Inbound da empresa analisada pode ser dividido em 2 categorias: Inbound Nacional, escopo deste trabalho, e Inbound Internacional. O Inbound Nacional tem o Brasil como origem e o Inbound Internacional tem países do exterior como origem.

O Inbound Nacional é responsável pelo trecho entre a fábrica e o CD, ambos localizados no estado de São Paulo. Assim, tem-se uma distância fixa de aproximadamente 70 Km a ser percorrida com o modal rodoviário sendo o único a ser utilizado.

O Inbound Nacional realiza em média 300 viagens por mês, carregando em média 21 Ton por viagem com uma frota rodoviária dedicada à operação. Os caminhões utilizados possuem contrato de aluguel mensal para atuarem na operação, sendo veículos terceirizados que dispõem de contrato de aluguel com a empresa. Esses veículos são a gás, com a possibilidade de abastecimento a GNV ou a biometano.

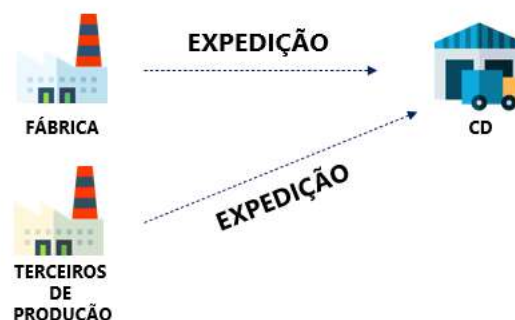


Figura 3.1: Exemplificação simplificada do fluxo realizado pelo Inbound Nacional (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

3.2 Rota vs. Disponibilidade de combustível

Para o entendimento da viabilidade do uso do combustível adequado, é preciso mapear os postos de abastecimentos disponíveis na rota a ser feita, além da disponibilidade dos combustíveis existentes.

Antes da mudança do centro de distribuição para Jundiaí, a empresa possuía seu centro de distribuição localizado no estado do Rio de Janeiro. Com isso, a rota do Inbound Nacional contemplava a rota Rio de Janeiro - São Paulo. Dessa forma, a empresa analisada tinha uma maior disponibilidade de postos de abastecimento homologados, inclusive possuía a disponibilidade de biometano.

O perfil da frota da empresa analisada era composto por um mix de veículos dedicados a gás (GNV e biometano) e veículos *spot* a diesel. Essa configuração era um reflexo da distância entre a fábrica e o centro de distribuição, que demandava uma alta produtividade dos veículos utilizados.

Atualmente, com a mudança da localização do CD e, com isso, a rota realizando o trajeto somente no estado de São Paulo, tem-se o perfil de uma frota de 100% de veículos dedicados a gás. Porém, com o encurtamento da distância entre a fábrica e o centro de distribuição diminuiu-se a disponibilidade de postos de abastecimento presente na nova rota do Inbound Nacional. Nela existem oficialmente 3 postos de abastecimento homologados com parada permitida, 1 na cidade de São Paulo, 1 na cidade de Jundiaí e 1 na cidade de Itatiba. No entanto, nenhum possui disponibilidade de biometano como combustível. Desse modo, neste novo cenário tem-se o GNV como combustível padrão e o único sendo usado no momento, com disponibilidade na rota atual. Tal limitação é uma barreira à meta da empresa que almeja que futuramente todos os veículos dedicados da rota do Inbound Nacional sejam abastecidos com biometano.

Assim, a empresa está buscando novas soluções para mitigar a demanda reprimida de biometano sofrida atualmente. Uma delas, envolve um projeto de disponibilidade do combustível biometano na fábrica da empresa analisada, localizada em São Paulo. A ideia desse projeto é ter a fábrica como responsável pelo fornecimento de biometano para a frota dedicada de caminhões a gás do Inbound Nacional.

4 Análise dos Combustíveis Selecionados

4.1 Regulação dos Combustíveis Analisados

A ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, é o órgão do governo federal responsável por regular, contratar e fiscalizar as atividades econômicas relacionadas ao petróleo, gás natural e biocombustíveis no Brasil. Este órgão tem o compromisso de proteger os interesses dos consumidores em relação a oferta de produtos, qualidade e preço (ANP, 2022).

Mesmo estando vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), órgão do governo federal responsável pelas políticas energéticas e de mineração do país, a ANP atua de maneira autônoma. Possuindo atuação em toda cadeia, desde o momento de extração/produção até o posto de gasolina para a venda ao cliente final (ANP, 2022).

É de responsabilidade da ANP estabelecer as normas para o funcionamento da indústria. Também está dentro do seu escopo conceder autorizações, promover licitações e assinar contratos em nome da União para as atividades dos setores regulados. E por fim, fiscalizar para que as normas sejam cumpridas (ANP, 2022).

4.2 Biometano

O biometano é um biocombustível renovável, gasoso, de fórmula molecular CH_4 e derivado da purificação do biogás, tendo a biomassa como origem. Possui alto teor de metano em sua composição, tornando-se um substituto natural ao gás natural em todas suas aplicações. O biometano pode ainda ser transportado na forma de gás liquefeito, denominado biometano liquefeito – Bio-GNL (ANP, 2020).

No Brasil, o biometano é regulamentado por 2 resoluções (ANP, 2022): Resolução ANP nº 685/2017, voltada para a regulação da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto (ETE). Esta resolução é destinada ao biometano no qual a aplicação final esteja destinada ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais em todo o território nacional. Já a Resolução ANP nº 8/2015 trata o controle do biometano oriundo de

produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais nacionais (ANP 2022). Porém, com a promulgação da Resolução ANP nº 685/2017, a tabela de especificações da Resolução ANP nº 8/2015 foi alterada para garantir a isonomia entre as leis (ANP, 2020).

Parâmetros	Unidade	Limite min.	Limite máx.
Metano	%mol	90,0	-
Oxigênio	%mol	-	0,8
CO ₂	%mol	-	3,0
CO ₂ + O ₂ + N ₂	%mol	-	10,0
Enxofre Total	mg/m ³	-	70,0
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	mg/m ³	-	10,0
Ponto de orvalho de água a 1atm	°C	-	-45 a -39
Teor de siloxanos	mgSi/m ³	-	0,3
Clorados	mg (Cl/m ³)	-	5,0
Fluorados	mg (F/m ³)	-	5,0

Tabela 4.1: Levantamento de algumas especificações do biometano (ANP, 2020).

O objetivo das resoluções é garantir que as concentrações de compostos potencialmente corrosivos sejam mínimas, garantindo a segurança e integridade dos equipamentos. Dentre eles estão o sulfeto de hidrogênio, o dióxido de carbono e a água. É permitida a presença de componentes inertes (CO₂ + N₂) e não corrosivos (O₂) em quantidades mínimas. O parâmetro enxofre total é referente ao somatório dos compostos de enxofre presentes no biometano, contando com a parcela de odorização. O biometano deve apresentar teor mínimo de halogenados e siloxanos pois possuem alto potencial de danificar os motores dos veículos através da corrosão. Já o controle máximo de oxigênio é referente ao perigo de explosão (ANP, 2020).

Atualmente, existem 2 vias para a produção do biometano: por digestão anaeróbia com posterior purificação e por gaseificação de biomassa sólida seguida de metanação (IEA, 2020).

O processo de obtenção de biometano pela rota da digestão anaeróbia consiste na utilização de matéria orgânica de mais fácil digestão, como os resíduos orgânicos alimentícios e de ETE, no papel de matéria-prima. O processo ocorre na ausência de O₂, com a presença de bactérias anaeróbias como atores da biodigestão e, ao final, tem-se o biogás como produto. Este biogás atua como precursor para a produção do biometano,

passando por um processo de purificação onde são reduzidos o teor de CO₂, NH₃, H₂S e outros compostos. Assim, obtendo-se o biometano com a composição dentro dos limites impostos pela resolução que o regula (MONTEIRO, 2011).

O processo de obtenção de biometano por via da gaseificação de biomassa sólida seguida de metanação ocorre utilizando matéria-prima orgânica de mais complexa digestão. Primeiro, é realizada a gaseificação em temperaturas entre 700°C e 1000°C, processo de conversão termoquímica produzindo um gás de síntese com presença de CH₄, CO₂, CO e H₂. As impurezas são previamente removidas para que a próxima etapa do processo seja mais efetiva. Para o enriquecimento do gás de síntese e após remoção das impurezas é necessária uma etapa chamada de metanação, um processo catalítico em que o gás de síntese é convertido em metano levando-o a uma pureza de no mínimo 95% (CABRITA *et al*, 2015).

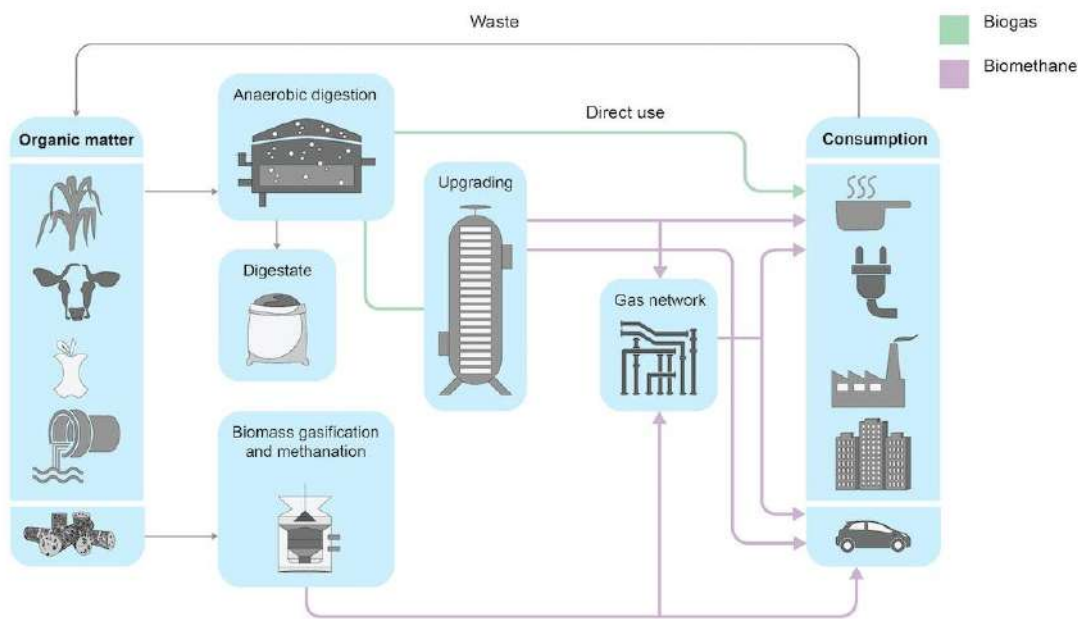


Figura 4.1: Processo de Produção de biometano (IEA, 2022)

O Brasil é um país com clima tropical e com temperatura com média anual elevada e praticamente constante. Assim, é um local propício para processos que envolvam biodigestão, favorecendo a exploração e popularização do biometano no território nacional. Essas características servem como um facilitador, pois não há a necessidade de grandes adaptações nos biodigestores para o seu aquecimento (MME, 2018).

