

Palavra do Gestor

A Trigonometria da
biomobilidade na
transição energética



Julho de 2026



A Trigonometria da biomobilidade na transição energética

Prezados leitores e investidores,

No passado um pouco mais distante, estaria começando esta *Palavra do Gestor* com a pena na mão. Num passado não tão distante, poderia estar com a esferográfica, ou diante do teclado da boa e velha Olivetti Lettera. Cá estamos diante do teclado ABNT2. Calma, leitor, essa espécie de *speed mindfulness* é só para reunir os pensamentos e tentar abrir o tema deste mês.

Vamos falar de **biomobilidade**. E de como a Trígono está, e não é de hoje, inserida nesse contexto.

O leitor regular (a quem desde já agradecemos a companhia) já se deparou aqui com nossas crenças. O leitor mais geral também já percebeu isso ao verificar em quais empresas investimos, que direta e indiretamente atuam na biomobilidade e na transição energética, com foco no transporte veicular, logística e produção dos biocombustíveis.

Transição energética é o campo dos combustíveis renováveis, limpos, que trazem retornos econômicos de acordo com o conceito TCOO (*Total Cost of Ownership and Operation*, ou Custo Total de Propriedade e Operação, na língua de Camões). O Brasil tem sido protagonista – talvez o maior deles – nesse processo. Isso traz enormes vantagens e oportunidades.

Para continuarmos, é preciso dar uns poucos passos para o lado e fazer um pequeno desvio.

– *Claro, Werner, estamos já bem familiarizados com esses passeios pelos jardins da cultura e da história.*

Vamos partir do nome, Trígono. Vem de *Trigonometria*, já presente ali no título. A palavra vem do grego: **trigonon (triângulo)** e metron (medida). Significa “**medida dos triângulos**”. É o ramo da matemática que estuda as relações entre lados, ângulos e proporções dos triângulos. Engenharia, física, astronomia, navegação, arquitetura, computação gráfica, até mercado financeiro quantitativo, veja o leitor, não há área técnica que lide com matemática em que não se possa encontrar algum eco da trigonometria. Os Elementos, em que o grego Euclides começa a brincadeira, tem a invejável honra de ser o livro didático mais longo da história – usado por mais de 2 mil anos.

Na geometria, três pontos formam um plano, e um plano de três pontos de apoio é mais estável que qualquer um com mais de três. Trígono remete a essa característica: equilíbrio, estabilidade, ligação entre três forças. Pense nas Pirâmides, com seus mais de 5 mil anos. A simbologia criada pelo triângulo é muito arraigada, muito presente no nosso imaginário, nas conversas cotidianas, na espiritualidade e na filosofia: muito se busca o equilíbrio entre corpo, mente e espírito. Divisão do tempo? Passado, presente e futuro, vem de imediato. Criação, preservação e transformação.



– Como sempre, brilhante, Werner. Mas o que isso tem a ver com transição energética?

Ora... tudo.

Esta Resenha começou a ser escrita ainda em maio. À época, estávamos em um contexto de crise geopolítica, e ainda estamos, com uma guerra em curso entre EUA, Israel e Irã. Os preços do petróleo refletiram essa crise. Essa situação abriu espaço para ficar mais evidente a conversa acerca de fontes alternativas de energia e combustível, limpas, renováveis e econômicas.

Debelar a crise importa para a transição energética porque, em um mundo em turbulência geopolítica, que nunca vem descasada de uma crise econômica, nenhuma alternativa energética é sustentável, e, menos que todas, as bioenergéticas.

Vemos duas causas para a crise mencionada:

- A relação política tensa entre Israel e Irã, em particular pelo risco que um programa nuclear deste último possa representar;
- E a questão nuclear mencionada acima representa a motivação para intervir militarmente no Irã.

A cada dia surgem novas notícias, sem que se possa saber se virão no sentido da paz ou no outro sentido. Isso, claro, coloca diversos ativos em *Overdrive*, leia-se: eles pisam no acelerador. Juros, atividade econômica global e muito mais é afetado por essa disparada dos preços do petróleo e derivados. Sim, bio e eletromobilidade são alternativas aos combustíveis de natureza fóssil, mas muito distante da substituição.

1. História da indústria do petróleo no mundo

Quem observa a dificuldade em se pensar em alternativas consistentes aos combustíveis poderia achar que essa ligação é tão essencial e ancestral que sempre foi assim. Não foi.

A moderna indústria do petróleo começa em 1859, com o poço que Edwin Drake perfurou na Pennsylvania (costa leste dos EUA). À época, petróleo era algo de onde se tirava querosene para iluminação. Mas então veio o motor a combustão. A indústria automobilística e o petróleo acabariam conectadas de um modo fundamental.

Vieram a Ford e a industrialização, com o carvão cedendo espaço como combustível para as máquinas a vapor. Combustíveis derivados do petróleo tomariam a cena. Em 1870, a Standard Oil, criada por John D. Rockefeller, passou a dominar o refino e distribuição dos derivados de petróleo nos EUA: começava a saga da primeira gigante global do setor. O uso da gasolina de boa qualidade foi fator fundamental na sua popularização – daí o nome “Standard”. A iluminação a querosene já não era mais o principal uso para o petróleo.



A estratégia de Rockefeller foi deixar a produção de petróleo em segundo plano e priorizar a integração de toda a cadeia, com investimentos em refinarias e qualidade para padronizar (“standardize”) especificações e produtos, gerar eficiência operacional, controlar a logística (ferrovias, dutos, armazenamento), distribuir, exportar e até fabricar barris. Conseguia descontos relevantes junto a ferrovias tornando-se mais competitivo, e ao mesmo tempo aumentou o leque de produtos. Expandiu para lubrificantes, solventes, graxas e diversos produtos químicos.

Também estratégica foi a decisão de Rockefeller de comprar concorrentes. Na década de 1880, a Standard Oil chegou a controlar entre 80% e 90% da capacidade de refino nos EUA, uma enorme vantagem competitiva. Em 1911, em meio a acusações de práticas anticoncorrenciais e críticas políticas, a Suprema Corte dos EUA determinou a separação da Standard Oil em cinco empresas – daí viriam Exxon, Chevron, Mobil e Amoco, inclusive a Standard, (todas ainda existentes). Mas Rockefeller aumentou sua fortuna como acionista dessas novas empresas. Muitos consideram que, em valores presentes, John Rockefeller foi o empresário que construiu a maior fortuna da história contemporânea, só Elon Musk e seu trilhão de dólares chegaria a rivalizar.

2. O petróleo muda o século 20

Começa o século 20. Navios já não dependem de velas ou de carvão nas caldeiras para tráfegar. Os trens, que avançaram acelerados desde o último quarto do século 19, já nem usam mais o carvão tampouco. A indústria automobilística domina o processo de revolução industrial que havia ganhado novos contornos pouco mais de 50 anos antes. E então chega o avião, que logo substituiria navios e trens (mas nem tanto assim os caminhões) na logística. Máquinas agrícolas e equipamentos *offroad* mudam a presença humana em obras, mineração e lavouras.

Em todos esses casos, nos veículos utilizados os combustíveis de origem fóssil – o petróleo mais que todos – tomaram o espaço, qual fosse o combustível empregado antes, especialmente o carvão mineral. E o petróleo ainda se mostrou versátil, com os derivados na indústria de plásticos, o gás em termelétricas e para calefação nos países do hemisfério norte, entre outros usos.

O petróleo foi chave nas duas guerras mundiais – na segunda, mais ainda – que ditaram os rumos do século. Tanques, aviões, navios, submarinos – sem petróleo, a mobilidade e as forças vitoriosas poderiam ter sido bem diferentes.

O mercado global de petróleo veio a ser dominado por “Sete Irmãos”: Exxon, Mobil, Chevron, Gulf, Texaco, BP e Shell.

3. Oriente Médio e OPEP

Após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), enormes reservas foram exploradas no Oriente Médio. Arábia Saudita, Irã, Iraque e Kuwait, e mais tarde, Emirados Árabes Unidos e Qatar, que vinham ficando atrás do Ocidente na segunda metade do século 19 na corrida industrial, converteram-se em alguns dos maiores produtores de petróleo no mundo. Em 1960, os quatro primeiros – e a Venezuela, dando uma cor tropical ao arranjo – criaram a Opep, um instrumento com o qual controlariam os preços (poder que vem diminuindo mais recentemente).



As crises do petróleo

Nos anos 1970, o petróleo foi o tema de duas grandes variações: o choque de 1973, com o embargo árabe; e o choque 1979, com a Revolução Iraniana. Nos dois choques, o preço da *commodity* disparou. Muitos países começaram aí a entender que talvez fosse bom ter alternativas energéticas disponíveis.

Foi nesse contexto que o Brasil criou o Proálcool (Programa Nacional do Álcool). O programa nasceu em 1975 (na gestão Ernesto Geisel, portanto), após o primeiro choque. Um decreto presidencial formalizaria o programa em 14 de novembro daquele ano. A iniciativa foi do Estado, mas a criação efetiva do programa envolveu acadêmicos, fabricantes de automóveis, usineiros e empresários.

Aqui fazemos uma pequena justiça histórica, ao lembrarmos dos nomes de Urbano **Ernesto Stumpf** e **Lamartine Navarro Jr.** Engenheiros nem sempre são lembrados – as histórias preferem tipos mais ousados, mais românticos. Mas figuras técnicas são no mínimo tão importantes (ainda mais nesse contexto).



Urbano Stumpf (1916-1998) formou-se em 1950 na primeira turma de Engenharia Aeronáutica do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica). No ano seguinte, no mesmo ITA, começou a estudar a viabilidade do álcool como combustível. Em seu pequeno escritório na Pentra (Pesquisa em Energia e Transportes) – sua empresa e laboratório de motores criada com o prêmio IBM de inovação – desenhou um motor de cinco cilindros com dimensões baseadas na razão áurea (assunto matemático fascinante, sobre o qual o matemático Mario Livio escreveu um livrinho igualmente encantador). Ele testava alternativas vegetais (mamona, babaçu, laranja, mandioca) à gasolina e ao diesel. Trabalhou na Escola de Engenharia da USP (Universidade de São Paulo) em São Carlos, na Universidade de Brasília e em outras. Suas ideias circularam pelo meio acadêmico brasileiro.

Neste período, o CTA (Centro Técnico Aeroespacial) de São José dos Campos realizou estudos técnicos sobre o álcool e realizou testes com diversos tipos de motores, adaptando-os ao uso do álcool como combustível – que hoje conhecemos como etanol. Até 1982, Stumpf foi divulgar as vantagens do etanol na Áustria, Nova Zelândia, Alemanha, França e nos Estados Unidos, participando de simpósios demonstrando a evolução do motor a álcool.



Lamartine Navarro Júnior (1932-2001) foi empresário, aviador amador e proprietário rural. Com a crise do petróleo, Geisel – que, antes de chegar à presidência da República, presidia a Petrobras –, preocupado com a inflação e o equilíbrio da balança de pagamentos, convidou Shigeaki Ueki – diretor comercial da Petrobras e futuro ministro das Minas e Energia – para ouvir a iniciativa privada sobre o assunto. Ueki contactou vários empresários – entre eles Navarro Júnior, Cícero Junqueira Franco e Maurílio Biagi (outros dois líderes do setor canavieiro), que estariam entre os principais idealizadores do programa. Navarro Junior é considerado o “Pai do Pró-Ácool”, mas a honra cabe em igual medida a Stumpf.

Em 19 de outubro de 1976, o “circuito de integração nacional” teve início; três carros – um Dodge 1.800, um Fusca-VW 1.300 e um Gurgel Xavante –, todos movidos a álcool, partiram do CTA. Em 21 dias, cobriram 8.500 km, atravessando nove Estados brasileiros, para voltar a São José dos Campos.



A caravana da integração composta pelos três veículos utilizando álcool e dois veículos de apoio, no trecho entre Campo Grande e Cuiabá.

Em 1979, a Fiat lançou o 147 a álcool – o primeiro modelo comercial com motor movido exclusivamente a etanol. O veículo ganhou o dubiamente simpático apelido de “Cachacinha” (os brasileiros não resistimos a um apelido no diminutivo), dado o odor de álcool que vinha do escapamento.

O Proálcool foi um grande sucesso. No auge do programa, entre 1985 e 1988, mais de 90% dos carros novos vendidos no Brasil eram movidos a etanol.



Mas entre 1989 e 1990 viria uma grande crise.

O preço internacional do petróleo sofreu uma forte queda – o que deixou os combustíveis dele derivados mais competitivos que o etanol. Os preços internacionais do açúcar em alta, por sua vez, acenderam o interesse das usinas, que destinaram mais cana-de-açúcar para fazer o adoçante. O governo passava nesse mesmo período por dificuldades fiscais, e reduziu os incentivos ao setor. A produção de álcool, nesse cenário, não acompanhou o crescimento da frota de veículos e a demanda por combustíveis. O resultado? Muitos motoristas enfrentaram filas enormes e dificuldade para encontrar combustível – e o consumidor foi, claro, atrás de alternativas mais confiáveis.

Flex Fuel – uma boa ideia

A lembrança da crise de abastecimento deixou marcas, e os consumidores nunca mais sentiram aquela confiança inicial. Os veículos movidos a etanol foram escanteados na preferência dos compradores.

Mas crise – ou **κρίσις** (*krísis*), em grego – não significa problema insolúvel, ou condenação ao fracasso. Mais propriamente, envolve decisão, escolha, o que pode inspirar mudança. Melhor dizendo: se há que decidir que rumo seguir em algum momento, a hora pode ser essa.

E surgiu uma solução: desenvolver motores que rodassem com gasolina, etanol ou qualquer mistura dos dois. Os principais avanços vieram da evolução da injeção eletrônica e dos sensores capazes de identificar automaticamente a proporção de combustível no tanque – ajustando automaticamente a injeção e a ignição do motor. A tecnologia *flex* estava a caminho.

O *flexfuel* moderno foi desenvolvido por fornecedores de sistemas eletrônicos automotivos, especialmente Bosch e Magneti Marelli, em parceria com montadoras no Brasil. O primeiro carro flex produzido em série no Brasil foi o Volkswagen Gol Total Flex, lançado em 2003. Pouco depois, praticamente todas as montadoras instaladas no país adotaram a tecnologia. Em 2005, cerca de 50% da produção dos veículos com ciclo Otto já eram *flexfuel*, evoluindo para 80% em 2008. Hoje está entre 90% e 95%, inclusive com tecnologia híbrida elétrica. Estima-se que mais de 40 milhões de veículos utilizam a tecnologia *flexfuel* e rodam no Brasil.

O sucesso foi enorme. O consumidor passou a escolher o combustível mais barato, o risco de ficar preso a um único combustível foi eliminado e disso resultou um Brasil líder mundial na tecnologia flexfuel, considerada uma das mais importantes inovações da indústria automotiva brasileira. Nos EUA e na Europa já havia veículos capazes de usar gasolina e etanol, mas geralmente com misturas pré-definidas, caso da gasolina adicionada com etanol anidro na proporção atual de 70/30 (discute-se hoje mudar isso para 68/32).