Outra característica relevante é que a agropecuária é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas atualmente no Brasil, condição favorável para o aproveitamento da grande quantidade de resíduos orgânicos que são gerados nessa atividade. Transformando o valor agregado do resíduo em ativo energético e propiciando um desenvolvimento sustentável para o setor se manter competitivo em relação aos *players* do exterior (MME, 2018).

O gás natural possui boa capilaridade nas localidades próximas da costa marítima pela presença de gasodutos. Já o biometano tem grande potencial de produção no interior visto a predominância da agropecuária, podendo fornecer insumo para a produção até de forma integrada. Com isso, capturando carbono da produção agropecuária e gerando combustível no interior onde não há competitividade com o gás natural pela falta de infraestrutura da chegada dele. Assim, a demanda e a oferta estariam no mesmo local.

Além de interiorizar o gás natural, a utilização do biometano contribui com a diminuição da dependência externa de combustíveis importados, como o diesel, e incentiva o tratamento de resíduos melhorando a viabilidade econômica dos projetos de integração (MME, 2022). Porém tal potencial de produção de biometano ainda possui dificuldades em se converter em realidade devido ao baixo incentivo à tecnologia (MME, 2018).

No último levantamento do Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás), no ano de 2021, podendo ser observado na figura abaixo, foi constatado que no Brasil havia cerca de 13 plantas de biogás direcionadas para a produção de biometano como produto principal. Porém 2 plantas encontravam-se em estado de implementação e 1 em estado de reforma. O Sudeste é a região que possui maior participação, sendo responsável por 8 plantas de biometano (BIOGASMAP, 2021). Na tabela 4.2 é possível observar com mais detalhes a lista sobre algumas plantas de biometano no Brasil.

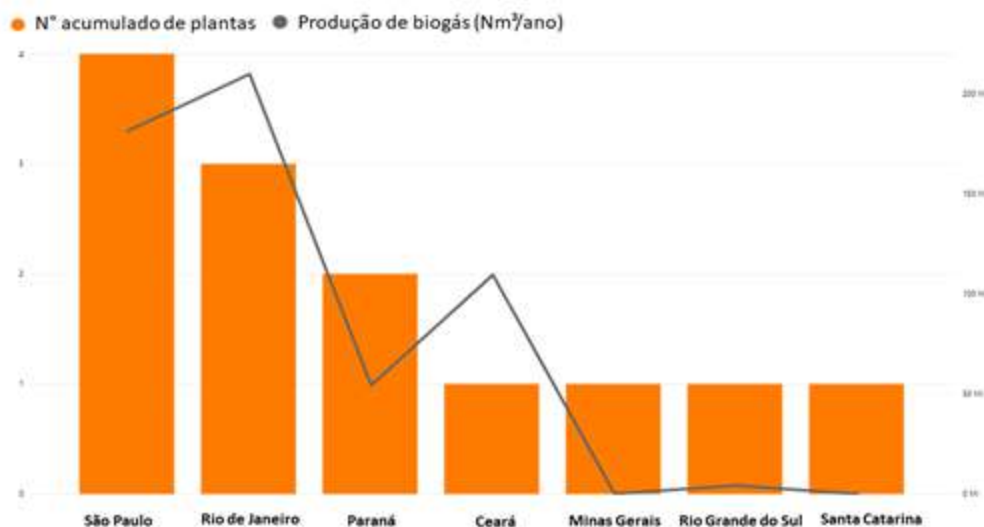


Figura 4.2: Número de plantas de biometano por Estado (BIOGASMAP, 2021).

Município	Estado	Fonte do substrato	Ano de início da operação
São Pedro da Aldeia	RJ	RSU	2015(2020)
Patos de Minas	MG	Agropecuária	2016
Foz do Iguaçu	PR	RSU	2017
Fortaleza	CE	RSU	2017
Seropédica	RJ	RSU	2018(2020)
Concórdia	SC	Agropecuária	2018
Franca	SP	ETE	2018
São Paulo	SP	RSU	2020

Tabela 4.2: Plantas de biogás que produzem biometano como aplicação principal desde 2018 (CIBIOGÁS, 2021).

De acordo com o BIOGASMAP, plataforma de mapeamento interativa construída pela CiBiogás, o RSU ou esgoto são as fontes de substrato com maior representatividade (81%). Após tem-se os resíduos industriais em segundo (18%) e agropecuária em terceiro com apenas 1% (BIOGASMAP, 2021).

Em 2022, com a chegada do Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano, mais conhecido como Metano Zero, a produção de biometano vem sendo cada vez mais incentivada no país (EBC, 2022). Estima-se que a produção nacional de

biometano atinja 2,2 Mi de m³/dia até 2027. Com isso, projetos que envolvam a produção do biometano terão incentivos fiscais, sendo isentos de impostos na aquisição de maquinário e materiais para a construção de usinas produtoras. Ainda consta no projeto a criação de pontos e corredores verdes para abastecimento de veículos pesados movidos a biometano (SNA, 2022).

A frota de caminhões utilizada pela empresa analisada não é própria, consistindo na modalidade de contratação de transportadoras terceiras para suprir a demanda logística de sua operação. Todos os caminhões são a gás e foram fabricados pela Scania, empresa global fabricante de caminhões pesados, de ônibus e de motores industriais, marítimos e geração de energia. Assim, visa-se no futuro uma transição simples para a utilização do biometano como combustível único sem a necessidade de adaptação veicular. Com isso, irá se constituir uma frota com 100% da quilometragem rodada com esse biocombustível.

4.3 Etanol

O etanol, também denominado álcool etílico, é um líquido claro com odor característico e altamente inflamável (CETESB, 2020). Possui C₂H₆O como fórmula molecular e é um biocombustível produzido através da fermentação do amido ou de outros açúcares de origem vegetal. Basicamente tem-se dois tipos de etanol: o anidro e o hidratado. O etanol anidro possui maior concentração de álcool e é direcionado para a indústria, servindo de matéria-prima para a produção de outros produtos e com maior parte do quantitativo sendo direcionado para o setor de combustível, com a finalidade de melhorar a característica da gasolina. Já o etanol hidratado é o que se encontra no posto de abastecimento, conhecido também como etanol hidratado combustível (EHC) (RAÍZEN, 2022).

A Resolução ANP n° 19/2015 é a responsável pelas especificações do controle de qualidade do etanol, com a atualização advinda da Resolução N° 864/2021. Através delas foram estabelecidos os parâmetros a serem analisados e, conseqüentemente, cumpridos, assim, recomendando as normas a serem utilizadas. Destacam-se o teor de metanol, acidez e pH e teor de água como os principais parâmetros de qualidade do etanol a serem exercidos (SEQUINEL, 2017).

Parâmetros	Unidade	Limite min.	Limite máx.
Teor de metanol	%volume	-	0,5
Acidez e pH	pH	6,0	8,0
Teor de água	%massa	-	7,5

Tabela 4.3: Levantamento de algumas especificações do EHC (ANP, 2021).

O teor de metanol deve ser mensurado, pois é tóxico e mais barato do que o etanol, conseqüentemente, menos taxado. A acidez por sua vez é devido a valores abaixo do limite mínimo provocarem corrosão em peças e acima do limite máximo contribuir com problemas nas partes plásticas. Já o teor de água é devido ao comprometimento da potência, pois reduz o poder energético (SEQUINEL, 2017).

O etanol pode ser produzido através de diferentes fontes de matérias-primas, sendo as principais a cana-de-açúcar, milho, aveia, arroz, cevada, trigo e sorgo. Através das diferentes fontes de geração, o etanol pode ser dividido em três grandes categorias: primeira geração, segunda geração e terceira geração. O de primeira geração é obtido através do caldo da cana-de-açúcar no Brasil, já o de segunda geração é produzido a partir da lignocelulose, presente em resíduos de origem vegetal e o de terceira geração é obtido através de microalgas (SILVA, 2019).

A produção de segunda geração e de terceira geração nascem através do desafio de evitar que haja limitação da oferta ou a competição pelo uso da terra para a geração de energia e produção de alimentos. A produção de segunda geração possui a vantagem de poder ser integrada a produção de primeira geração usando como matéria-prima o bagaço de cana-de-açúcar (PACHECO, 2011).

O etanol de primeira geração é o mais produzido atualmente, pela facilidade tecnológica já estabelecida para esse tipo de produção. O processo de produção em larga escala decorre da cana-de-açúcar sendo moída e transformada em melado e passado em uma peneira para separação da presença de possíveis resíduos sólidos como o bagaço. Após isso, ocorre o processo de sulfitação para inibir as reações de escurecimento do açúcar e auxiliar na clarificação do caldo através da produção do gás sulfuroso (SO₂). Depois, ocorre a etapa de calagem para corrigir a acidez do caldo,

neutralizando os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio e o manganês pela adição de teores adequados de cálcio e magnésio (CBIE, 2020). Logo após tem-se a etapa de clarificação através de um decantador. O caldo clarificado é levado para a etapa de fermentação, local que acontece a fermentação alcoólica através de microrganismos. Na maioria dos casos ocorre através de leveduras capazes de converter o caldo em etanol e gás carbônico pela quebra da sacarose originando o vinho fermentado (RAÍZEN, 2022).

O vinho fermentado possui cerca de 10% de etanol, então é necessário que seja conduzido para a etapa de destilação onde será aquecido até a evaporação e depois passará por uma etapa de condensação dando origem ao etanol hidratado com grau de álcool de cerca de 95%, usado como etanol hidratado combustível (EHC). Para a obtenção do etanol anidro é preciso que ocorra a etapa de desidratação (RAÍZEN, 2022).

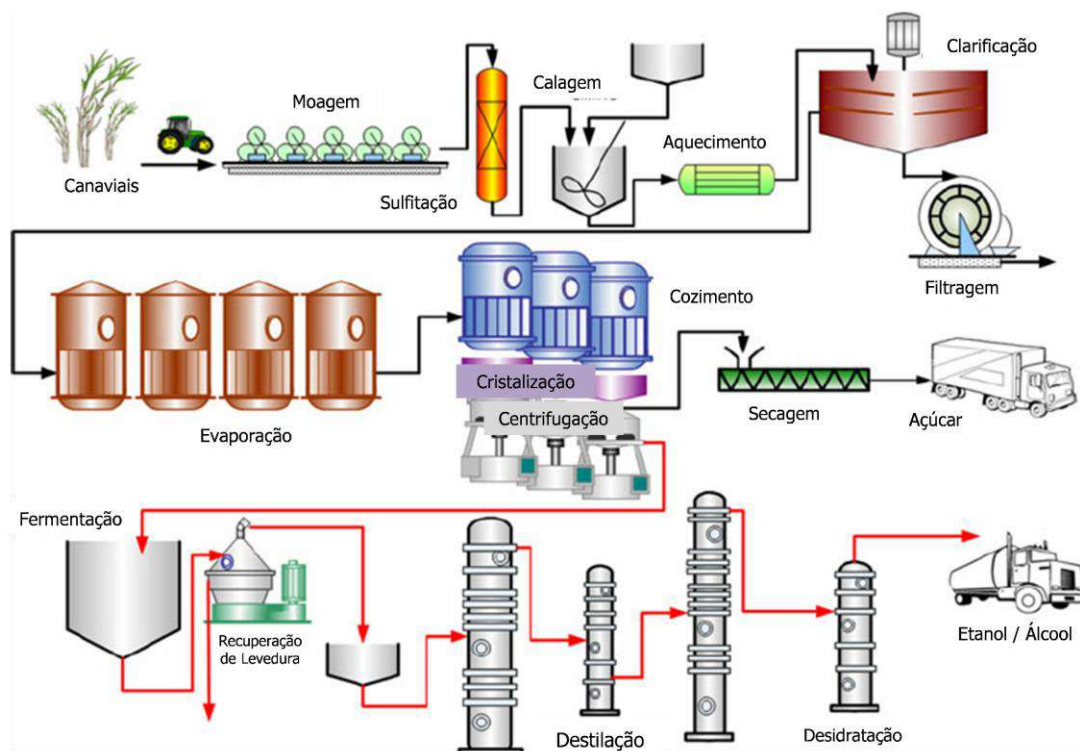


Figura 4.3: Produção industrial de etanol (CBIE, 2020).