Globalização e petróleo *offshore*

O período de 1980 a 2000 foi de crescimento das plataformas marítimas, de avanço na exploração em águas profundas e na indústria petroquímica e refinarias para processar o forte crescimento do petróleo. Surgem também novos produtores: México e Venezuela, América Latina; Noruega e Inglaterra; no mar do Norte.

Século 21

O petróleo ainda responde pela maior parte da energia mundial, mas enfrenta: (i) crescimento das energias renováveis; (ii) eletrificação dos veículos; e (iii) pressão climática por redução de GEE (gases de efeito estufa). A indústria petrolífera continua gigantesca e estratégica na logística de cargas, nos transportes individual e coletivo, em construção e mineração, na petroquímica (inclui plásticos), na energia elétrica e em fertilizantes.

Breve história do petróleo no Brasil

1. Primeiras buscas

Concessões para exploração de betume existiram no país desde o Império, mas o sucesso foi tímido. A primeira perfuração no país aconteceu em 1892, na cidade de Bofete (SP), mas sem sucesso comercial.

Nesse contexto, bem vale trazer à conversa Monteiro Lobato – que, se traz de forma mais imediata à lembrança a turma do Sítio do Pica-Pau Amarelo, num segundo momento pode ser que alguém se lembre dele como um dos maiores defensores da exploração do petróleo no Brasil.

Convencido de que o país era rico em “ouro negro”, ele fundou empresas de prospecção nos anos 1930 e denunciou o monopólio estrangeiro – pavimentando assim o caminho que levaria à criação da Petrobras. Frustrado com o descaso do governo e com laudos oficiais que afirmavam não haver petróleo no Brasil, Lobato decidiu agir por conta própria: fundou e associou-se a diversas companhias, como a *Companhia Petróleo Nacional*, buscando captar capital de pequenos investidores para perfurar poços.

No livro “*O Escândalo do Petróleo*” (1936), ele atacou duramente o governo de Getúlio Vargas e denunciou o que chamava de sabotagem e monopólio de petroleiras estrangeiras (como a Standard Oil), que, dizia, queriam manter o Brasil dependente. Suas críticas contundentes à burocracia estatal e aos interesses internacionais rendeu-lhe um dividendo amargo: três meses de prisão.

Ironicamente, a profecia do escritor começou a se concretizar quando ele próprio já estava afastado das perfurações. Em 21 de janeiro de 1939, foi produzido o primeiro petróleo comercialmente viável no Brasil – e isso no bairro de **Lobato**, na cidade baixa em Salvador (Bahia). O nome do bairro pode ser derivado ou do nome do proprietário daquele pedaço da cidade (onde ficava um engenho de cana), Vasco Rodrigues Lobato; ou pode ser uma homenagem a Monteiro Lobato.



A descoberta ocorreu quando engenheiros investigaram uma “lama preta” que pescadores e moradores locais usavam para acender lamparinas. Esse achado histórico impulsionou a criação do CNP (Conselho Nacional do Petróleo).



Lobato (o Monteiro) usou seus livros para conscientizar brasileiros de todas as idades da importância do petróleo para a soberania nacional. No já citado Sítio do Pica-Pau Amarelo, o personagem Visconde de Sabugosa dá uma verdadeira aula de geologia e explica formação, extração e importância estratégica do petróleo. Vão ali valores nacionalistas e a defesa de que a riqueza do “ouro negro” pertencia ao povo brasileiro. A campanha “O Petróleo é Nosso” tem aí, se não uma inspiração direta, certamente uma certa ancestralidade espiritual.

2. Criação da Petrobras

Em 1953, o presidente Getúlio Vargas sancionou a Lei 2.004, que estabeleceu o monopólio estatal para explorar, produzir e refinar petróleo – que ficaria a cargo da Petrobras, criada com aquele ato. A indústria petrolífera brasileira que nascia ali viria a fazer do país um dos maiores produtores de petróleo do mundo: em 2025, o país produziu pouco mais de 3,7 milhões de b/d (o que se vê na imagem abaixo):



Em grandes linhas, a evolução da extração petrolífera brasileira ocorreu nas seguintes fases:

1960 – 1980: Avanço para o mar e a bacia de Campos

- **Águas rasas:** produção concentrada inicialmente na Bahia e no litoral de Sergipe em águas rasas (onde foi descoberto o primeiro campo em plataforma continental, em 1968).



- **Bacia de Campos:** com as crises internacionais do petróleo na década de 1970, o país investiu pesadamente na exploração offshore. Em 1974, foi descoberta a bacia de Campos, que se tornou o principal polo produtor nacional.

1980 – 2000: Pioneirismo em Águas Profundas

Em 1986, a produção brasileira orbitava em torno de 500 mil a 600 mil barris por dia (bpd). O marco crucial desse período foi a transição definitiva da produção terrestre para a marítima, com o início da exploração dos primeiros campos gigantes em águas profundas na bacia de Campos (como Albacora e Marlim). Em 1997, a Lei do Petróleo quebrou o monopólio estatal da Petrobras e criou a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), abrindo o mercado para petroleiras multinacionais operarem no país.

2006 – Presente: A Era do Pré-Sal

Em 2006, o Brasil atingiu a autossuficiência volumétrica na produção de petróleo e anunciou a descoberta de grandes reservas de petróleo e gás natural em profundidades de mais de 7.000 metros, na camada geológica sob o leito marinho conhecida como Pré-Sal. Isso transformou drasticamente os patamares de produção no Brasil, que se consolidou como um dos maiores produtores mundiais. Entre 2010 e 2020, a produção do Pré-Sal saltou de apenas 1,5% de participação para quase 70% de todo o óleo nacional, superando 2,9 milhões de bpd em 2020. Neste ano, a produção atingiu picos históricos, que romperam a marca de 4 milhões bpd.

- Cenário Atual e Margem Equatorial

A produção hoje se concentra na região do pré-sal, na costa das bacias de Santos e de Campos, com crescente participação de empresas estrangeiras em consórcios. A “zona equatorial” do petróleo é a **Margem Equatorial Brasileira**, principal nova fronteira de exploração, que se estende do litoral do Amapá até o Rio Grande do Norte. Compõe-se de cinco bacias sedimentares: Foz do Amazonas; Pará-Maranhão; Barreirinhas; Ceará e Potiguar. O potencial estimado é de cerca de 30 bilhões de barris.

- Perspectiva da indústria (World Oil Outlook 2026–2050, da Opep)

O relatório da Opep diz que a transição energética será gradual: energias renováveis crescerão rapidamente, mas petróleo e gás continuarão essenciais até 2050, sobretudo para atender à expansão da demanda mundial por energia.

Principais conclusões:

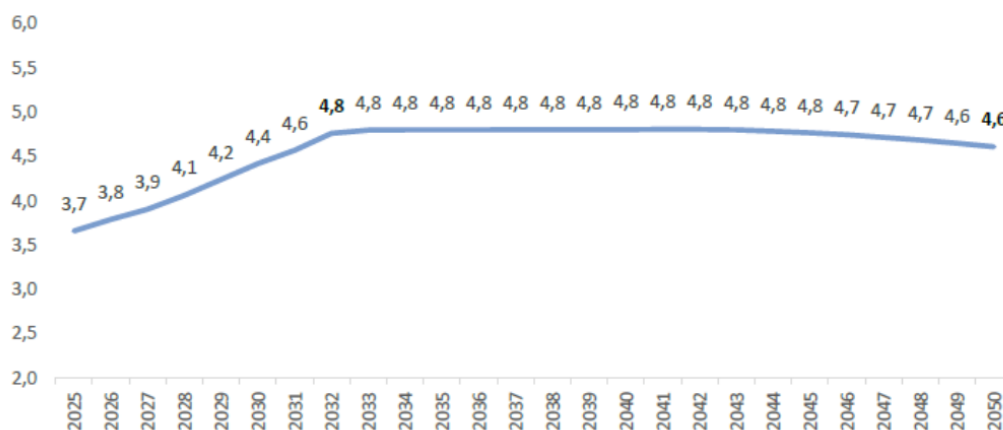
- A demanda global de energia deverá crescer cerca de 23% até 2050, impulsionada pelo crescimento populacional, urbanização e desenvolvimento econômico dos países emergentes;
- O crescimento do consumo ocorrerá principalmente fora dos países desenvolvidos (OCDE), com destaque para Índia, Ásia, Oriente Médio, África e América Latina;



- O consumo mundial de petróleo deve subir de 105,1 milhões de barris/dia em 2025 para 124,1 milhões em 2050;
- Os setores que mais impulsionarão essa demanda serão o transporte rodoviário, petroquímico e aviação;
- A geração de eletricidade quase dobrará até 2050, com forte expansão da energia solar e eólica. Isso não eliminará, no entanto, a necessidade dos combustíveis fósseis;
- A Opep estima que serão necessários US\$ 17,7 trilhões em investimentos na indústria do petróleo entre 2026 e 2050 para atender à demanda projetada.

Destaques para o Brasil

- O Brasil é apontado como um dos principais responsáveis pelo aumento da produção mundial de petróleo fora da Opep (efeito do pré-sal);
- A produção de petróleo deve crescer de 3,7 milhões bpd em 2025 para cerca de 4,8 milhões bpd no início da década de 2030, mantendo-se elevada até 2050;
- Novos projetos como Bacalhau, Búzios, Mero, Atapu, Gato do Mato e Sépia sustentarão essa expansão. Além desses novos campos, o relatório destaca o potencial exploratório da Foz do Amazonas, a descoberta de Bumerangue (bacia de Santos), a liderança brasileira em biocombustíveis (etanol e biodiesel) e o crescimento da energia solar (embora com desafios de integração ao sistema elétrico).



Conclusão Preliminar

A transição energética não significa fim do petróleo, eis o core da mensagem da Opep. Fontes renováveis terão forte crescimento, mas o aumento da demanda global de energia fará com que petróleo, gás e renováveis coexistam por décadas. Nesse cenário, o Brasil figura entre os grandes vencedores, consolidando-se como um dos principais fornecedores mundiais de petróleo, ao mesmo tempo em que amplia sua importância em biocombustíveis e energias renováveis (tema principal da **Palavra do Gestor**).



O biodiesel e seu desenvolvimento no Brasil

A história do biodiesel no Brasil é um exemplo de ciência, política pública, agronegócio e indústria unidos para criar um mercado energético. Há aí seis grandes fases:

1. 1970 e 1980: As primeiras experiências

A primeira crise do petróleo em 1973, como vimos mais acima, levou o Brasil a buscar alternativas, e daí vieram o Proálcool e iniciativas de alguns pesquisadores para estudar óleos vegetais como combustível para motores diesel.

Pioneiro nessas iniciativas foi o engenheiro químico Expedito José de Sá Parente (1940-2011), da Universidade Federal do Ceará. Graduiu-se em 1965 na Escola Nacional de Química da então Universidade do Brasil (hoje a UFRJ); um ano depois tornou-se mestre em Ciências da Engenharia Química, também na UFRJ. Era ainda especialista em tecnologia de óleos vegetais e engenharia de óleos vegetais (e, versátil como era, em Tecnologia de Couros, na École Française de Tannerie, em Lyon, na França).

Na Universidade Federal do Ceará, em 1967 Sá Parente tornou-se professor assistente e, em 1975, professor adjunto. Ainda nos anos 1970, desenvolveu o “Processo de Produção de Combustíveis a partir de Frutos ou Sementes Oleaginosas”, por ele patenteado em 1983. Foi a primeira patente no mundo para um processo de produção de biodiesel em escala industrial. O governo brasileiro então estava com os olhos no Proálcool, então é justo dizer que o processo desenvolvido por Sá Parente foi desprezado e nunca efetivamente utilizado. Hoje, se encontra em domínio público, com o fim da patente.

Ele seguiu adiante: em 1984, fez demonstrações com biodiesel em motores diesel convencionais, muito tempo antes de o combustível se tornar comercialmente viável.



Sá Parente é frequentemente chamado de “**pai do biodiesel brasileiro**”. Não poderíamos concordar mais. Fica aqui uma merecida homenagem e o reconhecimento a uma das grandes mentes brasileiras.



2. 1985–2002: Período de estagnação

O sucesso técnico não se traduziu em ganhos para o biodiesel, e ainda houve a queda de preço do petróleo, com o consequente barateamento do diesel. O Brasil ainda concentrava investimentos no Proálcool e não surgiu legislação obrigando o uso do biodiesel, que ficou, assim, restrito a universidades e centros de pesquisa por quase duas décadas. Embrapa, Universidade Federal do Ceará, Universidade de Brasília e IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), entre outras instituições, seguiram carregando a tocha da pesquisa na área.

3. 2003–2005: Nasce o Programa Nacional

A mudança ocorreu no primeiro governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva. Em 2003, foi criado um grupo interministerial – Minas e Energia, Agricultura, Desenvolvimento Agrário Ciência e Tecnologia e Fazenda – para avaliar a viabilidade do biodiesel. O governo tinha objetivos energéticos e estratégicos (reduzir importações de diesel), mas mirava também na geração de renda para agricultores familiares e no desenvolvimento de novas cadeias agrícolas. Em 6 de dezembro de 2004, nasce o **PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel)**, que combinava política energética, agricultura e inclusão social. Tornou-se um marco mundial.

4. 2005: Regulamentação

A Lei nº 11.097/2005 oficializou o biodiesel na matriz energética brasileira: autorizou misturas obrigatórias, definiu o conceito legal de biodiesel e atribuiu à ANP a regulamentação do setor. Também foi criado o Selo Combustível Social, concedido a usinas que comprassem matéria-prima da agricultura familiar, o que deu ao Brasil um diferencial em relação aos programas europeu e norte-americano. Facultativa em 2005, a mistura chegou a 2% em 2008. Em 2018, dez anos depois, portanto, o percentual chegou a 10%. Hoje, está em 15%, e estão em curso estudos para elevar a 16%.

5. Consolidação

O Brasil é hoje um dos três maiores produtores mundiais de biodiesel, lidera na tecnologia industrial do produto e se estabeleceu como referência em integração entre agronegócio e energia. Mais de 70% do biodiesel no país é produzido a partir de óleo de soja, mas também se utiliza sebo bovino, óleos de algodão, palma (dendê), macaúba e até óleo de fritura reciclado.

A ANP ficou encarregada da regulamentação técnica, certificação, fiscalização da qualidade e realização dos leilões de biodiesel, num modelo que foi utilizado por muitos anos. Mas a Embrapa também tem papel importante, com pesquisas para novas oleaginosas e sistemas de produção voltados ao biodiesel, ampliando a base tecnológica do programa.

O biodiesel brasileiro, além de seus benefícios econômicos e ambientais, também tem, veja o leitor, potencial para reduzir riscos geopolíticos como o atual, envolvendo o petróleo e melhorar nossa balança de pagamentos. A produção do biodiesel agrega valor às cadeias da soja e de outras oleaginosas, com os muitos coprodutos que



dela derivam, como farelos e proteínas, para alimentação animal e glicerinas com múltiplos usos.

6. Perspectivas de crescimento do biodiesel

O biodiesel ainda deve continuar crescendo, embora em ritmo mais moderado que o biometano. Os principais vetores de crescimento são o aumento da mistura obrigatória para **B25 (2040)**, expansão do consumo de diesel no transporte de cargas e no agronegócio, e o desenvolvimento de novas matérias-primas, como macaúba e palma. A integração com a política do **Combustível do Futuro**, que incentiva combustíveis de menor intensidade de carbono será também elemento fundamental no estímulo de uso do biodiesel. No entanto é um dos fatores contrários a qualidade (fraudes e mistura de diversos tipos de óleos vegetais, animal e reciclagem de óleo comestível), logística e armazenagem, já que o produto sofre deterioração da qualidade por más condições do manuseio e armazenagem.

A Indonésia acaba de implementar o B50, que permite misturar 50% do biodiesel de palma (nosso óleo de dendê) ao diesel, sendo que a Indonésia é o maior exportador mundial de óleo de palma do mundo com cerca de USD 21 bilhões, cerca da metade do que o Brasil exporta do complexo soja. Isto demonstra o potencial do Brasil aumentar de forma significativa a produção de óleo de palma, especialmente no Pará e a mistura deste óleo no diesel, desde que resolvida a questão técnica da mistura de biodiesel de diferentes óleos vegetais.

Se o **biodiesel** foi o primeiro grande biocombustível para substituir o diesel mineral, o **biometano** pode ser considerado a próxima fronteira da biomobilidade no Brasil. A expectativa é de um crescimento acelerado, impulsionado pela nova legislação e pelo enorme potencial do país.

História do biometano no Brasil

1. 1970–1990: Origem

A raiz vem dos anos 1970, sim, novamente em meio às crises do petróleo. Então, universidades e produtores rurais estudavam a produção de biogás a partir de dejetos de animais (bovino e suíno, principalmente) e resíduos agrícolas. O objetivo dos biodigestores era produzir gás para cozinhar e gerar eletricidade em propriedades rurais. Biometano, na forma como existe hoje, não estava presente. Na Unesp em Jaboticabal, onde estudei agronomia, àquela época, o biogás já era desenvolvido a partir de dejetos suínos e era usado em nos laboratórios.

2. 1990–2010: Nascimento do biometano

As tecnologias de purificação do biogás avançaram e passou a ser possível remover dióxido de carbono (CO₂), sulfeto de hidrogênio e umidade, resultando em um combustível praticamente equivalente ao gás natural. Surgia o **biometano**, fruto de pesquisas de Embrapa, universidades e empresas de saneamento.



3. 2015: Marco regulatório

A ANP publicou em 2015 a regulamentação que permitia especificar e comercializar biometano proveniente de resíduos agropecuários e urbanos, o que abriu caminho para investimentos em escala.

4. 2016–2023: Expansão industrial

Grandes empresas passaram a investir no setor, principalmente as ligadas ao setor canavieiro, a frigoríficos, gestão de resíduos urbanos e saneamento. As principais matérias-primas eram e continuam sendo vinhaça da cana-de-açúcar, dejetos de suínos, resíduos urbanos, resíduos alimentícios de diversas naturezas e de frigoríficos (sebo) e esgoto urbano.

5. 2024: O Combustível do Futuro

A Lei nº 14.993/2024 (Combustível do Futuro) foi um marco histórico, ao criar um programa nacional para incentivar o biometano – com metas de descarbonização para o mercado de gás natural e mecanismos como os CGOBs (Certificados de Garantia de Origem do Biometano).

- Principais agentes no desenvolvimento do biometano

ANP: responsável por regulamentar a qualidade, comercialização e, mais recentemente, por desenvolver as regras para o novo mercado de descarbonização do gás.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética): produziu estudos técnicos que embasaram a política pública do Combustível do Futuro e demonstraram o potencial do biometano na matriz energética brasileira.

ABiogás: tem desempenhado papel central na articulação entre empresas, governo e investidores, defendendo a expansão do setor e a criação de um mercado nacional robusto.

MBCBrasil: tem por missão permanente acelerar a descarbonização da mobilidade e apoiar a transição viável dos transportes por meio de todas as soluções disponíveis de baixo carbono. A meta é garantir que o biometano seja um dos principais vetores para uma mobilidade limpa, econômica e socialmente responsável.

Perspectivas de crescimento

O Brasil tem um dos maiores potenciais de produção de biogás e biometano do mundo, mas só explora uma fração desse potencial. Estudos estimam capacidade técnica superior a 80 bilhões de Nm³ por ano, a partir de resíduos agropecuários, urbanos e industriais. Equivale a 70% das reservas do pré-sal. Nada mal.

As perspectivas para os próximos anos são muito favoráveis. Há a Lei do Combustível do Futuro, que cria demanda obrigatória, a busca do setor industrial por reduzir emissões de carbono, as transportadoras de caminhões e ônibus que começam a adotar veículos movidos a gás renovável. Potencial existe.



Transição energética e biomobilidade

Transição energética é o nome do jogo. O jogo é substituir combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, em busca de desenvolvimento sustentável. Mas o artigo *A Transição Energética Global e o Sul Global* (Goldthau, Eicke, Weko – 2020 – [aqui](#) o leitor o encontra, no original em inglês) demonstra que a transição energética, mais que uma iniciativa ambiental, é uma reconfiguração de relações econômicas, industriais e geopolíticas em escala global. O processo vai alterar a distribuição de poder entre os países e redefinir padrões de competitividade internacional.

Segundo os autores, um dos principais desafios que a transição imporá aos países em desenvolvimento será o de evitar que antigas relações de dependência se reproduzam. No passado, esses países entraram na economia internacional como exportadores de matérias-primas e recursos naturais para os países industrializados – que produziam tecnologia e bens de maior valor agregado. O risco que os autores apontam é de que tal lógica se mantenha na economia de baixo carbono: alguns países apenas fornecerão minerais críticos, biomassa ou outros recursos estratégicos; outros continuarão a produzir equipamentos, baterias, sistemas digitais e tecnologias limpas. O verdadeiro diferencial competitivo não será, propõem os autores, determinado apenas pela disponibilidade de recursos naturais. Estará principalmente na capacidade de desenvolver:

- inovação
- conhecimento tecnológico
- infraestrutura industrial
- participação nas cadeias globais de valor.

Países que investirem em pesquisa, desenvolvimento tecnológico, qualificação da mão de obra e políticas industriais estarão mais bem posicionados para capturar benefícios econômicos da transição energética. Os que continuarem a depender de exportar *commodities*, bem, desses podemos fazer uma boa ideia apenas observando o papel que já têm hoje na economia global.

Essa discussão dialoga diretamente com o conceito de biomobilidade, e em especial no contexto brasileiro. Muitos países caminharam pela estrada da eletrificação de transportes. O Brasil construiu, em décadas, uma trajetória tecnológica baseada no uso de biocombustíveis. O desenvolvimento do etanol a partir da cana-de-açúcar, a consolidação da tecnologia *flexfuel*, a expansão de biodiesel, biometano e, mais recentemente, do SAF (combustível sustentável de aviação) representam uma estratégia de descarbonização que faz todo sentido no quadro econômico, agrícola e energético do país.

A biomobilidade mostra que transição energética não é algo que se faz de um jeito só. Com matriz elétrica predominantemente renovável, agricultura altamente produtiva e indústria consolidada de biocombustíveis, o Brasil tem a proverbial faca e o proverbial queijo na mão para reduzir de forma significativa as emissões de GGEs no setor de transportes sem ficar na dependência de importar baterias, minerais críticos ou veículos elétricos produzidos alhures. A biomobilidade tem amplo espaço para reforçar no Brasil a segurança energética, a geração de empregos, o agronegócio e a promoção de desenvolvimento regional.



A artigo ainda destaca as mudanças no comércio internacional: a crescente adoção de políticas climáticas e de mecanismos de precificação do carbono tende a transformar a intensidade de emissões em fator determinante para a competitividade dos produtos. Quem produzir deixando a menor pegada de carbono encontrará acesso mais fácil a mercados internacionais. Já os que mantiverem processos produtivos mais intensivos em emissões verão restrições comerciais, custos maiores e perda de competitividade.

As vantagens da biomobilidade: cadeias produtivas nacionais mais fortes, inovação tecnológica, valor agregado à produção agroindustrial), só serão plenamente aproveitadas se forem acompanhadas por políticas públicas que incentivem pesquisa, desenvolvimento tecnológico, industrialização e inserção competitiva nas cadeias globais de valor, defendem os autores do artigo.

Transição energética, portanto, não é só mudar matriz energética e consumir energia limpa. Ela passa por inovação, conhecimento, investimento e políticas públicas são essenciais ao processo. Para o Brasil, isso significa que a biomobilidade pode representar não só uma alternativa de descarbonizar transportes, mas também uma estratégia de desenvolvimento econômico, fortalecimento industrial e liderança na economia de baixo carbono.

A seguir, o leitor acompanha a transcrição de um texto publicado pela Agência Cenário Energia em 22 de junho que sustenta nossa tese de transição energética e biomobilidade.

Mercado de Biometano Quintuplica de Tamanho e Atinge Marca de 20 Plantas Autorizadas no País



Impulsionado pelo marco regulatório da Lei do Combustível do Futuro, setor alcança capacidade instalada de 1,3 milhão de m³/dia e monitora pipeline com 50 novos projetos na ANP.

O mercado brasileiro de gás renovável consolidou uma mudança estrutural de patamar e acelera a atração de capital privado voltado à descarbonização de indústrias e frotas pesadas. Levantamento inédito da ABiogás (Associação Brasileira do Biogás e do Biometano), estruturado com base nos registros oficiais da ANP, revela que o país atingiu o marco de 20 plantas de biometano formalmente autorizadas para operação comercial. Juntas, as unidades operacionais somam uma capacidade instalada de 1.331.401 m³/dia.

A arrancada do setor ganhou tração direta após a sanção da Lei do Combustível do Futuro. Sob a égide do novo arcabouço legal, 12 novas unidades produtivas receberam o aval regulatório da agência reguladora, respondendo pelo acréscimo de 714.240 m³/dia à oferta nacional. Atualmente, o parque produtivo divide-se entre o aproveitamento de rotas tecnológicas complementares: 11 plantas processam Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários e outras 09 unidades operam com resíduos orgânicos oriundos das cadeias agro-silvo-pastoris e comerciais.

O dinamismo do energético é evidenciado pelo crescimento acumulado entre 2020 e 2025, período no qual a capacidade de produção nacional quintuplicou. O movimento de interiorização e descentralização da oferta reflete-se na atuação de órgãos estaduais de controle ambiental. Em São Paulo, por exemplo, a Companhia de Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) registrou um salto de 235% na emissão de licenças ambientais voltadas a projetos de biogás e biometano, avançando de 26 para 87 pareceres emitidos no comparativo anual.

Atributos de Substitutibilidade e a Infraestrutura de Gás Natural

Por apresentar perfeita intercambialidade com o gás natural de origem fóssil, o biometano desponta como uma solução imediata para a transição energética de setores industriais de difícil abatimento de emissões (*hard-to-abate*). O biocombustível dispensa modificações



severas em gasodutos de transporte, redes de distribuição e plantas térmicas, mitigando riscos de ativos encalhados e reduzindo custos de adaptação sistêmica.

A presidente-executiva da ABiogás, Josiani Napolitano, contextualiza o reposicionamento do biocombustível na agenda de segurança de suprimento das cadeias globais de valor: “O debate energético mundial mudou de patamar e a transição energética passou a incorporar segurança energética, competitividade industrial e soberania nacional. Nesse cenário, o biometano ganha posição estratégica: com elevada equivalência ao gás natural, pode ser usado na infraestrutura existente, viabilizando uma transição mais eficiente, competitiva e previsível.”

Pipeline de Projetos e Projeções para a Matriz até 2030

As estimativas de curto e médio prazo apontam para um forte adensamento da oferta e diversificação geográfica das fontes de suprimento. O pipeline monitorado pela ANP contabiliza 50 plantas em processo de análise para obtenção de outorga de operação, somando um potencial adicional de 2.035.125 m³/dia de capacidade produtiva.

O perfil desse banco de projetos denota o avanço do agronegócio na cadeia de valor energético, liderado por 24 plantas com perfil agroindustrial. O restante do pipeline distribui-se entre 20 projetos focados em aterros de RSU, 5 plantas dedicadas à codigestão de resíduos múltiplos e uma unidade com perfil não especificado. Até o horizonte de 2030, as projeções consolidadas do setor estimam um salto para cerca de 200 usinas operacionais e uma produção nacional próxima a 7 milhões de m³/dia.

([aqui](#) o leitor encontra o texto na fonte.)

A expansão e a mobilização do potencial econômico do setor, projetado em uma capacidade total de investimentos privados de até R\$ 348 bilhões e geração de 798 mil empregos diretos e indiretos, são sustentadas pela instituição do Programa de Descarbonização do Setor de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

Monetização de Externalidades e o Lastro Ambiental do CGOB

O pilar comercial da Lei do Combustível do Futuro ingressa em sua fase operacional mais relevante em 2026, período balizado pelo início do cumprimento obrigatório de metas de descarbonização por parte dos agentes comercializadores de gás natural. O mecanismo de viabilidade financeira e precificação de valor do setor baseia-se na regulamentação do Certificado de Garantia de Origem do Biometano (CGOB).

O papel das novas balizas jurídicas no fortalecimento da segurança institucional para a atração de fundos de investimento é destacado pelo presidente da ABiogás: “A aprovação da Lei do Combustível do Futuro e a regulamentação do CGOB representam passos importantes para a consolidação de um mercado estruturado de gás renovável no Brasil, trazendo maior previsibilidade regulatória para investidores e consumidores.”

O mercado aguarda a emissão do primeiro lote de CGOBs, passo normativo indispensável que autoriza a separação física entre a molécula de gás comercializada e o seu respectivo lastro de descarbonização. O arranjo viabilizará um ambiente de liquidez para a comercialização de créditos ambientais atrelados ao biometano, criando canais adicionais de receitas e consolidando a autonomia energética do país.”

Apresentação: Trígono Connection em 1º/4/2026 –

Com José Eduardo Luzzi – Presidente do Conselho do MBCBrasil

A Trígono Connection de 1º de abril trouxe a discussão do papel da biomobilidade e da bioenergia como estratégias para descarbonizar a mobilidade brasileira.

A missão permanente do Instituto MBCBrasil é **acelerar a descarbonização da mobilidade, apoiar a transição viável dos transportes por meio de todas as soluções disponíveis** de baixo carbono, garantindo uma **mobilidade limpa, econômica e socialmente responsável.**

Instituto
MBCBrasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO



- **Cadeia automotiva**

Luzzi explicou que o MBCBrasil reúne 27 empresas e entidades associadas da cadeia automotiva, demonstrando que a transição energética depende da integração entre indústria, produtores de combustíveis, fornecedores de tecnologia e formuladores de políticas públicas.