A cana-de-açúcar é a matéria-prima mais usada no Brasil para a produção do etanol. Visto que a cana-de-açúcar é usada quase em sua totalidade para a produção de etanol de primeira e de segunda geração, aumentando a produção de etanol sem obrigatoriamente aumentar a área plantada no país (EMBRAPA, 2021).

A Scania foi a pioneira na fabricação e venda de caminhões a etanol no Brasil e na América Latina. Em 2016 ela vendeu 3 caminhões, chamados de “Ecotrucks”, para a fabricante de produtos químicos Clariant. Esses caminhões necessitam de um aditivo para que o motor, desenhado para consumir diesel, consuma o etanol hidratado, fazendo com que o motor tenha um bom desempenho. O aditivo é fabricado e comercializado pela própria Clariant no Brasil (CLARIANT, 2016).

Caso o etanol venha a ser uma opção viável de combustível, pensando no potencial de descarbonização e na viabilidade técnico-econômica, o perfil da frota da empresa analisada terá que ser mudado. No entanto, tal questão não seria um grande problema, visto que os caminhões pertencem à uma empresa terceirizada. Assim, a empresa analisada poderia usar seu poder de barganha para influenciar as transportadoras parceiras a adquirirem caminhões movidos a etanol. Um movimento de mudança parecido já ocorreu no passado em relação a troca de caminhões a diesel para caminhões a gás.

4.4 Mercado Global e Nacional dos Combustíveis Analisados

A seguir será explorado o contexto mercadológico dos combustíveis analisados através da ótica global e nacional. Serão contempladas a visão global com destaque dos principais países com expertise no combustível analisado, o panorama nacional recente e o panorama futuro em âmbito nacional.

As informações sobre o etanol foram obtidas através da busca na literatura, em notícias em veículos da mídia e através do uso da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM). Sendo 2207.10.90 o NCM referente ao etanol hidratado comum.

O biometano, por ser um combustível ainda pouco difundido e explorado no mundo, até o presente não se tem um código NCM exclusivo. Ele está presente na faixa 27.11 (“gás de petróleo e outros hidrocarbonetos gasosos”) com a especificação 29.90 (“outros”) 2711.29.90, com isso, sua análise por essa via fica impossibilitada já que o seu NCM abrange uma gama de gases. Assim, a busca por informações sobre o biometano foi guiada em relação à pesquisa na literatura e notícias em veículos da mídia.

4.4.1 Biometano

Em 2018, foi levantado pela Agência Internacional de Energia (AIE) que cerca de dois terços de todo o biogás produzido no mundo foram usados para geração de energia e calor. Como pode ser observado na figura abaixo, somente cerca de 9% do biogás produzido no mundo é transformado em biometano. Assim, um nicho ainda muito pequeno em relação ao potencial de ganho ambiental que se pode ter com o uso do biometano como combustível em veículos (IEA, 2018).

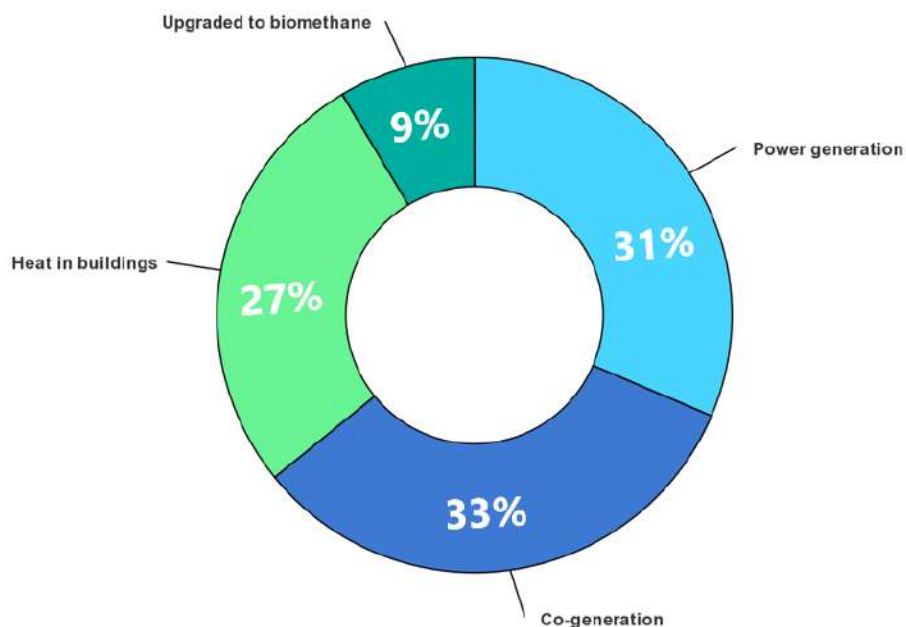


Figura 4.4: Consumo do biogás mundial de acordo com o uso final (IEA, 2018).

Em 2018, havia um potencial de produção de cerca de um pouco mais do que 700 Mtep de biometano no mundo, porém apenas cerca de 1% desse potencial foi produzido. Atualmente, há dificuldades para expandir essa margem devido aos custos ainda elevados de produção de biometano, principalmente comparado ao preço do gás natural. Isso é devido a ampla capilaridade do gás natural e a sua tecnologia de produção e distribuição já estabelecida em grande escala (IEA, 2018).

Na figura abaixo observa-se que os continentes líderes em produção de biometano são a Europa, seguida pela América do Norte (IEA, 2018). A Europa é a maior produtora de biometano, puxada principalmente pela necessidade do continente

de diminuir a dependência de combustíveis oriundos de fontes de petróleo (EYL – MAZZEGA et al., 2019).

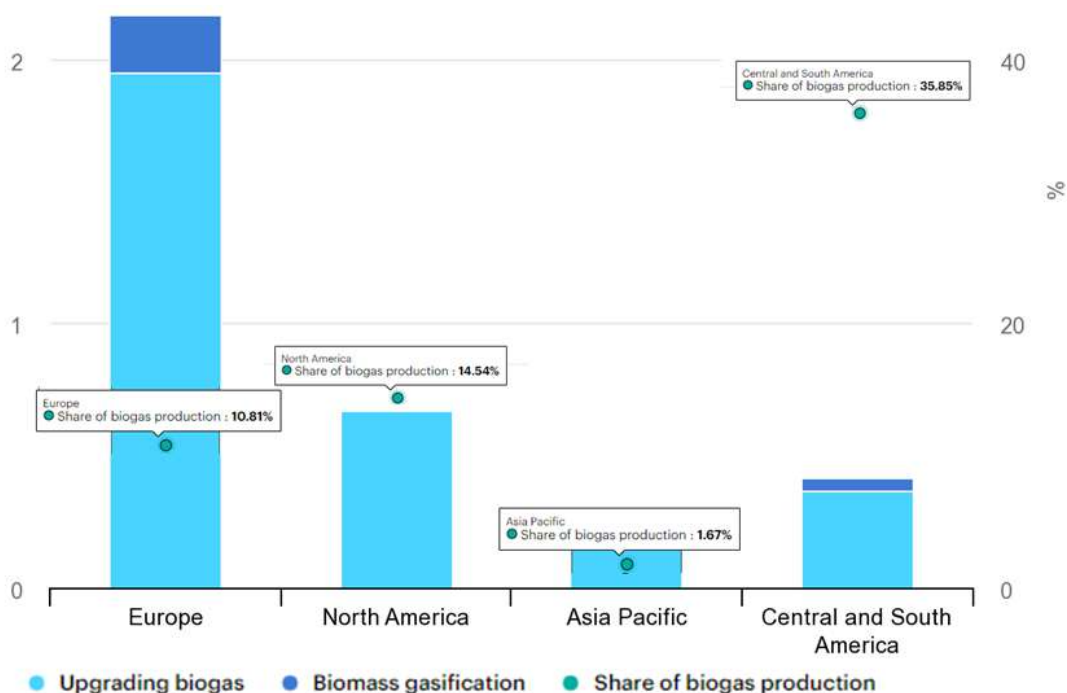


Figura 4.5: Produção de biometano (em Mtep) e share do total de biogás produzido purificado por região em 2018 (IEA, 2018).

A Europa se destaca no cenário industrial de biometano graças à estrutura de incentivos fiscais administrados nacionalmente de maneira independente pelos países, mas que são influenciados pela legislação da União Europeia (UE) (GUSTAFSSON; ANDERBEG, 2022). Alguns exemplos disso são a redução de impostos para o uso do biometano como combustível, suporte para produtores agrícolas que possuem tecnologia de produção de biogás a partir de esturmo e isenção da aplicação sobre os impostos de geração de CO₂ (XUE et al., 2022).

Recentemente, a eclosão do conflito nos territórios da Ucrânia e da Rússia, iniciada no começo do ano de 2022 e ainda sem resolução, trouxe consequências econômicas como o encarecimento do preço petróleo e da energia elétrica. Tais consequências estão intrinsecamente relacionadas ao setor de energia, visto que a Rússia é bastante relevante no mercado de petróleo mundial. Motivada por isso, a União Europeia criou um plano pensando a longo prazo para projetar um futuro não dependente

dos combustíveis fósseis russos. A esse plano deu-se o nome de “REPowerEU” (EBA, 2022). O objetivo desse plano é aumentar a escala da produção de biometano até 2030, produzindo 35 Bi m³ biometano/ano. Atualmente só é produzido 9% desse quantitativo, equivalendo a 3 Bi m³ biometano/ano (GUIDEHOUSE, 2022). Ao final desse projeto a União Europeia visa garantir poupança energética, produção de energia limpa e diversidade energética (COMISSÃO EUROPEIA, 2022).

A América do Norte também está em papel de destaque no crescimento do protagonismo do biometano no mundo, principalmente puxado pelos Estados Unidos e pelo Canadá. Esses países estão concentrando seus esforços na purificação do biogás em biometano e, através de incentivos econômicos, expandido o seu uso como combustível veicular (ABEGAS, 2019).