- **Missão do Instituto MBCBrasil**

Ele apresentou a filosofia da neutralidade tecnológica: em vez de privilegiar apenas veículos elétricos, a proposta é empregar toda solução de baixo carbono disponível para atingir a neutralidade climática até 2050.



- **Vantagens competitivas do Brasil**

O Brasil detém vantagens únicas: matriz elétrica predominantemente renovável; tradição em biocombustíveis; e capacidade industrial para desenvolver tecnologias de baixo carbono, o que lhe permite assumir protagonismo mundial.



O Modelo de Descarbonização da Mobilidade no Brasil

Instituto
MBCBrasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

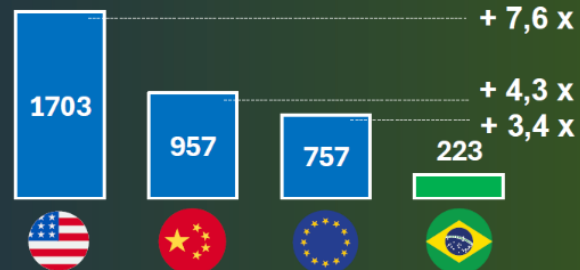
- **+ 50 anos** de Proálcool
- **23 anos** de carros **flex**
- **> 80% da frota leve**
- **E30** (média global **E7**)
- **B15** (média global **B4**)
- **Emissão CO₂e/km** (poço a roda)

EUA ~ 250 (+66% x Br)

China ~ 220 (+47% x Br)

Brasil ~ 150 (ref.)

Emissões de CO₂e no Setor de Transportes
MtCO₂e/ano (ref. 2024)

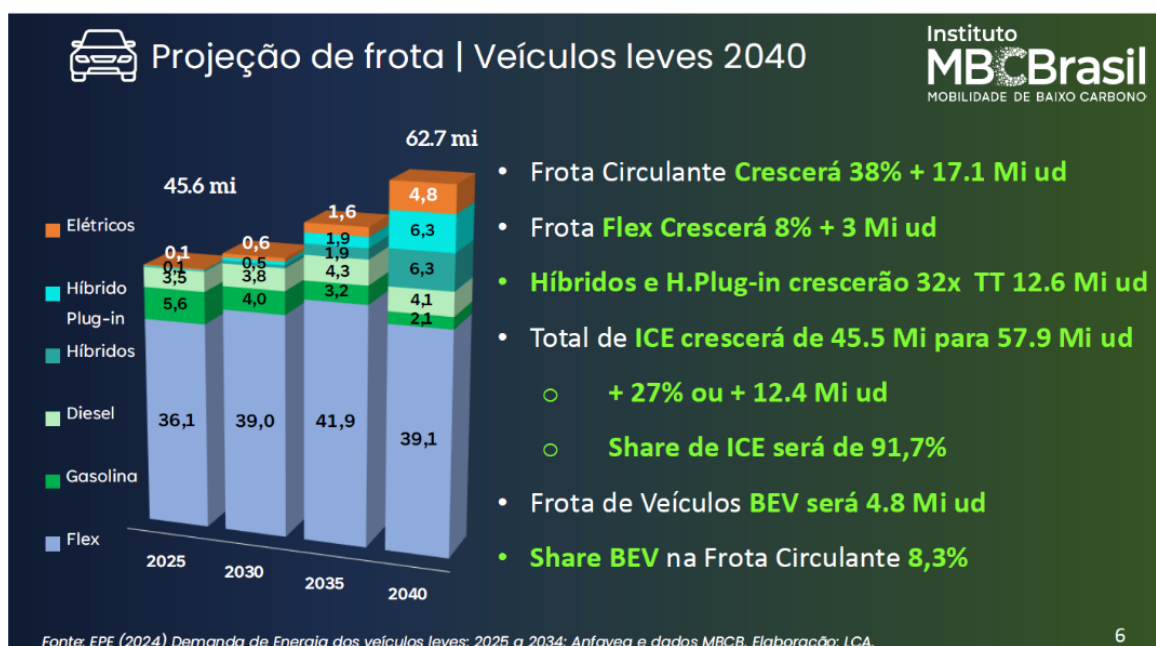


• Modelo brasileiro de descarbonização

Com o uso intensivo atual de etanol e biodiesel, o Brasil já apresenta emissões por quilômetro inferiores às de países como Estados Unidos e China. Proálcool e tecnologia flexfuel são vantagens competitivas construídas ao longo de décadas e tende a se ampliar com a introdução do biometano e a integração às tecnologias híbridas, especialmente com o etanol ou flexfuel.

• Projeção da frota de veículos leves

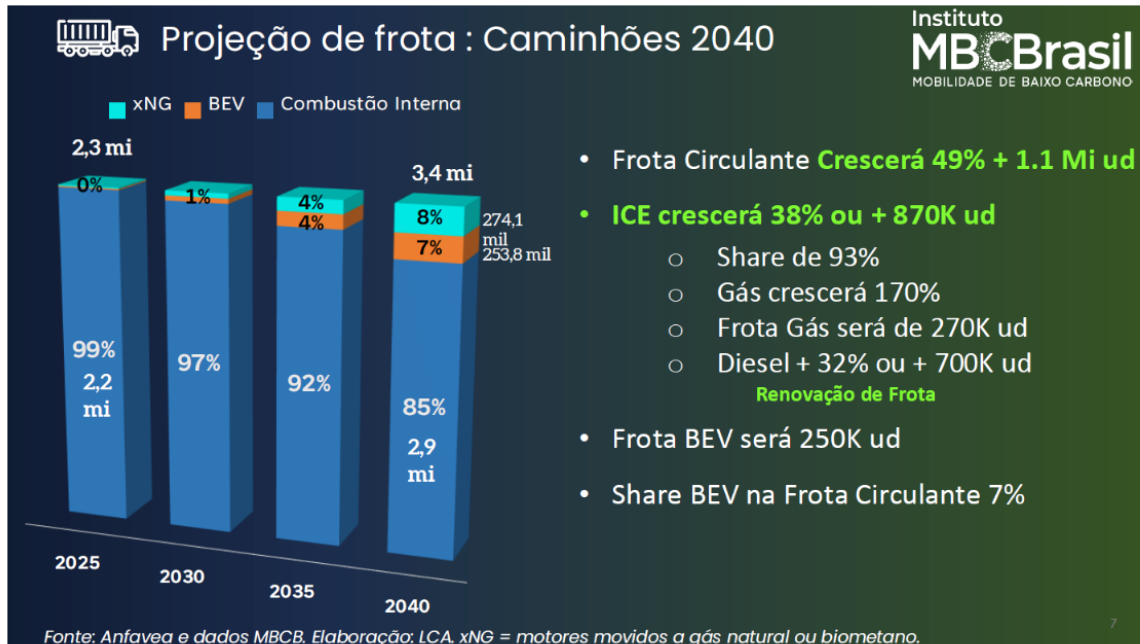
Mesmo com a expansão dos veículos elétricos e híbridos, motores a combustão continuarão presentes na maior parte da frota até 2040. Isso reforça a necessidade de combustíveis renováveis para reduzir emissões durante a transição.





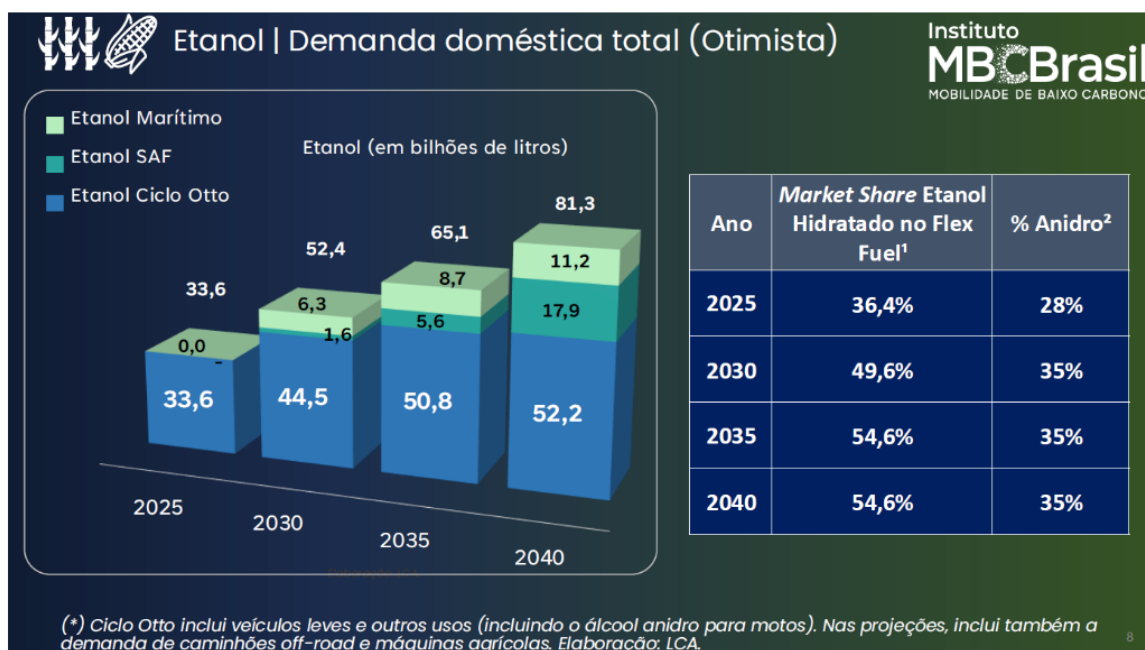
• Caminhões

No transporte pesado a eletrificação ocorrerá, mas de maneira gradual. Esse modal deverá continuar a ser majoritariamente movido por motores a combustão, com crescimento do biometano e do gás natural.



• Crescimento da demanda de etanol

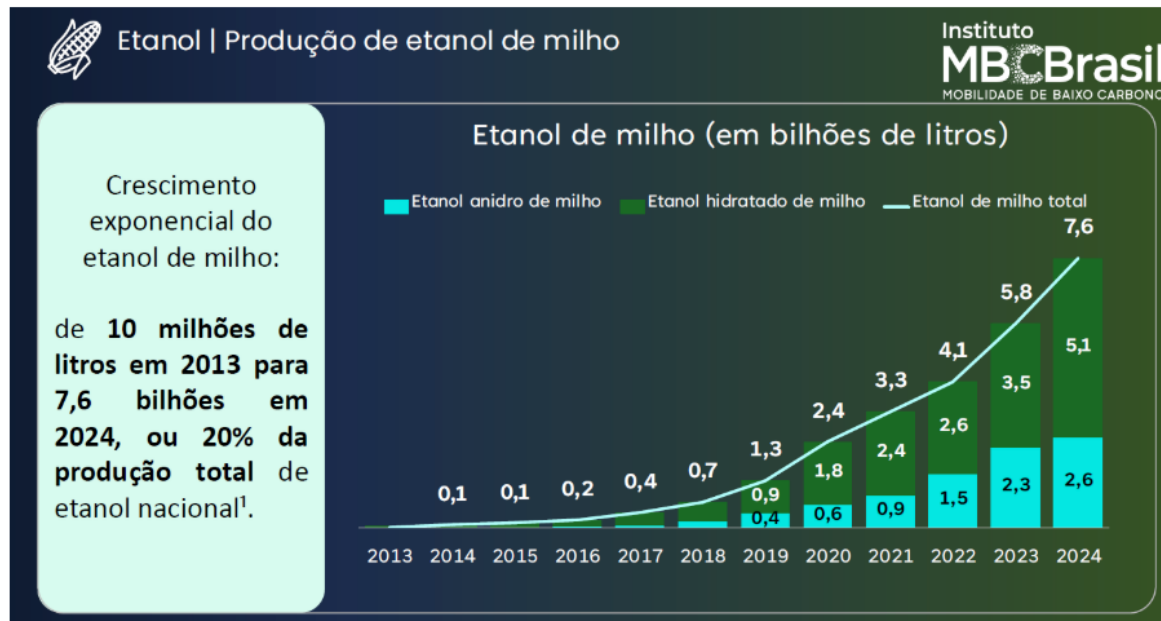
Para a demanda por etanol, a projeção é de forte expansão até 2040, incluindo novas aplicações como combustível marítimo e SAF, ampliando a importância econômica do setor sucroenergético. Destacamos que o crescimento estimado de 47,7 bilhões de litros entre 2025 e 2040 (crescimento anual composto de 6,1%) terá contribuição de 29,1 bilhões de litros do SAF e do combustível de uso marítimo (61%).





• Etanol de milho

O crescimento acelerado da produção de etanol de milho mostra que novas matérias-primas complementam a cana-de-açúcar e aumentam segurança energética e diversificação da produção nacional. A expansão da produção de açúcar deverá ser sustentada pelo uso da cana, e a produção de etanol deverá ser realocada para o milho. O etanol de milho e de cana-de-açúcar não são concorrentes, mas complementares especialmente se consorciados em usinas híbridas (flex) que utilizam ambas as tecnologias.



Segundo o mais recente relatório da OCDE e da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), o consumo mundial de açúcar deverá crescer, em média, 1,2% ao ano entre 2025 e 2034 e alcançar 202 milhões de toneladas em 2034 (hoje são cerca de 180 milhões de toneladas). A Ásia deverá ser o principal motor desse aumento (64%), com o avanço de Índia, Indonésia, Paquistão e China. A África (29%) também terá papel relevante. Aumento populacional, urbanização, elevação da renda e expansão do consumo de alimentos industrializados e bebidas em países emergentes estão na base desse movimento.