Esse crescimento é guiado pela fomentação de projetos que envolvam soluções para aumentar a participação no mercado de combustível veicular. Empresas do setor de biometano estão em movimento para instalação de filiais e bases de produção de biogás na localidade (BRIGHT, 2019).

Ano	Projetos de produção de biometano tendo a agricultura como fonte	Projetos de produção de biometano tendo aterro como fonte
2017	7	45
2018	14	60
2019	29	65
2020	53	72
2021	97	77

Tabela 4.4: Projetos de produção de biometano operando por ano nos Estados Unidos (EPA, 2022).

Na Ásia, a China se destaca na produção e na purificação de biogás. A maior parte da sua produção encontra-se em área rural devido à proximidade da sua principal fonte para a produção, os resíduos gerados pela agricultura. Com isso cerca de 70% de sua capacidade instalada de produção de biogás encontra-se no campo (IEA, 2018).

Há projeções de crescimento na produção de biometano na China. De acordo com o guia de desenvolvimento de biometano do país, a China será capaz de produzir cerca

de 15 Bi m³ de biometano/ano em 2025 e 30 Bi m³ de biometano/ano em 2030. Isso só será possível com o suporte fiscal das autoridades do país, criando leis que direcionem o setor privado para esse caminho (CHINADAILY, 2019).

Estima-se que, em 2040, o potencial de produção de biometano crescerá mais do que 1000 Mtpa no mundo. Isso significa ter o potencial crescendo mais do que 40% em relação ao cenário atual. Com os avanços da tecnologia de produção do biometano e entrada dele de maneira mais efetiva no mercado é previsto que o custo de produção do biometano decresça cerca de 25% em relação ao cenário atual (IEA, 2018).

O Brasil é visto como uma potência para a produção futura de biogás e biometano no mundo, segundo a Abiogás. Porém, ainda é um país que está começando a sair da fase experimental do uso do biometano como biocombustível no lugar do tradicional GNV. Assim, pela não capilaridade desse biocombustível, ainda não há uma grande demanda real, dificultando os investimentos na área (ABIÓGÁS, 2020).

Estima-se que atualmente somente cerca de 23% do biogás produzido nacionalmente seja convertido a biometano, por volta de 435 Nm³/dia do biocombustível (CIBIOGÁS, 2022). Este quantitativo é uma parcela ainda muito baixa para um país que deseja ampliar sua matriz de combustível no caminho da sustentabilidade energética. Por isso, atualmente o Brasil está lançando medidas de produção de biometano através de criação e atualização de portarias isentando os novos projetos de cobranças como a do PIS/Cofins (CNN, 2022).

De acordo com o levantamento do “Panorama do Biogás no Brasil – 2021” produzido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) há atualmente 755 plantas de biogás no Brasil. Dentre elas somente cerca de 1% possui sistema de purificação de biogás com objetivo de produção de biometano (CIBIOGÁS, 2022).

Foi levantado pela CIBiogás, no ano de 2021, que 62% das plantas no qual o principal uso do biogás produzido é para a geração de biometano, são de grande porte. Essas plantas são responsáveis pela produção de 99,03% do biogás necessário para a produção do biometano. As plantas de pequeno porte são cerca de 8% e são responsáveis pela produção de 0,75% do biogás direcionado para a produção do biometano. As plantas de pequeno porte contabilizam cerca de 31%, mas só são

responsáveis pela produção de somente 0,22% do biogás transformado em biometano (BIOGASMAP, 2021).

Classificação	Produção de Biogás (Nm ³ /ano)
Pequeno porte	<500.000 Nm ³ /ano a 1.000.000 Nm ³ /ano
Médio porte	1.000.001 a 5.000.000 Nm ³ /ano
Grande porte	5.000.001 a > 125.000.001 Nm ³ /ano

Tabela 4.5: Classificação do porte das plantas de biogás no Brasil (CIBIOGÁS, 2022).

Como ambição futura, prevê-se em âmbito nacional 27 novas plantas de biometano para os próximos anos. Asso, visando em 2027 alcançar a produção de 2,2 Mi de m³ de biometano/dia. A maior parte dessas novas plantas terão os resíduos sólidos urbanos (RSU) ou esgoto como fonte de substrato (59%) e com o segmento sucroenergético e agroindustrial correspondendo a 32% e 9% respectivamente (EPBR, 2022).

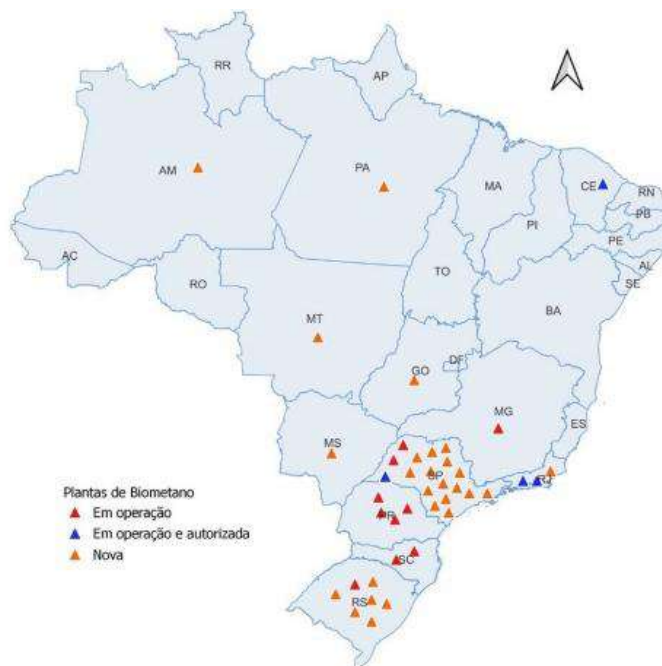


Figura 4.6: Novas plantas de biometano mapeadas no Brasil (EPBR, 2022).

A Raízen, empresa nacional integrada de energia, irá investir R\$ 300 milhões em uma usina geradora de biometano com previsão de ficar pronta em 2023. Será sua

primeira planta de produção de biometano e estará localizada em Piracicaba (SP) com capacidade de produção de 26 Mi de m³ de biometano/ano. A venda da sua produção será no estilo B2B (*business-to-business*), isso porque a planta já nasce com sua produção dedicada as empresas Yara Fertilizantes e Volkswagen num contrato de longo prazo (EPBR, 2022).

Com o crescimento de políticas de incentivo e a melhoria das regulações governamentais o Brasil poderá começar a ser efetivo na ampliação de sua matriz energética através do biometano. Atualmente, em âmbito nacional, o biometano não possui uma tabela de preço, então é preciso criar políticas de preços atrativas para alcançar uma capilaridade maior no mercado e concretizar o biometano como o substituto natural do GNV. É necessário que o preço final do biometano seja igual ou menor do que o do GNV, facilitando sua entrada e permanência no mercado (SOARES, 2021).

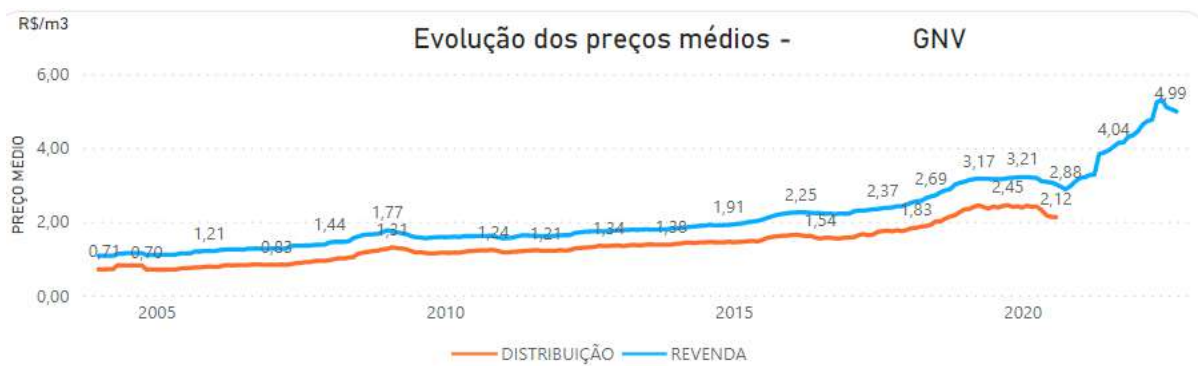


Figura 4.7: Evolução do preço médio do GNV no Brasil (ANP, 2022).

4.4.2 Etanol

O Estados Unidos é o maior produtor, consumidor e exportador de etanol do mundo, chegando a produzir cerca de 1,09 Mi de barris por dia (NOVACANA, 2021). Sua produção representa mais da metade de toda a produção mundial desse biocombustível. Na figura abaixo, podemos observar o comportamento no mercado através dos seus 5 maiores pólos de exportação. Ela revela que em 2021, a Índia representou cerca de 16% do *share* de exportação, seguido pelo México com cerca de 12%, Coréia do Sul e China com cerca de 12% e 11% respectivamente, por fim guiado pelo Brasil com cerca de 10% (TRADE MAP, 2022). Até 2020, a Índia, o Brasil, o México e o Canadá eram os maiores

países no qual o etanol dos Estados Unidos era exportado. No entanto, no ano de 2021 a China e a Coréia do Sul despontaram, principalmente em relação ao Brasil, devido majoritariamente à expiração da cota tarifária, em que os embarques ficaram com uma tarifa de 20% (VIDAL, 2021).

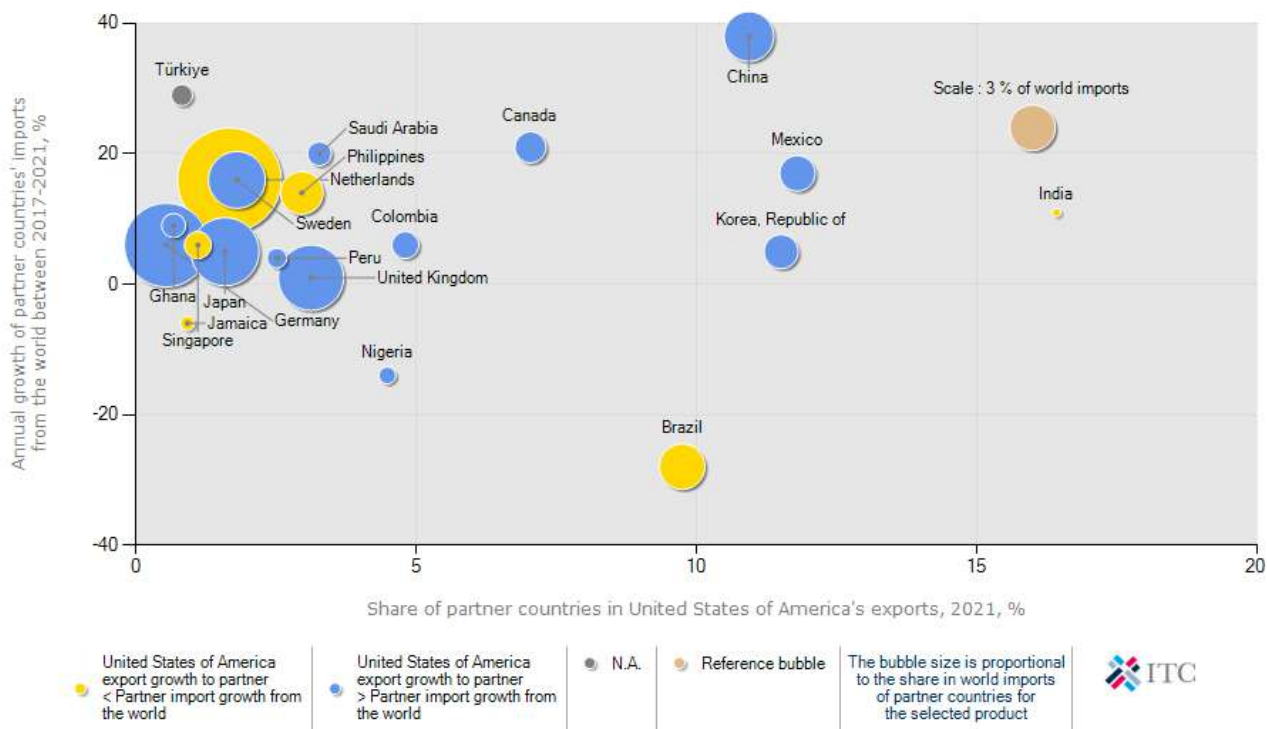


Figura 4.8: Clientes consumidores do etanol oriundo dos Estados Unidos em 2021 (TRADE MAP, 2022).