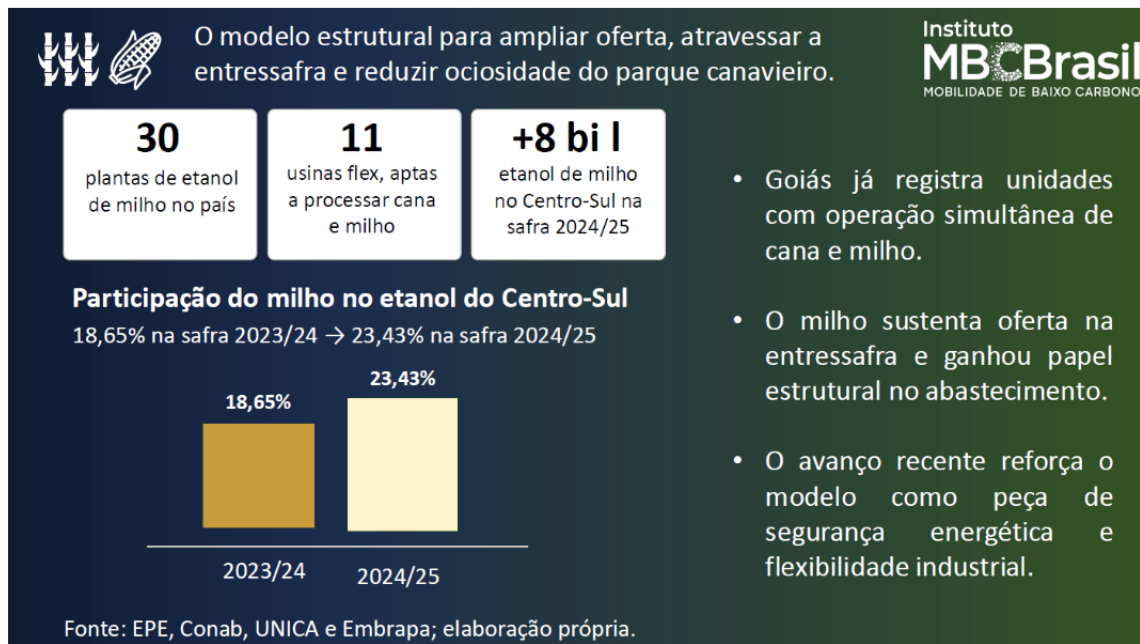
O Brasil deverá seguir como maior exportador mundial de açúcar e aumentar aos poucos a produção de açúcar em detrimento do etanol nas usinas flex (que podem produzir até 60/40 ou 40/60 entre açúcar e etanol, a depender da melhor condição econômica). O Brasil detém hoje 25% da produção mundial de açúcar e 50% do comércio internacional (e nesse último, deverá crescer).

Um aspecto relevante no mercado mundial é que o aumento da demanda por etanol, especialmente em países como a Índia, limita a oferta de açúcar para exportação. Essa tendência reforça o ponto de vista da Trígono: no médio e longo prazo, a cana-de-açúcar passará de *commodity* agrícola a matéria-prima estratégica da transição energética, capaz de abastecer simultaneamente os mercados de alimentos, energia e descarbonização da mobilidade.



• Integração cana-milho

A integração entre esses dois itens otimiza a infraestrutura existente ao reduzir custos, aumentar a eficiência industrial e diminuir a ociosidade das usinas.



A produção de etanol de milho é um dos segmentos que mais cresce no agronegócio brasileiro. Para os próximos dez anos, essa expansão devem continuar acelerada. Em cenários mais recentes da EPE, o processamento de milho destinado ao etanol poderá crescer entre 9,7% e 14,8% ao ano até 2030. Até 2035, o volume de milho processado poderá dobrar em relação aos níveis atuais.

Os principais fatores de crescimento são:

- expansão das usinas *flex* (processam tanto cana quanto milho);
- maior aproveitamento da segunda safra (safrinha) de milho, principalmente em MT, GO e MS;
- crescimento da demanda por etanol no mercado interno, impulsionado pela mistura obrigatória à gasolina (30%, podendo ir a 35%) e pela descarbonização dos transportes;
- coprodutos de alto valor, como o DDGS (grãos secos de destilaria), utilizado na alimentação animal (aumenta a rentabilidade das usinas).

Na visão da Trígono, esse crescimento é um dos pilares da biomobilidade brasileira. O etanol de milho complementa o de cana, permitindo que as usinas operem cerca de 330 dias (praticamente um ano inteiro). Usinas menos ociosas elevam a oferta sem necessidade de grandes expansões de área de cultivo. A combinação entre cana-de-açúcar e milho pode fazer do Brasil o maior e mais sustentável produtor de etanol do mundo. Além disso, as usinas canavieiras integradas à produção de energia de biomassa (bagaço) são uma importante vantagem para as híbridas ou integradas (milho e cana), reduzindo o risco e custos de utilização de cavaco de madeira. A evolução das usinas *flex* são indicadores do aumento da flexibilidade operacional do setor sucroenergético brasileiro: com elas, a oferta de etanol se mantém durante todo o ano, fortalecendo a segurança energética. Isso também contribui para a oferta de alimentos – através do DDGs fornecido ao setor de proteínas.





Ideal quando a usina de cana já possui escala, excedente energético e boa logística regional de milho.

Instituto
MBCBrasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

CAPEX estimado pela EPE

Ref: 1/L vs. + 2,5/L

usina flex planta full milho

- Reuso de vapor, cogeração, fermentação e destilação
- Menor necessidade de replicar infraestrutura pesada
- Maior tempo de operação
- Melhor diluição de custos fixos

Vapor & energia

A cana fornece biomassa e utilidades para a rota do milho.

Fermentação & Destilação

Parte relevante dos ativos industriais pode ser compartilhada.

Receitas adicionais

DDGS/WDG, óleo de milho, CO₂ e energia reforçam a tese econômica.

Fonte: EPE, Conab, UNICA e Embrapa; elaboração própria.

O compartilhamento da infraestrutura industrial torna mais eficiente economicamente a expansão da produção de etanol de milho, e otimiza o uso da energia de biomassa das usinas híbridas.

• Biometano

O biometano apresenta vantagens econômicas e ambientais expressivas, reduzindo custos operacionais dos transportes pesados e diminuindo drasticamente as emissões de carbono (GGE) e de materiais particulados (além dos ruídos dos motores) ante o diesel.



Biometano | Importância na descarbonização

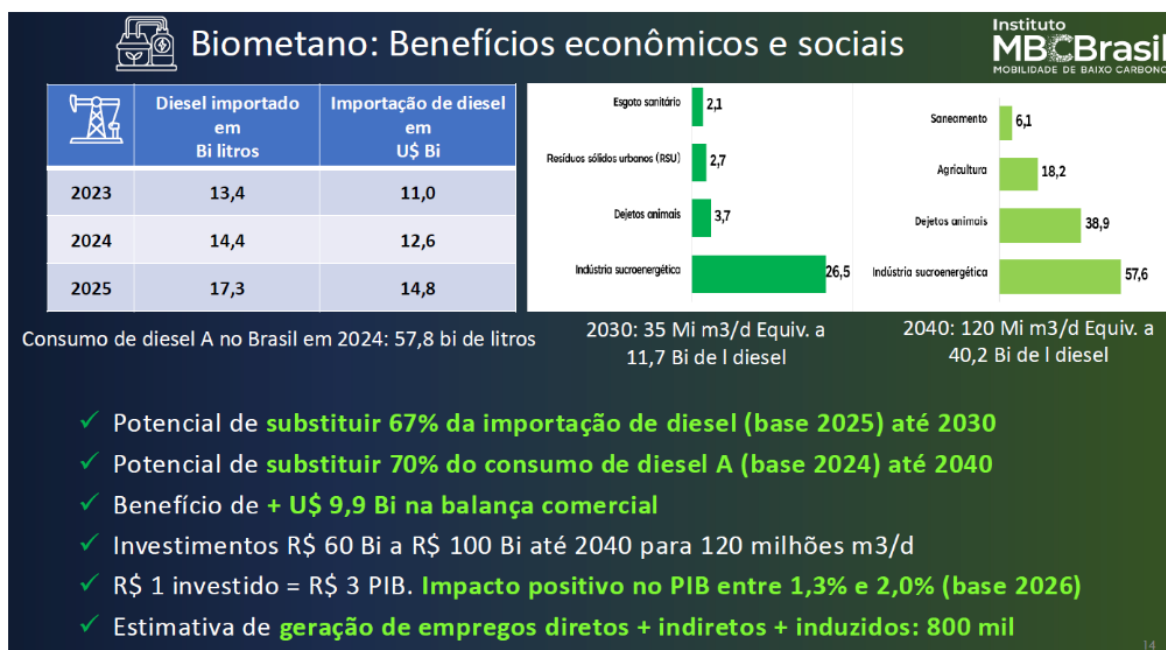
Instituto
MBCBrasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

Item/Combustível	Diesel B14 (litros)	GN (m³)	Biometano (m³)	
Km mês (km)	12.000	12.000	12.000	
km/litro ou km/m³	2,2	2,02	2,02	+9%
Consumo de combustível (litro ou m³)	5.455	5.941	5.941	
Preço atual (R\$/litro ou R\$/m³)	6,4	4,6	4,6	
Gastos mensal com combustível (R\$)	43.909	27.327	27.327	-38%
Economia mensal (R\$)	Referência	7.582	7.582	
Intensidade de carbono (gCO ₂ eq/litro ou gCO ₂ eq/m³) ¹	2.716	2.879	168	-94%
Emissão total (kgCO ₂ eq)	14.816	17.100	998	

¹Emissões ao longo do ciclo de vida (do berço ao túmulo). ² Fonte: Copersucar (2025). Disponível em: https://www.copersucar.com.br/website/wp-content/uploads/2025/10/estudo_copersucar_biometano_ly.pdf. OBS: equivalência de preço GN x biometano é hipótese para o médio prazo.

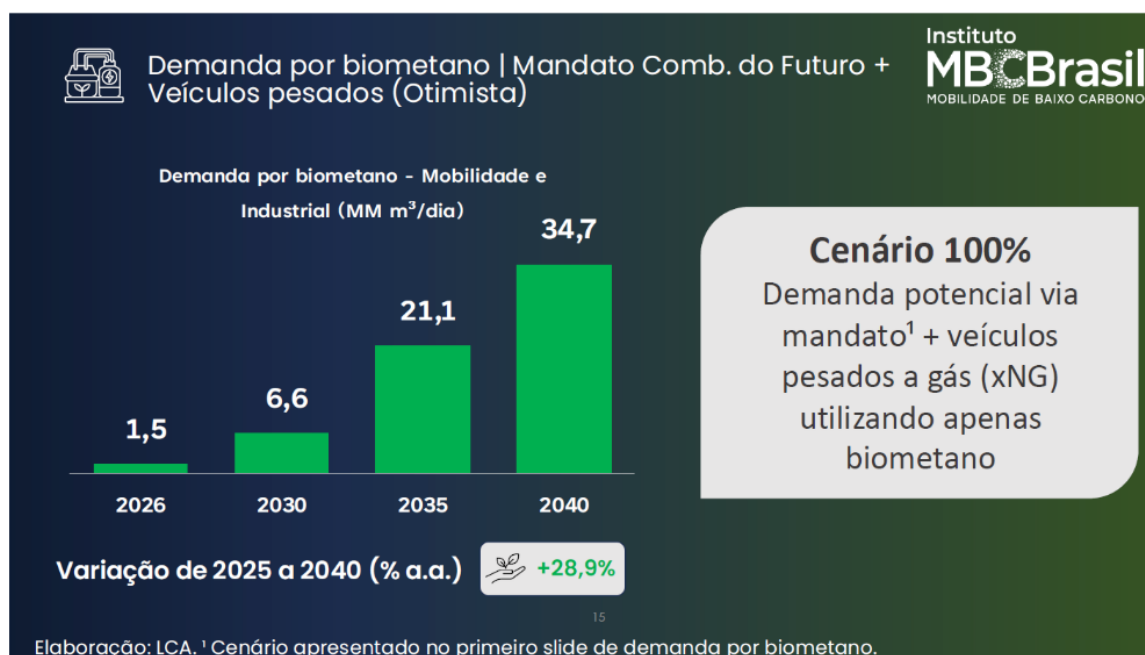
13

Além de reduzir emissões, o biometano deverá diminuir importações de diesel, gerar empregos e estimular investimentos relevantes também na indústria de motores e veículos pesados. Ganham a indústria e a economia brasileiras.



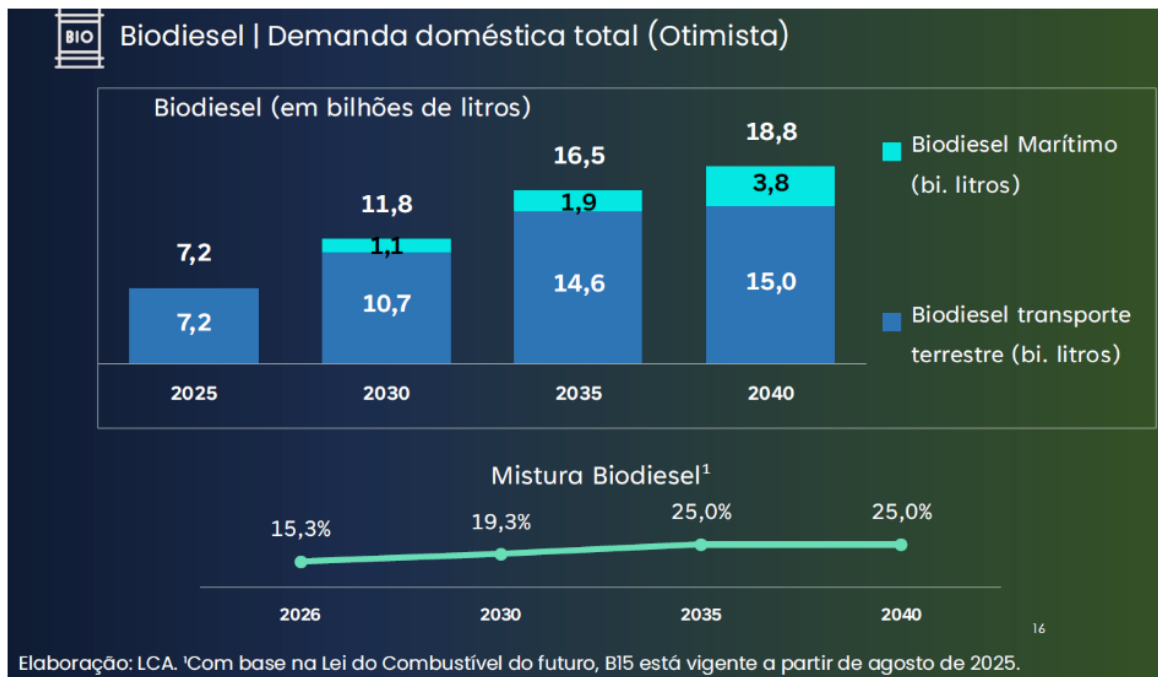
• Demanda futura por biometano

As projeções indicam crescimento acelerado da demanda por biometano, impulsionado pelas políticas públicas e pela expansão do transporte pesado de baixo carbono, considerando os objetivos de descarbonização, melhores práticas de ESG e o conceito TCOO.