De acordo com AIE, até o ano de 2026 a produção de biocombustíveis irá aumentar de 2,6 Mi a 3,3 Mi de barris por dia. Com isso, o etanol espera-se que haja um crescimento de cerca de 33.000 barris por dia de 2020 até 2026. Os principais protagonistas do aumento da capacidade produtiva são a China, a Índia e o Brasil devido ao amplo potencial ainda a ser explorado (ETHANOL PRODUCER MAGAZINE, 2022).

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol no mundo. O país possui uma balança comercial positiva, sendo capaz de suprir a sua demanda interna (TRADE MAP, 2022). Em 2021, o Brasil produziu cerca de 27 bilhões de litros de etanol, sendo aproximadamente 60% referente ao etanol hidratado combustível e o restante ao etanol anidro (UDOP, 2022). O comportamento da produção de etanol brasileira é de forma majoritária para suprir a sua demanda interna, exportando apenas cerca de 6% do total

da sua produção, tendo os Estados Unidos e a Coréia do Sul como os principais clientes (VIDAL, 2021).

No Brasil, a produção do etanol usa majoritariamente como matéria-prima a cana-de-açúcar, uma pequena parte utiliza milho como substituição. Em território nacional só existe uma unidade em grande escala que produz etanol utilizando o milho de maneira dedicada como matéria-prima. Essa planta está localizada no estado do Mato Grosso, o restante da produção de etanol de milho é realizada em plantas *flex*. Estima-se que em 2026 a produção de etanol de milho seja de 900 milhões de litros no Brasil (EPE, 2021).

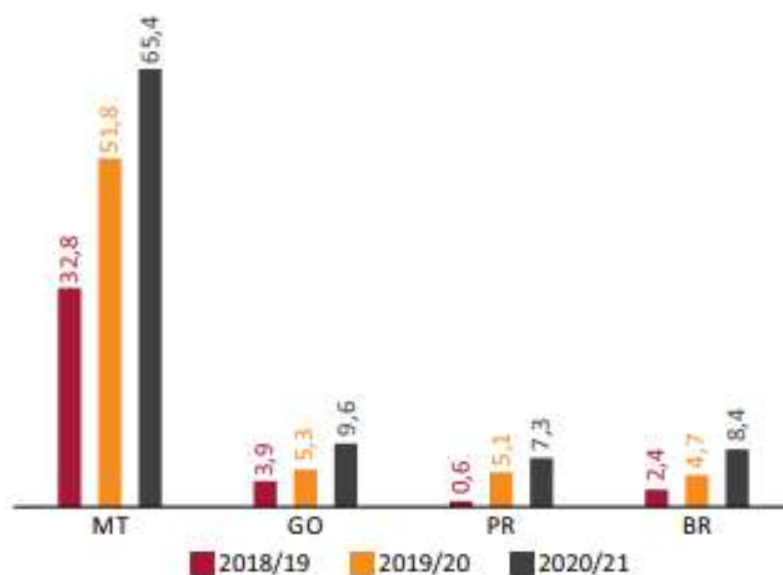


Figura 4.9: Participação percentual do etanol de milho na produção total de etanol nos principais estados produtores de etanol de milho (VIDAL, 2020).

Em território nacional as regiões que mais possuem representatividade na produção de etanol são a região Sudeste e Centro-Oeste. Na safra de 2019/2020, essas duas regiões foram responsáveis por 89,2% da produção total de etanol no Brasil (VIDAL, 2021).

Região	Safr ​ a (Em mil L)		
	2018/2019	2019/2020	2020/2021
Centro-Oeste	7.804.046,0	9.138.142,0	8.705.422,2
Norte	103.124,0	113.990,0	116.828,0
Sul	1.101.641,0	1.126.196,2	741.565,2
Sudeste	13.303.780,0	13.484.572,0	11.799.824,6
Nordeste	1.271.732,0	1.292.516,8	1.002.908,1
Total	23.584.323,0	25.155.417,0	22.366.548,1

Tabela 4.6: Produ​ção brasileira de etanol hidratado (VIDAL, 2021).

A produ​ção de etanol no Brasil se destina sobretudo a suprir o mercado interno, ao invés de exportar. Porém enxerga-se o potencial de crescimento de exporta​ção do etanol. Os pa​íses favoráveis à explora​ção desse potencial s​ão os Estados Unidos, possuindo a maior capacidade de absor​ção da demanda, seguido por Holanda e Jap​o (EXPORT POTENCIAL MAP, 2022).

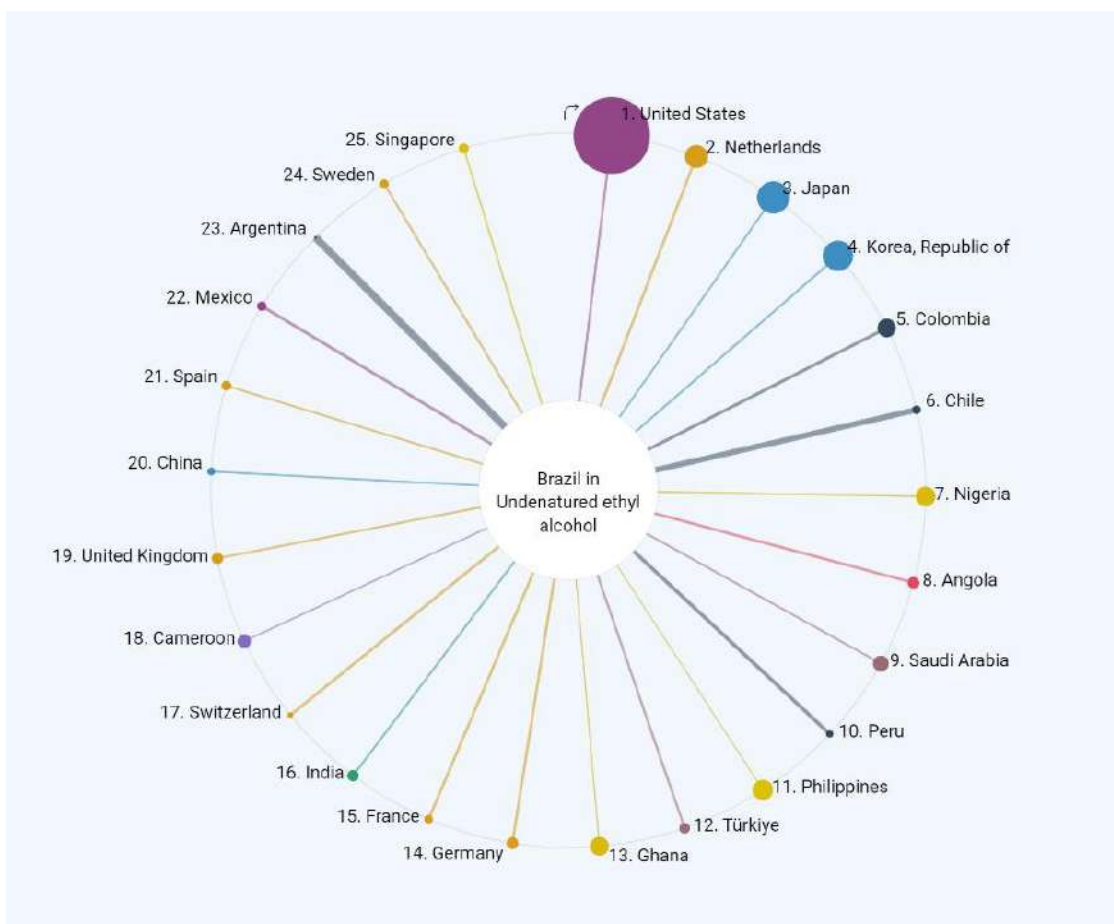


Figura 4.10: Análise do potencial de exporta​ção do etanol. (EXPORT POTENCIAL MAP, 2022).

O preço do etanol hidratado é balizado em relação ao preço da gasolina, já que o etanol hidratado é o substituto natural dela. Na figura abaixo podemos observar a variação do preço médio do etanol hidratado em relação ao tempo. Em momentos de alta no preço do petróleo a competitividade do etanol tende a crescer. Em momentos de retração do preço do petróleo, para manter a competitividade, o preço do etanol hidratado combustível também tende a ser reduzido (VIDAL, 2021).

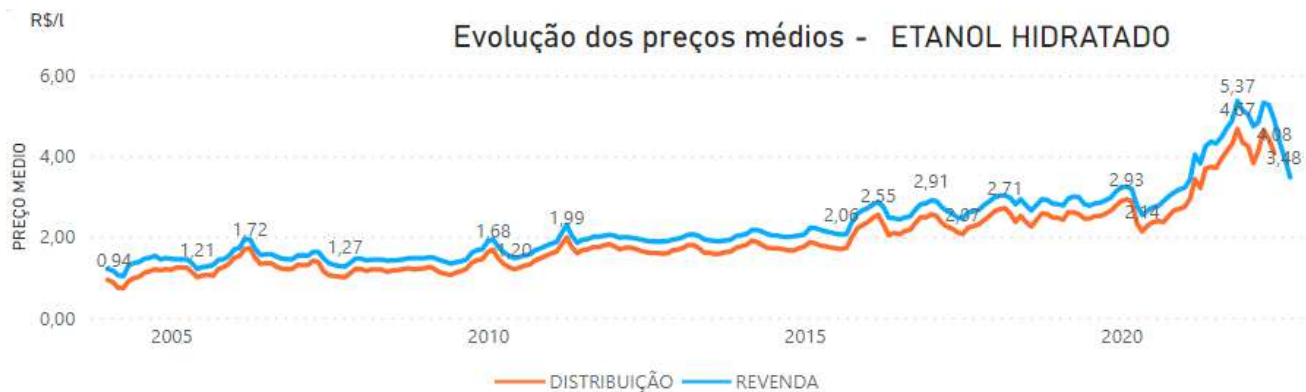


Figura 4.11: Evolução do preço médio do etanol hidratado no Brasil (ANP, 2022).