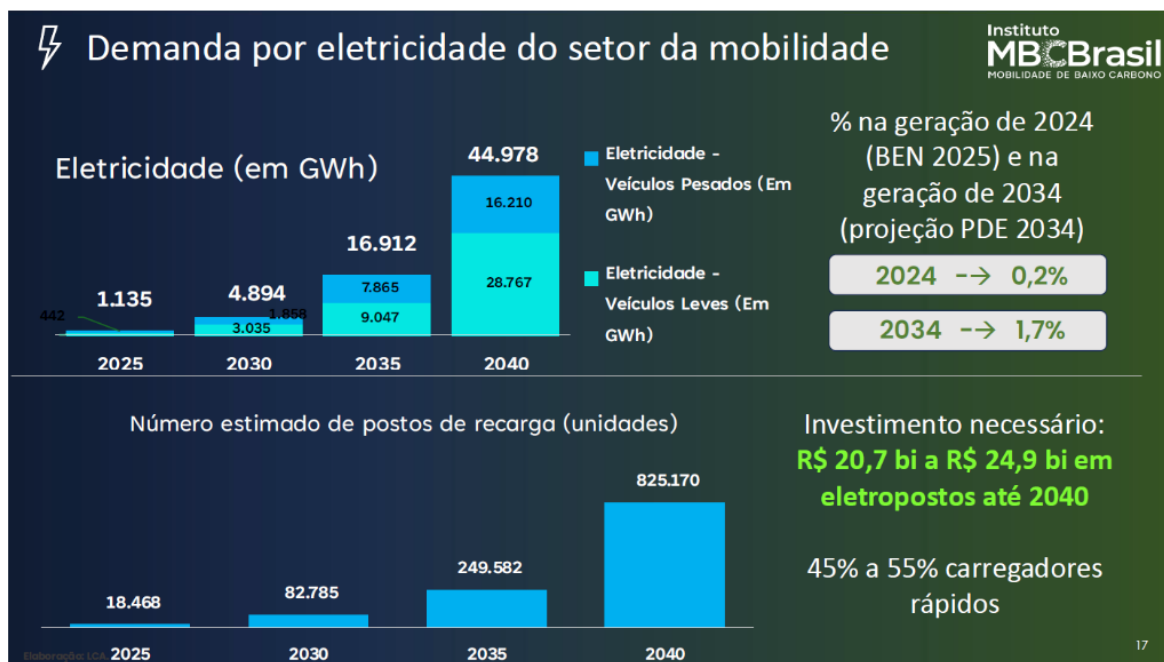
• Biodiesel

A produção de biodiesel deverá ter crescimento contínuo e a mistura obrigatória deve subir de forma gradual, dos atuais 15% até 25% em 2040.



• Eletrificação

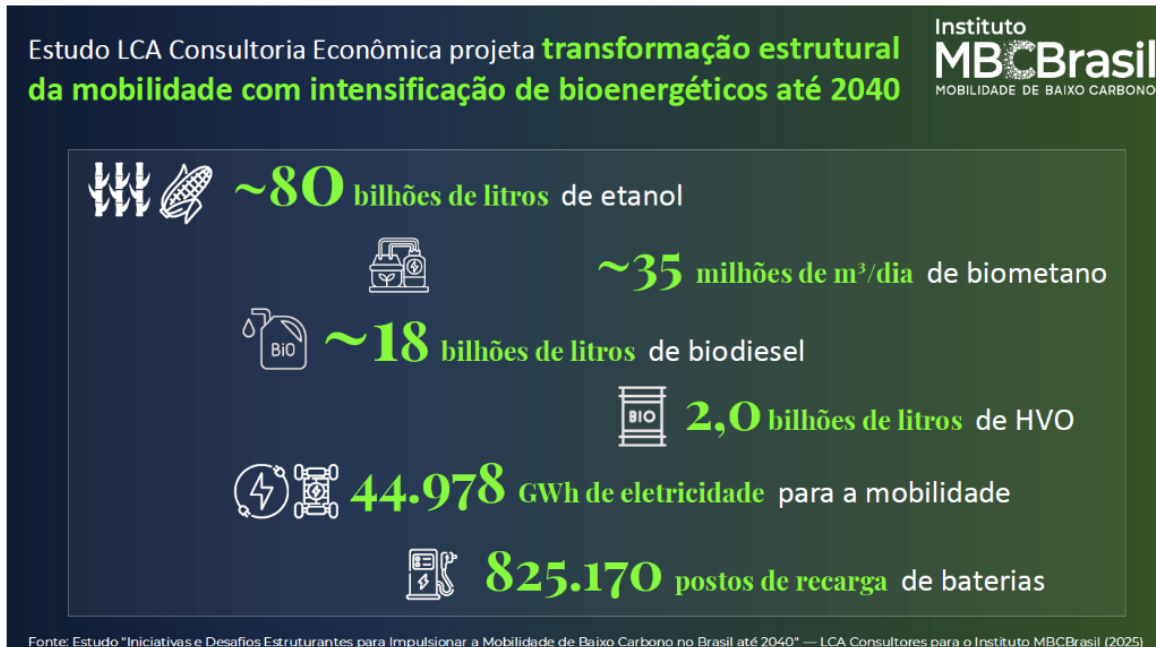
O avanço da eletrificação vai exigir elevados investimentos em infraestrutura de recarga e em baterias. No entanto, a demanda adicional por eletricidade não representará problemas pois continuará relativamente pequena diante da capacidade de geração do país. Posição muito mais favorável que a de países europeus e mesmo da China que seguem a via da eletrificação, mas dependem de energia térmica (em grande parte gerada por queima de carvão). Nos veículos pesados, a eletrificação se dará no transporte urbano e na logística urbana (conceito de última milha), com as muito bem-vindas reduções nas emissões de gases veiculares e na geração de ruído.





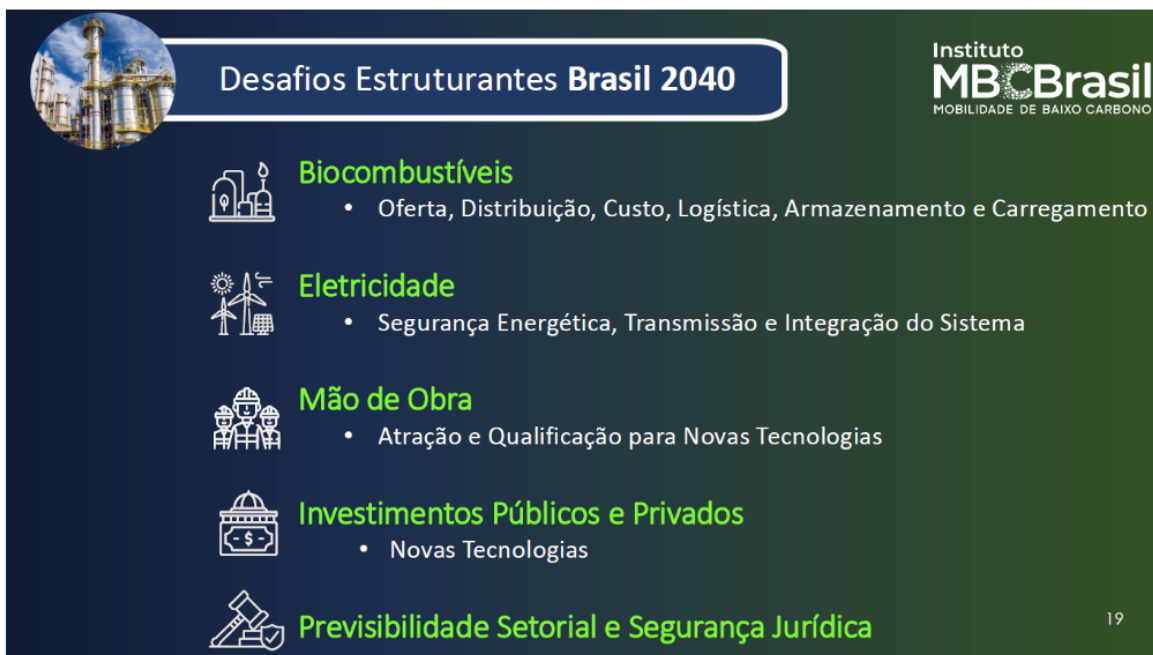
- **Cenário integrado para 2040**

A imagem a seguir mostra, de forma sintética, que a mobilidade de baixo carbono brasileira será resultado da combinação de etanol, biodiesel, biometano e eletrificação, e não da predominância de uma única tecnologia.



- **Desafios**

Os principais desafios para o sucesso dessa estratégia são: (i) expansão da infraestrutura; (ii) qualificação de mão de obra; (iii) investimentos públicos e privados; (iv) segurança jurídica; e (v) estabilidade regulatória.





• Visão estratégica

O Brasil, com seus recursos naturais, agroindústria e experiência em biocombustíveis, tem condições para se tornar polo e referência mundial de bioenergia e para liderar a descarbonização da mobilidade. Mostrar isso é, em suma, um dos principais objetivos deste **Palavra do Gestor**. Outro é mostrar que **a Trigono está inserida neste processo, investindo recursos de seus cotistas e investidores em empresas que atuam direta e indiretamente na biomobilidade.**

Internacionalização

Instituto MBG Brasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

O Brasil como um **cluster global em bioenergia e bio-descarbonização da mobilidade**, combinando matriz energética limpa, recursos naturais abundantes e um ecossistema industrial inovador.

Biocombustíveis **H₂V E-fuels** **Tecnologia Automotiva** **Bioenergia**

20

“Economias emergentes, utilizando-se até 10% de suas **terras disponíveis ou de pastagens**, podem produzir **100 bilhões de litros de biocombustíveis e evitar 300 MtCO_{2e} /ano**”

Abaixo, apresentamos uma análise individual de como cada uma das investidas da Trigono relacionadas a este tema se insere nesse cenário.

Empresas Investidas pela Trigono Capital e a biomobilidade

Kepler Weber-KEPL3

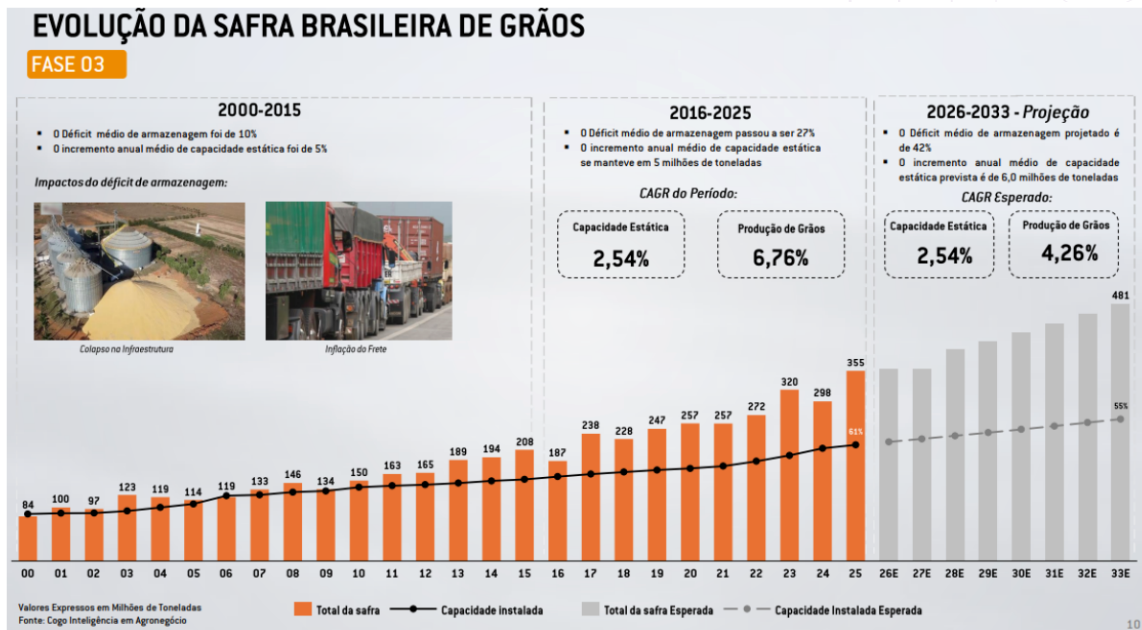
Empresa centenária (fundada em 1925), a Kepler Weber é líder no mercado de manufatura de silos e armazéns no Brasil. É também uma das empresas mais diretamente beneficiadas pela transformação do agronegócio, com o crescimento da produção de grãos e o desenvolvimento dos biocombustíveis. Tal crescimento demandará armazenagem adicional de grãos (milho e soja, além de canola, sorgo e trigo), que atenderão não só a cadeia dos biocombustíveis, mas a de itens como óleo vegetal, DDGs e farelos, voltados ao setor de proteínas e alimentação.

PRINCIPAIS IMPULSIONADORES DE CRESCIMENTO DA KEPLER WEBER: EXPANSÃO DE HORIZONTES NO AGRONEGÓCIO

- TENDÊNCIA GLOBAL**
 - Aumento da população global
 - Crescente demanda por grãos, ração animal e biocombustíveis
 - Urbanização e mudanças demográficas
- AGRICULTURA DO BRASIL**
 - Líder global em produção e exportação de alimentos
 - Único país com duas colheitas anuais
 - 25 anos de crescimento consistente na produção de grãos
 - Industrialização do Agronegócio
- LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA**
 - Aumento do déficit de armazenamento de grãos conforme a produção aumenta
 - Necessidade de melhoria na infraestrutura de transporte
 - Crescimento na automação
- INCORPORAÇÃO DE NOVAS RECEITAS**
 - Desenvolvimento de soluções tecnológicas de alto valor
 - Maximização do mercado endereçável para crescimento sustentado

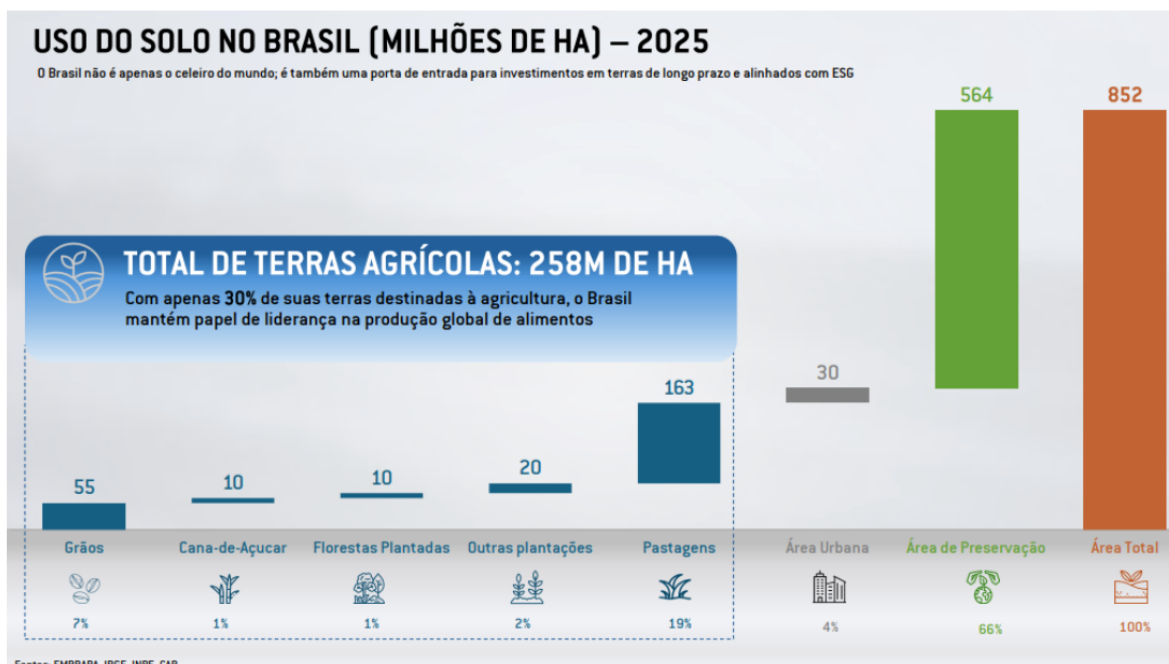


Segurança alimentar: a projeção para 2050 é de um planeta com cerca de 10 bilhões de habitantes. Isso exigirá mais produção agrícola, que terá que ser transportada, processada e armazenada, reduzindo-se perdas pós-colheita. O Brasil deverá responder por cerca de 60% da produção mundial adicional de grãos, atendendo o setor de alimentos e biocombustíveis.