5 Comparação entre os combustíveis

5.1 Potencial de Distância a Ser Percorrido Energeticamente

O volume de combustível a ser utilizado no percurso pode diferir, sendo um balizador na quantidade de emissão de CO₂ eq e na paridade do total gasto no abastecimento. Assim, é necessário calibrar o potencial de distância do veículo a ser percorrida pelo volume de combustível consumido, visto que o GNV, o biometano e o etanol possuem características energéticas diferentes. O poder calorífico inferior é um bom indicativo nessa mensuração, sendo a energia libertada na forma de calor.

$$E = PCI * \rho$$

Equação 5.1: Energia contida em um litro ou m³ de combustível (ÁLVARES JR, 2011).

E: Energia contida em um litro ou m³ de combustível, TJ/L ou TJ/m³

PCI: Poder calorífico inferior do combustível, TJ/Kg

ρ: Densidade do combustível, Kg/L ou Kg/m³

Propriedade	GNV	Etanol hidratado	Biometano
Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)	9.930	6.300	10.707
Poder Calorífico Inferior (TJ/Kg)	4,15×10 ⁻⁵	2,63×10 ⁻⁵	4,48×10 ⁻⁵
Densidade À temperatura de 20 °C e 1 atm	0,74 (Kg/m ³)	0,81 (Kg/L)	0,76 (Kg/m ³)

Tabela 5.1: Propriedades dos combustíveis GNV, etanol hidratado (ANP, 2020) e biometano (MADHUSUDHANAN et al., 2020).

5.2 Emissões de CO₂ Equivalente

O potencial de descarbonização será mensurado através do conceito de CO₂ equivalente (CO₂ eq), medida de impacto das emissões globais dos gases do efeito estufa (GEE) em termos equivalentes da quantidade de dióxido de carbono. Para a obtenção dos valores de CO₂ eq será seguida a metodologia do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em relação as emissões produzidas no transporte rodoviário. A entidade é referência no assunto pois é responsável por juntar todas as informações relevantes de relatórios da área, avaliar as pesquisas e interpretá-las de uma maneira que seja de fácil compreensão e acessível à sociedade (IPEA, 2007).

$$E = \sum_i [F_i \times FE_i]$$

Equação 5.2: Emissão de CO₂ equivalente de transporte rodoviário (IPCC, 2019 - Adaptação).

E : Emissão de CO₂ eq do transporte rodoviário, Kg/m³ ou Kg/L

F_i : Tipo de combustível consumido, TJ/m³ ou TJ/L

FE_i : Fator de Emissão, Kg/TJ – referente ao conteúdo de carbono do combustível multiplicado pela razão mássica entre CO₂ e C ($\frac{44}{12}$)

É importante ressaltar que o fator de emissão leva em consideração todo o carbono do combustível, incluindo o emitido como CO₂, CH₄, CO, material particulado e compostos orgânicos voláteis (COV) (IPCC, 2019).

Os valores do fator de emissão provido pelo IPCC encontram-se na tabela 5.2. Os biocombustíveis, etanol e biometano, não possuem listados os valores específicos.

Então serão aproximados através dos valores apresentados para “outros biocombustíveis líquidos” e “outro biogás” respectivamente.

Propriedade	GNV	Etanol hidratado	Biometano
Fator de Emissão (Kg/TJ)	56.100	79.600	54.600

Tabela 5.2: Fator de Emissão rodoviária dos combustíveis (IPCC, 2006).

5.3 Combustíveis Renováveis

Os biocombustíveis são considerados combustíveis renováveis, sendo uma alternativa ambientalmente mais limpa em comparação aos combustíveis fósseis. Por ter a biomassa como matéria-prima para a produção, os biocombustíveis são considerados uma alternativa mais positiva ambientalmente e uma solução para diminuir a dependência do uso do petróleo e seus derivados.

Assim, os biocombustíveis, quando analisados no processo global de emissão, possuem a possibilidade de alcançar a neutralizar sua pegada de carbono. Com isso, denotando a vantagem do uso de biocombustível em detrimento aos combustíveis tradicionais para o meio ambiente.

5.4 Rendimento, Emissões e Preço

Para entender o desempenho por completo do combustível a ser utilizado é necessário realizar combinações de cenários para se ter uma visão unificada. Diante disso, é preciso comparar os resultados obtidos em relação a emissão de CO₂ eq e o rendimento energético dos combustíveis selecionados, mas também a parte econômica em relação ao preço médio e suas possíveis tendências a variações. Assim, contempla-se a viabilidade econômica do combustível, pautado no seu preço médio no mercado brasileiro, e os ganhos ambientais que ele proporciona.

De acordo com o MME, atualmente somente 20% do consumo do setor de transportes do Brasil corresponde a biocombustíveis (RÁDIO SENADO, 2022).

Para aumentar a competitividade dos biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis, no dia 14 de junho de 2022, o Senado aprovou a PEC 15/2022 que concede incentivos fiscais. Desse modo, espera-se incentivar a produção de biocombustíveis no Brasil. O incentivo tem previsão de vigência por pelo menos 20 anos (AGÊNCIA SENADO, 2022).

5.5 Maior Rendimento Energético

Com os dados obtidos na tabela 5.1 e com o auxílio da equação 5.1 foi possível entender o comportamento pautado na potência de cada combustível em relação ao rendimento energético.

Propriedade	GNV	Biometano	Etanol hidratado
Energia contida em um litro ou m³ de combustível, TJ/L ou TJ/m³	$3,07 \times 10^{-5}$ TJ/m ³	$3,40 \times 10^{-5}$ TJ/m ³	$2,13 \times 10^{-5}$ TJ/L

Tabela 5.3: Energia por volume dos combustíveis selecionados.

O GNV e o biometano possuem energia similar em relação a quantidade de volume vendida (m³) com cada contendo cerca de 3×10^{-5} TJ por m³ abastecido. Isso era esperado, pois ambos possuem características similares. Já o etanol hidratado contém apenas cerca de 2×10^{-5} TJ por litro abastecido.

Assim, energeticamente 1 m³ de biometano equivale a 1,1 m³ de GNV e a 1,6 litros de etanol. Tal comportamento pode ser explicado pelo poder calorífico inferior (PCI) que cada combustível possui. Sendo que quanto maior, mais energia o combustível consegue liberar, tornando-se mais efetivo para um melhor funcionamento do veículo.

5.6 Emissões de CO₂ Equivalente a Serem Evitadas

A partir da equação 5.2 foi possível calcular a quantidade de CO₂ eq a ser emitido em relação ao combustível utilizado, realizando as substituições do fator de emissão.

Utilizando os resultados obtidos na tabela 5.3, energia por volume de combustível e os dados da tabela 5.2, foi possível obter kg CO₂ eq emitido por volume:

Propriedade	GNV	Biometano	Etanol hidratado
Emissões de CO₂ eq	1,72 Kg/m ³	1,86 Kg/m ³	1,70 Kg/L

Tabela 5.4: Emissões de Kg CO₂ eq rodoviárias por volume.

De acordo com os resultados obtidos dentre os combustíveis analisados, o etanol é o combustível que possui menor potencial de emissões por quantidade de volume, seguido respectivamente pelo GNV e biometano.

Tal comportamento pode ser explicado em relação a energia por volume de cada combustível. Com o combustível com a menor relação de energia/volume possuindo o menor Kg de CO₂ eq por volume.

6 Resultados e Discussão

6.1 Combinação de Emissão e Energia

Utilizando a relação de equivalência energética obtida através dos dados da tabela 5.3 foi possível normalizar a emissão de CO₂ eq em relação ao volume necessário para se emitir a mesma quantidade de energia.

Tabela de equivalência energética		
1 m ³ de biometano	1,1 m ³ de GNV	1,6 litros de etanol

Tabela 6.1: Equivalência energética entre os combustíveis.

Através da tabela acima e dos dados de emissões de CO₂ eq, foi possível calcular a normalização das emissões do transporte rodoviário multiplicando pelo volume equivalente:

Propriedade	GNV	Biometano	Etanol hidratado
Emissões de Kg CO₂ eq	1,89	1,86	2,71

Tabela 6.2: Emissões de Kg CO₂ eq geradas no transporte rodoviário.

Observa-se que o biometano e o GNV apresentam níveis de emissões do transporte rodoviário próximos, com o biometano possuindo uma ligeira vantagem. Já o etanol foi o combustível com maior potencial de emissão em relação ao transporte rodoviário.

O comportamento do etanol perante as emissões veicular pode ser explicado por ele ser menos denso energeticamente. A partir disso, é preciso que haja um maior gasto de volume de combustível para manter a paridade energética com GNV e o biometano. Tornando-o desfavorável.

Outro ponto a destacar em comparação ao GNV e o biometano é que ambos são combustíveis gasosos. Isso faz com que os hidrocarbonetos presentes nesses combustíveis oxidem de maneira mais eficiente, tornando a queima mais controlada e limpa. Desta maneira, poluindo menos durante a queima desses combustíveis (MELO *et al.* 2011).

No entanto, como o biometano e o etanol são fontes de energia alternativa e renovável, produzidas a partir de biomassa, quando analisados em processo global de emissões, possuem importante vantagem em relação ao GNV, combustível fóssil. Principalmente o biometano, que se destaca devido ao seu ciclo de vida, sobretudo quando a matéria-prima utilizada para a sua produção são os resíduos sólidos urbanos. Tendo o seu potencial de emissão de metano, que seria gerado por decomposição e emitido como GEE, convertido a biometano (ADELT *et al.*, 2011).

6.2 Preço

É importante entender a questão econômica em relação ao preço médio dos combustíveis para ter uma visão mais abrangente sobre a viabilidade econômica com relação aos gastos com abastecimento.

Os caminhões a gás da empresa analisada realizam atualmente uma média de 2,30 Km/m³ de GNV. A partir disso foi possível obter o quilômetro percorrido por volume, mantendo as condições atuais, de biometano e etanol utilizando a equivalência volumétrica.

Combustível	Quilômetro percorrido/volume
GNV	2,30 Km/m ³
Biometano	2,53 Km/m ³
Etanol hidratado	1,58 Km/l

Tabela 6.3: Quilômetro percorrido por unidade de volume.

Para a análise abaixo foi utilizada a tabela 6.3 e a média do preço médio de revenda dos combustíveis divulgados pelo painel dinâmico da ANP observados no período de 6 meses (abril de 2022 até setembro de 2022). Como o biometano não possui uma tabela de preço divulgada pela ANP, para a análise, o preço médio do biometano será aproximado através do preço médio do GNV.

A partir disso, foi possível descobrir para cada combustível analisado o valor médio gasto necessário para percorrer um quilômetro.

Combustível	Preço médio (R\$/m³ ou R\$/L)	Quilômetro percorrido/volume	R\$/Km
GNV	5,07	2,30	2,21
Biometano	5,07	2,53	2,01
Etanol hidratado	4,55	1,58	2,88

Tabela 6.4: Preço médio por quilômetro rodado gasto por combustível (ANP, 2022).