O Brasil ainda perde milhões de toneladas de grãos por armazenagem deficiente. A produção ainda perde cerca de 20% do valor econômico devido ao custo de frete no pico da safra e ao preço menor dos grãos no pico da comercialização. Uma infraestrutura de armazenamento permite uma maior renda do produtor e reduzir significativamente o custo do investimento.

O país tem cerca de 30% de sua área com terras agricultáveis, com 2/3 em áreas de preservação e uma área de pastagens equivalente a três vezes a área destinada a produção de grãos. Isso abre espaço para um crescimento expressivo na produção de grãos com a ocupação das áreas de pastagens (em grande parte degradadas e carentes de recuperação).





A Kepler atua justamente nesse gargalo, oferecendo silos, armazéns, sistemas de secagem, transbordo de grãos, automação e peças de reposição (*aftermarket*).

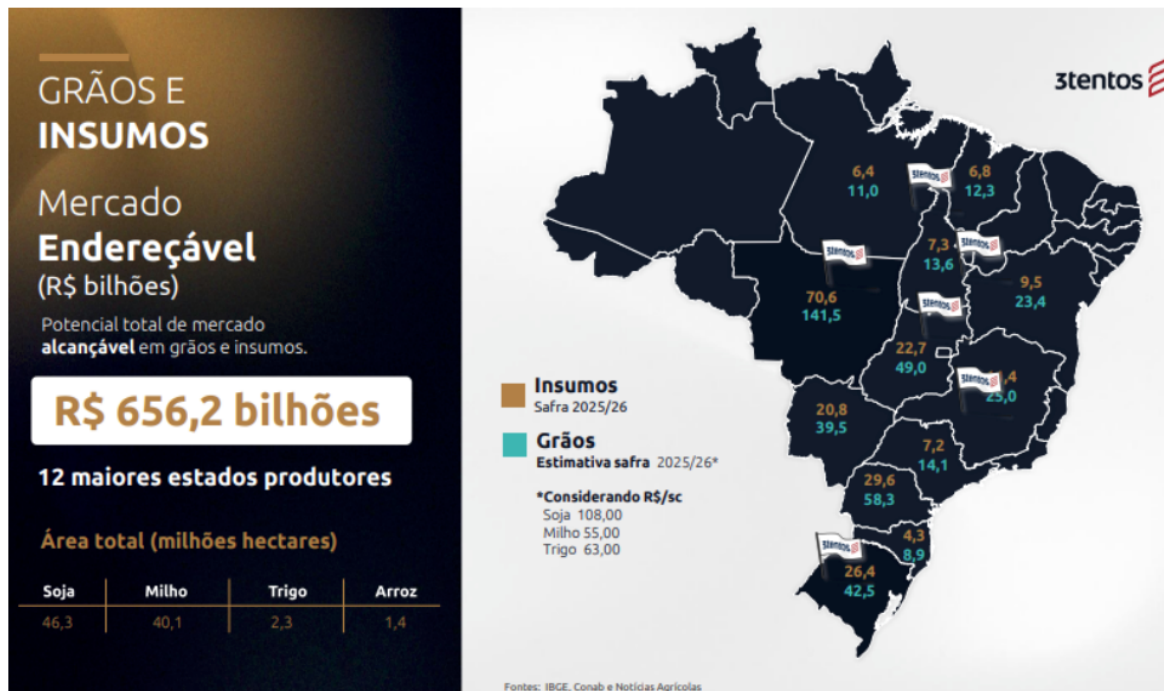
Principais oportunidade em biomobilidade: etanol de milho; biodiesel; SAF; biogás em sistemas de secagem, substituindo cavacos de madeira como fonte e energia de biomassa. Através da controlada Procer, a KW atua no sensoriamento remoto dos silos, na manutenção preventiva e no controle de fluxo de grãos, informação estratégica para setores logísticos e tradings.

3tentos-TTEN3

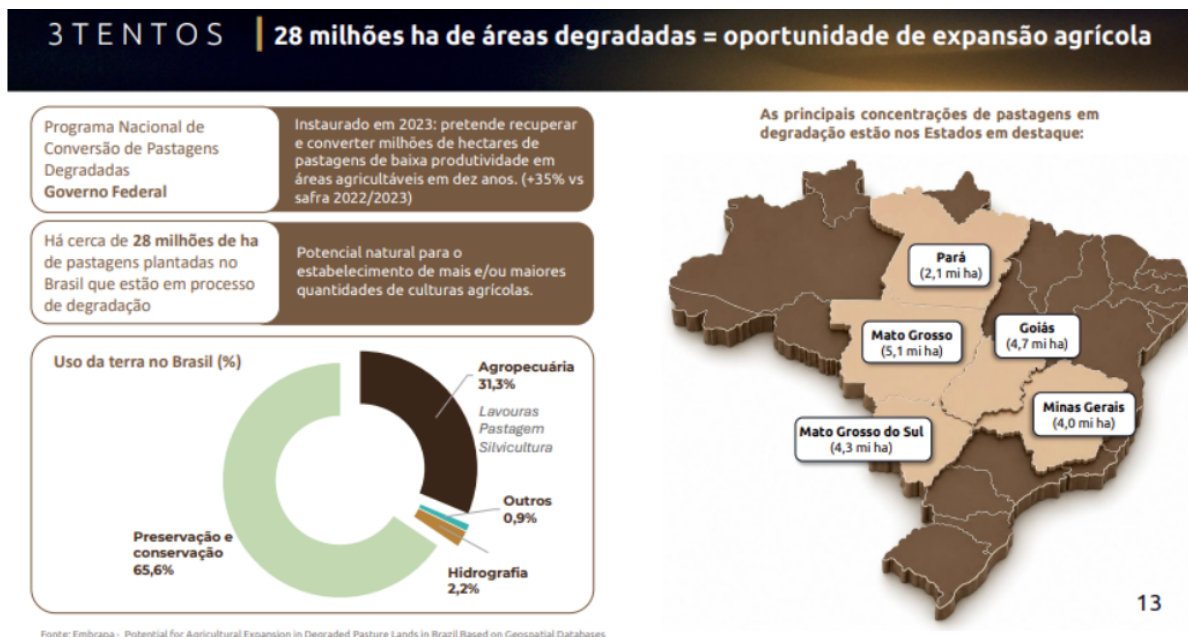
Talvez seja a empresa investida pela Trígono que mais sintetiza toda a tese da transição energética brasileira e fonte alternativa de biocombustíveis. Crescimento do agronegócio, produção de sementes, comércio de insumos, produção de biocombustíveis, tecnificação da agricultura e integração dos negócios, está tudo presente na 3tentos, com a cadeia praticamente toda conectada e integrada.



Agricultura: produção e comércio de sementes; comércio de fertilizantes e defensivos; assistência técnica, financiamento e aquisição de grãos, *trading* de grãos, logística (seis terminais marítimos), e coprodutos de biodiesel e etanol de milho (DDG, óleo vegetal bruto, farelos).



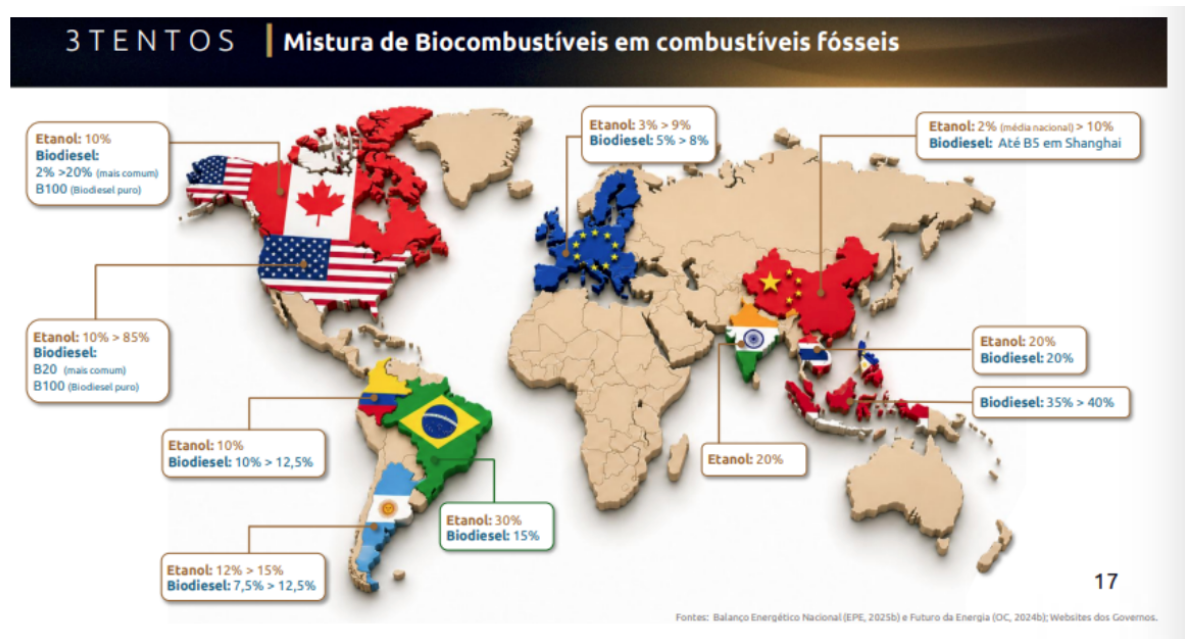
Biodiesel e etanol de milho: uma das maiores produtoras brasileiras de biodiesel, iniciou em maio deste ano a produção de etanol de milho. O crescimento das misturas obrigatórias (E32, E35, B16, B20, B25 etc.) aumenta estruturalmente a demanda.



Economia circular: trata-se de um dos melhores exemplos de economia circular, da originação da produção de sementes e grãos à industrialização e ao comércio de coprodutos.



A imagem a seguir ilustra a produção de biodiesel e de etanol de milho no mundo. O Brasil tem o maior potencial de crescimento pela área disponível e políticas sustentáveis de incentivo à substituição de combustíveis de natureza fóssil por biocombustíveis.

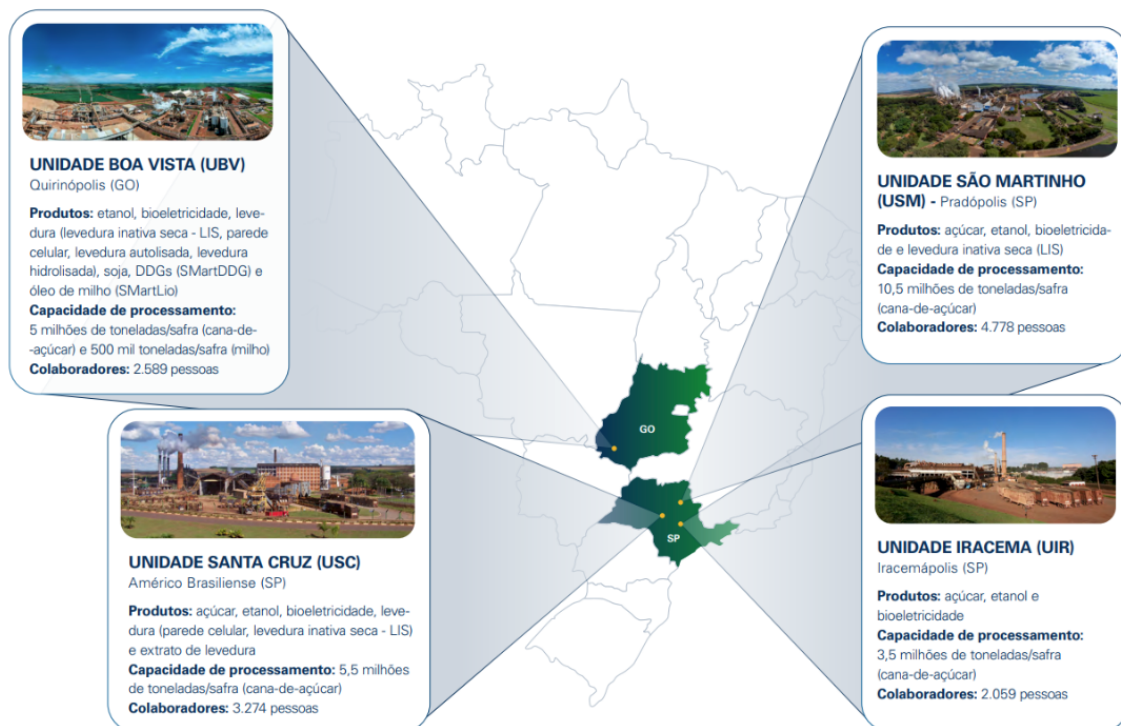


São Martinho-SMT03

A São Martinho representa praticamente toda a evolução da biomobilidade brasileira. A empresa atua no setor canavieiro (etanol e açúcar), e no de etanol de milho, entregando DDGs, leveduras, biometano e energia elétrica de biomassa (de bagaço) de forma integrada. A empresa possui 55 mil ha próprios de canaviais e gera a energia elétrica utilizada em suas próprias unidades industriais. Em Pradópolis (SP) -Usina São Martinho, está a maior planta processadora de cana-de-açúcar do mundo.



Ativos sob Gestão	4 usinas
Empregados	~12.500
Capacidade de Produção¹	
Capacidade Moagem	27,0 mi tons
Canas de Açúcar	24,5 mi tons
Moagem de Milho Equivalente	2,5 mi tons
Açúcar	1,6 mi tons
Etanol	1,3 Bi litros
Cogeração	1,1 TWh
% Cana Própria/Terceiros	70%/30%
Terra Própria	55.000 ha
% de Mecanização	100%



A São Martinho está entrando no mercado de biometano de forma gradual, mas com visão de longo prazo bastante ambiciosa. A primeira planta fica na Unidade Santa Cruz, em Américo Brasiliense (SP), e utiliza como principal matéria-prima a vinhaça, um resíduo da processamento industrial da de cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar.

Os principais números do projeto são:

- **15,6 milhões de Nm³:** capacidade aproximada de produção de biometano por safra (durante o período de moagem);
- **40%:** capacidade aproximada disponibilizada na safra 2025/26;
- **100% em 2026/27:** capacidade em operação esperada partir da próxima safra.