Observa-se que o biometano é mais atrativo economicamente do que o GNV, com uma redução do R\$/Km de cerca de 9%, reflexo da ligeira vantagem energética dos valores obtidos na literatura. Porém, em comparação com o etanol hidratado, o biometano possui uma vantagem econômica expressiva, com uma redução de cerca de

30% no preço médio gasto em relação ao quilômetro percorrido. Assim, denotando um melhor custo-benefício do biometano perante o etanol e o GNV.

6.3 Comparativo Entre os Combustíveis

Após analisar o cenário completo, o potencial de descarbonização e a viabilidade técnico-econômica, é possível analisar o comportamento dos combustíveis de maneira mais assertiva.

Para tal análise foi elaborada uma matriz de decisão a fim de levantar o combustível mais efetivo em relação aos critérios levantados. Para isso foi considerado um sistema de critério de avaliação seguindo as seguintes premissas:

- 3 – Atende plenamente
- 2 – Satisfatório
- 1 – Parcialmente satisfatório

Foram levantados 3 itens como critério de avaliação prioritários visando uma avaliação completa. Assim, foram elencadas a combinação de emissão rodoviária e energia, o preço médio gasto por cada combustível por quilômetro rodado e a categorização do combustível em relação a ser de origem fóssil ou renovável.

O percentual de peso atribuído a cada critério foi escolhido levando em consideração o comportamento da empresa analisada sobre o quesito da bioeconomia. Para a empresa é mais importante possuir um potencial mais efetivo de descarbonização do que o preço médio gasto no abastecimento dos caminhões. Pois os resultados de emissões acabam afetando o atingimento das metas da empresa. Então, a partir disso foram obtidos os resultados abaixo:

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	PESO %	GNV	Biometano	Etanol Hidratado
Combinação de emissão Kg CO ₂ eq e Energia	50%	2	3	1
Preço médio gasto por cada combustível	40%	2	3	1
Fonte de energia renovável	10%	1	3	3
TOTAL	100%	1,90	3,00	1,20
VALOR FINAL TÉCNICO		0,63	1,00	0,40

Tabela 6.5: Matriz de decisão dos combustíveis.

De acordo com os resultados obtidos na tabela acima, através das análises realizadas nesse capítulo, percebe-se que o biometano possui o resultado mais satisfatório em relação ao GNV e o etanol. Sendo uma opção viável em potencial para a substituição da matriz energética fóssil utilizada pelos caminhões da empresa.

7 Conclusão

Atualmente, os combustíveis fósseis dominam a matriz de combustíveis. A descarbonização da área de transportes de uma grande empresa de cosméticos, levando em consideração sua viabilidade técnico-econômica mostrou que o biometano é o que atenderia mais plenamente à demanda da empresa analisada.

O biometano possui características semelhantes ao GNV, assim pode ser substituído sem a necessidade de nenhuma adaptação nos veículos a gás. No entanto, esse biocombustível ainda possui uma demanda reprimida - a empresa analisada possui o desejo de consumo, porém não consegue efetivar o uso do biometano como combustível padrão por falta de recursos externos.

Assim, concluímos que:

- Para o uso de biocombustíveis no setor de transportes, principalmente do biometano, são necessários mais investimentos para que se tenha uma realidade mais plural em relação a escolha do tipo de combustível no abastecimento.
- É possível que a empresa analisada mapeie os produtores de biometano próximos do raio da rota realizada pelo Inbound Nacional que possam ser seus fornecedores, pois o biometano pode ser comercializado diretamente para o cliente final sem a necessidade de um intermediário (ABIOGÁS, c2022). Assim, o problema da demanda reprimida poderia ser mitigado, a empresa iria contribuir para a interiorização do gás e realizaria uma escolha sustentável (economicamente, ambientalmente e socialmente).
- Com a possível efetivação da proposta e entrada em vigor do marco legal da precificação de carbono é esperado que o mercado dos biocombustíveis fique mais aquecido (CEBDS, 2022). Com isso, tornará o custo-benefício dos

biocombustíveis mais atraentes e o mercado se mostrará mais interessado em desenvolver alternativas ao uso dos combustíveis tradicionais.

Referência Bibliográfica

ABEGAS – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado. **Produção global de biometano em alta**. ABEGAS Redação, 29 mar. 2019. Disponível em: <https://www.abegas.org.br/arquivos/71703>. Acesso em: 07 ago. 2022.

ABIHPEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS. **Caderno de Tendências 2019-2020**. [2020a]. Disponível em: <https://abihpec.org.br/publicacao/caderno-de-tendencias-2019-2020/>. Acesso em: 01 out. 2022.

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás. **Guia do produtor**. Abiogás, c2022. Disponível em: <https://abiogas.org.br/guia-do-produtor/>. Acesso em: 01 out. 2022.

ABIOGÁS. **O que podemos esperar do setor de biogás e biometano brasileiro nos próximos anos?**. Abiogás, 2022. Disponível em: <https://abiogas.org.br/o-que-podemos-esperar-do-setor-de-biogas-e-biometano-brasileiro-nos-proximos-anos/#:~:text=A%20exist%C3%Aancia%20de%20demanda%20%C3%A9,2%20milh%C3%B5es%20de%20m%C2%B3%2Fdia>. Acesso em: 09 ago. 2022.

ADELT, M. *et al.* **LCA of biomethane**. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 3, Issue 5, 2011, p. 646-650. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510011000734>. Acesso em: 23 dez. 2022.

AGÊNCIA SENADO. **Senado aprova PEC para manter competitividade do etanol; texto vai à Câmara**. Agência Senado, 14 jun. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/06/14/senado-aprova-pec-para-manter-competitividade-do-etanol-texto-vai-a-camara> . Acesso em: 21 out. 2022.

AGROLINK. Etanol do Milho. Agrolink, 06 maio 2019. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/etanol-do-milho_418884.html. Acesso em: 12 ago. 2022.

ÁLVARES JR, O. M. e, LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frota de veículos no Brasil**. CETESB, São Paulo. 2001.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biometano**. ANP, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Acesso em: 13 maio 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro**. ANP, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt->

[br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2020/anuario-2020-fatores-conversao.pdf](https://centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2020/anuario-2020-fatores-conversao.pdf). Acesso em: 30 jul. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 864**, de 23 de dezembro 2021. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-864-2021-estabelece-as-especificacoes-dos-combustiveis-de-referencia-utilizados-nos-ensaios-de-avaliacao-de-consumo-de-combustivel-e-de-emissoes-veiculares-para-a-homologacao-de-veiculos-automotores-novos-e-de-maquinas-agricolas-e-rodoviaras-novas?origin=instituicao>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 685**, de 29 de junho 2017. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-685-2017-estabelece-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-e-a-especificacao-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-comercializado-em-todo-o-territorio-nacional> . Acesso em: 12 ago. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 8**, de 2 de fevereiro 2015. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-8-2015-estabelece-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-e-a-especificacao-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-comercializado-em-todo-o-territorio-nacional> . Acesso em: 15 ago. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel dinâmico de preços de combustíveis, derivados do petróleo e biodiesel**. ANP, 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaMGMDNDhhMTUtMjQwZi00N2RILTk1M2UtYjYkxZTIkNzY1YzE5IiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTFEYNGFmY2FkYzYkxMyJ9>. Acesso em: 25 ago. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Institucional**. ANP, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 26 set. 2022.

ASSUMPÇÃO, L. **O Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação e os desafios para os processos de aquisição ou contratação de produto para pesquisa e desenvolvimento na Fiocruz**. Rio de Janeiro, Fiocruz, 2021, 176 p. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/51833/laiza_daniele_nunes_assump%20E7%E3o_ensp_mest_2021.pdf;jsessionid=FDD9ECD2DCF08993FA31C488B7816DC0?sequence=2. Acesso em: 20 dez. 2022.

BIOGASMAP. **Painel dinâmico de plantas de biogás e biometano brasileiro**. CIBiogás, 2021. Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODc2NThhOGltOTc2Ny00ZDc1LWI5MTMtYjYwZTRiYjFiOWQ3liwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>. Acesso em: 01 ago. 2022.

BRIGHT. Bright Biomethane opens North America Office to fuel future growth. BRIGHT, Birmingham, 21 jun. 2019. Disponível em: <https://www.bright-renewables.com/bright-biomethane-opens-north-america-office-to-fuel-future-growth/#:~:text=Bright%20Biomethane%20opened%20its%20first,Northeast%20of%20the%20United%20States>. Acesso em: 07 ago. 2022.

CABRITA, I. et.al. Avaliação do potencial e impacto do biometano em Portugal: Sumário executivo, Lisboa, LNEG, 2015, 17 p. Disponível em: <https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/3288/1/Biometano%20em%20PORTUGAL.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.

CBIE – Centro Brasileiro de Infra Estrutura. Como ocorre a produção industrial de álcool/etanol? CBIE, 27 mar. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-ocorre-a-producao-industrial-de-alcool-etanol/>. Acesso em: 21 maio 2022.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Posicionamento do setor empresarial brasileiro sobre o mercado regulado de carbono nacional. CEBDS, 26 maio 2022. Disponível em: <https://cebds.org/posicionamento-do-setor-empresarial-brasileiro-sobre-o-mercado-regulado-de-carbono-nacional/#.Yzh3MnbMIok>. Acesso em: 01 out. 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Etanol. CETESB, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/12/Etanol.pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Perspectivas da Bioeconomia Brasileira com Base em Inovações Tecnológicas e de Mercado. CGEE, 2020. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/6917123/CGEE_Per_Bio_Bra_Bas_Ino_Tec_Mer.pdf. Acesso em: 31 maio 2022.

CHEN, Q., & LIU, T. Biogas system in rural China: Upgrading from decentralized to centralized? Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 78, 2017, p. 933–944.

CHINADAILY. Biomethane efforts gaining traction. China Daily, 05 maio- 2019. Disponível em: <https://www.chinadaily.com.cn/a/201906/05/WS5cf7252ca31051914270120c.html>. Acesso em: 09 ago. 2022.

CIBIOGÁS. Panorama do Biogás no Brasil em 2020. Nota Técnica. Foz do Iguaçu. 2021. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wp>

content/uploads/2021/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1_1.pdf. Acesso em: 10 ago. 2022.

CIBIOGÁS. **Panorama do Biogás no Brasil em 2021**. Nota Técnica. Foz do Iguaçu. 2022. Disponível em: <https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CLARIANT. **Caminhões Scania utilizam etanol de segunda geração fabricado com a tecnologia sunliquid® da Clariant**. Clariant, 17 maio 2016. Disponível em: <https://www.clariant.com/pt/Corporate/News/2016/05/Scania-trucks-use-second-generation-ethanol-manufactured-with-Clariants-sunliquid-technology>. Acesso em: 27 set. 2022.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Bioeconomia e a Indústria Brasileira**. CNI, Brasília, 2020. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/ed/cded4159-a4c5-474d-9182-dd901b317e1c/bioeconomia_e_a_industria_brasileira.pdf. Acesso em: Acesso em: 30 ago. 2022.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Bioeconomia: uma agenda para o Brasil**. CNI, Brasília, 2013. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/10/10/5091/20131010163955256865u.pdf. Acesso em: Acesso em: 25 set. 2022.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **O que é bioeconomia?**. CNI, 2020. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-az/bioeconomia/#:~:text=Segundo%20dados%20da%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira,novos%20postos%20de%20trabalhos%20qualificados>. Acesso em: 31 maio 2022.

CNN. **Governo lança medidas de incentivo à produção de biometano**. CNN, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/governo-lanca-medidas-de-incentivo-a-producao-de-biometano/>. Acesso em: 09 ago. 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. **REPowerEU: energia segura, sustentável e a preços acessíveis para a Europa**. Comissão Europeia, 18 maio 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repower-eu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_pt. Acesso em: 07 ago. 2022.

EBA – European Biogas Association. **RePowerEU with biomethane: four dimensions of 35 bcm**. EBA, Bruxelas, c2022. Disponível em: <https://www.europeanbiogas.eu/repower-eu-with-biomethane-four-dimensions-of-35-bcm/>. Acesso em: 07 ago. 2022.

EBC – Empresa Brasil de Comunicação. **Programa prevê incentivos para produção do gás biometano**. Rádio Nacional, Brasília, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/economia/audio/2022->

[03/programa-preve-incentivos-para-producao-do-gas-biometano](#). Acesso em: 01 ago. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Etanol lignocelulósico**. Embrapa, 08 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/etanol/etanol-lignocelulosico>. Acesso em: 12 ago. 2022.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Renewable Natural Gas**. EPA, 30 mar. 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/lmop/renewable-natural-gas>. Acesso em: 07 ago. 2022.

EPBR – Agência ep. **Brasil tem 27 novas plantas de biometano previstas para os próximos anos**. EPBR, 15 jun. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-tem-27-novas-plantas-de-biometano-previstas-para-os-proximos-anos/>. Acesso em: 10 ago. 2022.

EPBR – Agência ep. **Raízen investirá R\$ 300 milhões em planta de biometano em São Paulo**. EPBR, 26 abr. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/raizen-investira-300-milhoes-em-planta-de-biometano-em-sao-paulo/>. Acesso em: 10 ago. 2022.

ETHANOL PRODUCER MAGAZINE. **IEA predicts growth in global biofuel supply through 2026**. Ethanol Producer Magazine, 8 abr. 2022. Disponível em: <https://ethanolproducer.com/articles/19184/iea-predicts-growth-in-global-biofuel-supply-through-2026>. Acesso em: 16 ago. 2022.

EXPORT POTENCIAL MAP. **Base de Dados**. ITC, 2022. Disponível em: <https://exportpotential.intracen.org/en/markets/analyze?whatMarker=k&what=220710&fromMarker=i&exporter=76&toMarker=j>. Acesso em: 21 ago. 2022.

EYL – MAZZEGA, M. et al. **Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy**. Études de l'Ifri, Ifri, Abril 2019.

FOLHA DE S. PAULO. **A maior biodiversidade do planeta está aqui**. Folha de São Paulo, São Paulo, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://estudio.folha.uol.com.br/amazonia-importa/2020/08/1988816-a-maior-biodiversidade-do-planeta-esta-aqui.shtml>. Acesso em: 20 dez. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4a ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDENSTEIN, Marcelo; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias de. **Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da "era do petróleo"?**. BNDES, Rio de Janeiro, n. 23, p. 235-267, mar. 2006.

GUSTAFSSON, M., ANDERBERG, S. **Biogas policies and production development in Europe: a comparative analysis of eight countries**. Biofuels – Taylor & Francis Group, Suécia, 14 p., 2022. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1635090/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.

IEA - International Energy Agency. **Sustainable supply potential and costs**. IEA, Paris, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/sustainable-supply-potential-and-costs#abstract>. Acesso em: 30 set. 2022.

IEA - International Energy Agency. **Biomethane production and share of total biogas production that is upgraded in selected regions**. IEA, Paris, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/biomethane-production-and-share-of-total-biogas-production-that-is-upgraded-in-selected-regions-2018>. Acesso em: 07 ago. 2022.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O que é? IPCC**. IPEA, 2007. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2134:catid=28. Acesso em: 04 jun. 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 2: Stationary Combustion**. Suíça: IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 16 dez. 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Aquecimento Global de 1,5°C**. IPCC, 2018. 28 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

JÚNIOR, R. L. W. **Avaliação das emissões e do desempenho do motor de um veículo utilizando biometano, gás natural veicular, etanol e gasolina como combustível veicular**. 2015. 107 p. (Monografia) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

LOPES, M. A. **O Brasil na bioeconomia**. EMBRAPA, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3382121/artigo---o-brasil-na-bioeconomia>. Acesso em: 31 maio 2022.

MADHUSUDHANAN, A.; BOIES, A.; CEBON, D. **Modelling and evaluation of a biomethane truck for transport performance and cost**. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020.

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Acordo de Paris**. MCTIC, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

MELO, A. F. A.; SILVA, S. N. A. **Emissões em Sistemas Tetracombustíveis**. 2011. 111 p. (Monografia) – Centro Paulo de Souza, Santo André, 2011.

MME – Ministério de Minas e Energia. **MME e EPE disponibilizam mapa estratégico para desenvolvimento do mercado de veículos médios e pesados movidos a gás natural e biometano.** MME, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-epe-disponibilizam-mapa-estrategico-para-desenvolvimento-do-mercado-de-veiculos-medios-e-pesados-movidos-a-gas-natural-e-biometano>. Acesso em: 14 maio 2022.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Propostas das Instituições Presentes na Reunião de Construção do Renovabio Biocombustíveis Biogás e Biometano.** MME, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/7948692/COLABORADORES+DIVERSO+S+Propostas+para+Biog%C3%A1s+e+Biometano.pdf/1eb097ab-2ba3-4fe1-92e8-1788b878d3c2;jsessionid=AC802B166C93389BED1AB445EAB7CD10.srv155>. Acesso em: 30 jul. 2022.

MONTEIRO, S. D. S. C. **Produção de Biometano: Análise de Mercado e Estudo da Separação por PSA.** 2011. 55p. Tese (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69219/1/000150475.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.

OLIVEIRA, V. **A tecnologia assumindo papel de protagonismo e diferencial competitivo no transporte de cargas.** Mundo Logística, n. 89, p. 20-24, 2022.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?.** EMBRAPA, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

PEREZ, C. **Ciclo vicioso ou ciclo virtuoso?.** entrevista, 2010. Disponível em: http://www.carlotaperez.org/downloads/media/Perez_Epoca_Brasil_Abril_2010.pdf. Acesso em: 30 ago. 2022.

PURQUERIO, L. F. V. *et al.* **Bioeconomia: cultivando a vida e colhendo o futuro.** Técnico-Informativo do Instituto Agrônômico. Instituto Agrônômico, Campinas, v. 70, p. 6, 2018.

RÁDIO SENADO. **Senado aprova incentivos fiscais por 20 anos para a produção de biocombustíveis.** Rádio Senado, 14 jun. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2022/06/14/senado-aprova-incentivos-fiscais-por-20-anos-para-a-producao-de-biocombustiveis> . Acesso em: 21 out. 2022.

RAÍZEN. **Etanol: entenda o que é, para que serve e como é usado no Brasil!.** RAÍZEN, 18 fev. 2022. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol> . Acesso em: 14 maio 2022.

RCGI – Research Centre for Greenhouse Gas Innovation. **Biometano tem a menor pegada de carbono entre diversos energéticos disponíveis.** RCGI, São Paulo, 5 set. 2017. Disponível em: <https://www.rcgi.poli.usp.br/pt-br/biometano-tem-a-menor>

[pegada-de-carbono-entre-diversos-energeticos-disponiveis/](#) .Acesso em: 14 maio 2022.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Mercado de cosméticos do Brasil é um dos maiores do mundo**. SEBRAE, 18 maio 2022. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/mercado-de-cosmeticos-do-brasil-e-um-dos-maiores-do-mundo,36578d4d928d0810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 01 out. 2022.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **O Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação**. SEBRAE, 10 julho 2018. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-novo-marco-legal-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao,8603f03e7f484610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020. Brasília, DF: SEEG, 2021. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

SEQUINEL, R. **Controle de qualidade de biocombustíveis**. 2017. Apresentação do Power Point. Disponível em: https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Rodrigo2017_P%C3%B3s_Qualidade-Biomb_Etanol-H2-e-CH4.pdf. Acesso em: 12 ago. 2022.

SILVA, B. et al. **Um panorama da implantação do etanol de 3ª geração como uma fonte de energia sustentável**. ENGEVISTA, Niterói, v. 21, n.1, p. 176-192, 2019.

SILVA, E. P. **Etanol e hidrogênio: uma parceria de futuro para o Brasil**. Cienc. Cult., São Paulo , v. 60, n. 3, p. 51, set. 2008 . Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300015&lng=en&nrm=iso . Acesso em: 22 maio 2022.

SILVA, M. F. O. e; PEREIRA, F. S.; MARTINS, J. V. B. **A bioeconomia brasileira em números**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 47, p. 277-331, mar. 2018

SIMÃO, L. E. et al. **Transporte rodoviário de cargas: como selecionar um método para cálculo de emissão de CO₂ da sua frota?**. UNISUL-PPGA/Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Santa Catarina, v. 15, 26 p., 2022.

SNA – Sociedade Nacional de Agricultura. **Governo brasileiro estimula produção de biometano**. SNA, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/governo-brasileiro-estimula-producao-de-biometano/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

SOARES, G. A; Rocha, F. F. **Incentivo às avessas ao biometano no Rio de Janeiro**. Ensaio Energético, 17 de maio, 2021. Disponível em:

<https://ensaioenergetico.com.br/incentivo-as-avessas-ao-biometano-no-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

TRADE MAP – Trade statistics for international business development. **Base de Dados**. ITC, 2022. Disponível em: <https://www.trademap.org/> . Acesso em: 21 ago. 2022.

UDOP – União Nacional da Bioenergia. **Produção de etanol no Brasil pode dobrar em uma década, aponta Embrapa**. Udop, 30 mar. 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/03/30/producao-de-etanol-no-brasil-pode-dobrar-em-uma-decada-aponta-embrapa.html>. Acesso em: 20 ago. 2022

VIDAL, M. F. **Etano de milho: perspectivas para o Nordeste diante da crescente produção nacional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.123, ago.2020. (Série Caderno Setorial ETENE). Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021_CDS_159.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

VIDAL, M. F. **Produção e mercado de etanol. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, ano 6, n.159, abr. 2021. (Caderno Setorial Etene). Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021_CDS_159.pdf . Acesso em: 16 ago. 2022.

WWF – World Wide Fund for Nature. **Acordo de Paris complete cinco anos com lições aprendidas**. WWF, 12 dez. 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?77471/Acordo-de-Paris-completa-cinco-anos-com-licoes-aprendidas>. Acesso em: 01 out. 2022.

XUE, S., et al. **“What Can We Learn from the Experience of European Countries in Biomethane Industry: Taking China as an Example?”**. Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 157, 2022, p. 112049.