O investimento total é de cerca de R\$ 250 milhões, abrangendo biodigestores, sistema de purificação do biogás, dessulfurização, compressão e conexão à rede de distribuição de gás. Essa primeira planta representa aproximadamente 20% do potencial total de produção de biometano da empresa. Os demais 80% poderão vir a ser desenvolvidos nas unidades São Martinho e Iracema (em SP) e Boa Vista (em GO), a depender de atratividade econômica e condições de mercado.

Ou seja: mantida essa proporção, o potencial total da companhia poderia gravitar ao redor de **75 milhões ou 80 milhões de Nm³ por safra**, lembrando que a empresa ainda não anunciou cronograma para todas essas implantações. Esse projeto faz da São Martinho uma empresa cada vez mais integrada, com um futuro de biometano e etanol movendo sua frota de veículos e tratores, tão logo tais motores e veículos sejam desenvolvidos.

Essa estratégia aumenta a captura de valor da biomassa, reduz a dependência dos ciclos de preços do açúcar e do etanol e a emissão de GGEs, e ainda gera créditos de carbono (CBIOs). O biometano é particularmente relevante na redução de GGEs e custos, e o Brasil, para que não percamos de vista, é um dos países com uma das maiores disponibilidades de biomassa do mundo.

A São Martinho reúne vantagens difíceis de replicar:

- grande escala de produção de cana-de-açúcar própria;
- oferta contínua de vinhaça utilizada em fertirrigação e biometano;
- infraestrutura industrial já instalada (escala industrial, baixo custo logístico pela proximidade entre canaviais e usinas e entre usinas e o maior mercado do Brasil, o Estado de SP;
- proximidade ao porto de Santos (via modal ferroviário).

A São Martinho deverá produzir futuramente o SAF, incrementando o valor agregado do etanol através da rota tecnológica ATJ (*Alcohol-to-Jet*). Esse pode ser um enorme vetor de crescimento e de aumento da rentabilidade da empresa.



Mahle Metal Leve-LEVE3

A empresa produz autopeças, componentes de motores a combustão interna, filtros automotivos e componentes utilizados na eletrificação de veículos.

Centro de Bio-Mobilidade Global MAHLE



Global Bio-Mobility Center
South America



MAHLE

O Grupo MAHLE lançou, em 23 de setembro, o **centro de competência global de P&D da MAHLE na América do Sul**, para liderar o **desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de biocombustíveis e biomateriais**, apoiando a descarbonização e possibilitando seu uso em larga escala em todo o mundo, como parte da **estratégia sustentável de MCI**.



O MAHLE Tech Center South America está liderando o centro de Bio-Mobilidade dentro do Grupo MAHLE

Com mais de 70 anos de atuação no Brasil, a Metal Leve faz parte do grupo alemão Mahle, um dos maiores grupos do mundo no setor de autopeças. Criado nos anos 1920, o Grupo Mahle emprega 72 mil funcionários em atuação em mais de 160 plantas industriais distribuídas em vários países. Possui 12 centros de pesquisa e desenvolvimento (Alemanha, Grã-Bretanha, EUA, Brasil, Japão, China e Índia), com mais de 5.000 engenheiros e técnicos trabalhando em produtos, sistemas e conceitos futuros, com os dados e tecnologia compartilhados entre todas as unidades. A Metal Leve, em sua unidade em Jundiaí (SP), é a responsável mundial por desenvolvimento de biomobilidade.

Nossa Visão para o Futuro:

Implicações do Mercado para a Estratégia Corporativa MAHLE 2030+

MAHLE





A empresa ocupa posição estratégica na transição energética e nas novas rotas tecnológicas da biomobilidade e eletrificação de veículos, incluindo as soluções híbridas. O Brasil continuará líder mundial na tecnologia de etanol e *flexfuel*, enquanto os atuais motores a combustão deverão ser 100% substituídos na fabricação por novos motores e tecnologias para cumprir metas de eficiência energética e de emissões veiculares. A demanda por motores cada vez mais eficientes e por componentes mais sofisticados só fará crescer e aumentar conteúdo tecnológico e agregação de eficiência energética e valor agregado.

Potencial de Produção de Outros Combustíveis Renováveis no Brasil

MAHLE

		Produção Atual (Anual)	Produção Potencial (Anual)	Potencial de substituição aos combustíveis fósseis
	Etanol	30 Bi litros	80 Bi litros	100% de combustíveis fósseis para veículos flex
	Biometano	1,8 Bi m ³	82,6 Bi m ³	80% do consumo de Diesel
	HVO/Biodiesel	6,6 Bi litros	28,4 Bi litros	167% Querosene de aviação
	Hidrogênio Verde	0	3,8 Bi toneladas	105% H ₂ Cinza

Grande potencial na produção de energias renováveis para a descarbonização de vários meios de transporte

Fonte: Panorama do biogás no Brasil, 2020, 1/2021 | Cibiogas | Plano Decenal da EPE 2031 (2022) | abiove.org.br/statistics | CANAL RURAL 19/05/2022 | Hidrogênio Verde - McKinsey 2021/ | Clean Hydrogen Monitor 2022 | Demanda de Energia dos Veículos Leves do Ciclo Otto: 2022 2031 EPE

Tecnologia e soluções inovadoras:

Hidrogênio: o Grupo Mahle desenvolve o potencial de todas as tecnologias de powertrain disponíveis, em busca da neutralidade nas emissões de CO₂. Motores a hidrogênio são ideais para aplicações de alta carga com etapas, robustos em ambientes agressivos com calor, contaminação e vibração. São, no entanto, limitados pelo custo da produção do hidrogênio e pela logística de distribuição.

Biocombustíveis: ganharam atenção especial em 2023, com o lançamento do **GBA** (*Global Biofuels Alliance*), iniciativa que conta com, entre outros, Brasil, Índia, EUA, Itália e Argentina. A iniciativa mostra o potencial dessa rota tecnológica para se chegar à mobilidade neutra em carbono no futuro próximo. Em razão do etanol há várias décadas no Brasil, ampliado com a introdução dos veículos *flexfuel*, a Metal Leve construiu um extenso corpo de conhecimento em biocombustíveis, que tem apoiado o contínuo desenvolvimento de tecnologias dos principais clientes. Para veículos leves, nas aplicações *flexfuel*, a Metal Leve desenvolveu tecnologia para permitir uma maior paridade entre etanol e gasolina, com ganho econômico e redução das emissões veiculares.

Gerenciamento térmico: a tecnologia para resfriar e aquecer componentes do veículo é fundamental para a mobilidade: motores a combustão, motores elétricos, baterias eletrônicas de potência, inversores, transmissões em veículos elétricos, tudo isso necessita de resfriamento ou aquecimento para funcionar de forma eficiente e segura. O Grupo Mahle desenvolveu essa competência com foco na eletrificação, com seus módulos de gerenciamento térmico, que consolidam diversas funcionalidades em um único sistema, reduzindo a necessidade de integrar componentes (o que gera custos adicionais e causa perda de eficiência). Alguns componentes, como a bateria, têm uma



faixa de temperatura de uso muito estreita, necessitando de controle de temperatura preciso, para garantir a vida útil e a segurança de operação.

Soluções de diagnósticos para bateria de veículos elétricos: diagnosticar a bateria é essencial para manutenção e reparo de um veículo elétrico. Esse produto inovador do Grupo Mahle oferece uma solução completa de serviço que permite a oficinas independentes fazer o diagnóstico completo do estado de vida das baterias, fornecendo informações precisas, aplicáveis para todos os modelos e fabricantes.

Machine learning para eficiência energética: o desenvolvimento e a aplicação do algoritmo que faz uso de técnicas de *machine learning* para prever a eficiência energética de veículos de passeio apoiou-se na análise do potencial das diversas tecnologias na redução das emissões de CO2 na frota de veículos brasileira. O trabalho gerou um artigo, apresentado no 30º Simea (Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva) e recebeu o prêmio de melhor artigo na categoria digitalização.

Tendências na Tecnologia Local

MAHLE

		
 Motor de Combustão Interna	Otimizações com o objetivo de aumentar a eficiência (ROTA2030) e reduzir as emissões de gases (Proconve L8)	Otimizações com o objetivo de aumentar a eficiência (Vecto) e reduzir as emissões de gases (Proconve L8)
 Biocombustíveis	Aumentar a participação do etanol na matriz energética	Aumento do teor de biodiesel e introdução de HVO e biometano
 Eletificação	Não será a rota principal, mas com um aumento gradual nos grandes centros urbanos	Introdução em nichos (ônibus urbanos e veículos urbanos de carga – VUCs)
 Hibridização	Popularização do flex híbrido com motor à combustão	Iniciativas pontuais de baixo impacto

Os recursos energéticos e políticas locais orientam a rota tecnológica. Não há uma única solução global

Fonte: Companhia

31



Marcopolo-POMO4/POMO3

Líder na produção de carrocerias de ônibus, a Marcopolo é um dos principais exemplos de mobilidade sustentável e com perspectivas de ampliação significativa nas diversas alternativas, como biometano/GNV, híbrido elétrico-etanol, eletrificação e, futuramente, a introdução do H2. A empresa também desenvolve soluções metroferroviárias inovadoras.



**Attivi Integral - Ônibus Elétrico
100% Marcopolo**



**Biarticulado Elétrico –
chassis de parceiro**



**Volare Fly 10 GV, movido a gás veicular
(GNV/Biometano)**



Volare Híbrido - Etanol/Elétrico

Muitos países emergentes, incluindo alguns em que a Marcopolo atua (como África do Sul, Argentina, Colômbia e a México) passarão pelo mesmo processo de transição vivido hoje pelo Brasil. Urbanização, necessidade de melhorar a qualidade e a eficiência dos transportes público e escolar e reduzir emissões veiculares serão vetores muito importantes.



Entre as principais iniciativas da Marcopolo em descarbonização estão:

1. Ônibus 100% elétricos: o Attivi Integral é o primeiro ônibus elétrico com chassi e carroceria desenvolvidos pela própria empresa no Brasil, com zero emissões no escapamento. Outros atrativos são o nível menor de ruído e a elevada eficiência energética (voltada principalmente para grandes centros urbanos);

2. Híbrido elétrico/etanol: talvez a inovação mais alinhada às vantagens competitivas do Brasil. O micro-ônibus Volare Attack 10 Híbrido Elétrico/Etanol tem tração 100% elétrica, com um motor a etanol apenas para gerar eletricidade, aumentando a autonomia para cerca de 450 km e reduzindo a necessidade de infraestrutura de recarga. É uma solução inovadora que combina eletrificação, biocombustíveis e infraestrutura já existente de abastecimento de etanol;

3. Biometano e GNV: ônibus movidos a biometano e gás natural (flex) também estão no portfólio da empresa. Os benefícios desses veículos incluem: redução significativa das emissões de CO₂; supressão de emissão de material particulado; elevada autonomia frente aos elétricos; e, cereja do bolo: custo muito menor. Neste ano, Marcopolo e Scania entregaram os primeiros ônibus articulados do Brasil movidos a gás/biometano para o BRT de Goiânia – projeto que prevê incorporação de centenas de veículos até 2027;

4. Hidrogênio: a Marcopolo também desenvolve veículos com tecnologia *fuel cell* (célula a combustível), com a qual o hidrogênio gera eletricidade a bordo. O único subproduto é o vapor d'água. Embora ainda seja um mercado inicial, a empresa considera essa uma opção importante para rotas de maior autonomia.

5. Biocombustíveis renováveis; além das novas tecnologias, a Marcopolo incentiva o uso de biodiesel, diesel verde (HVO), biometano e etanol. Essa estratégia aproveita a infraestrutura já existente e acelera a redução das emissões sem depender exclusivamente da eletrificação.

Schulz-SHUL4

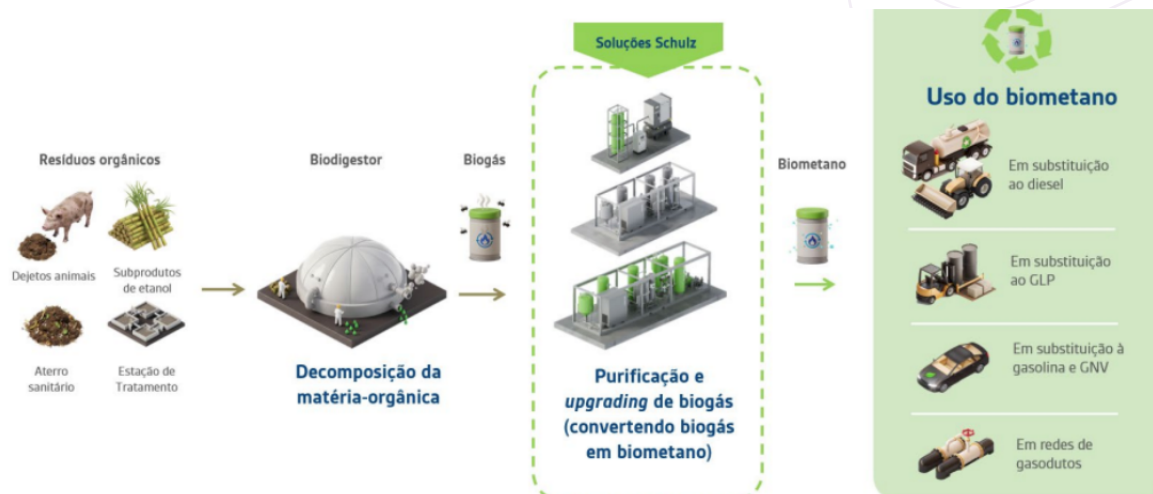
A Schulz é pouco associada à transição energética, pois sua área de atuação segue mais pelos setores de componentes automotivos para veículos pesados e compressores a ar. Mas as conexões, na verdade, são muitas. A empresa está deixando de ser apenas fabricante de compressores de ar para se posicionar como fornecedora de infraestrutura para a transição energética e componentes de reposição (*after-market*). A mudança é pouco conhecida (e menos ainda precificada pelo mercado), mas pode representar uma importante avenida de crescimento, aumento na rentabilidade e geração de valor econômico aos acionistas.

Como parte do seu compromisso com a redução das emissões, foram estabelecidas metas concretas de redução nas emissões de carbono: 30% nos escopos 1 e 2 até 2025, e 55% até 2030. No ano passado, a Schulz já investiu em geração própria de energia, com a compra de participação no Complexo Solar Janaúba (no norte de MG o maior do Brasil). A compra representou um avanço expressivo, já que a companhia passou em 2025 a consumir 100% de energia elétrica vinda de fontes renováveis. A empresa antecipou-se em cinco anos, superando já a meta no Escopo 2, estabelecida para 2030.



Os principais pilares na transição energética e crescimento estão abaixo elencados:

1. Biogás e biometano: a iniciativa mais relevante é o **Bio System® Schulz**, plataforma completa para produzir biometano a partir de biogás. O sistema compreende praticamente toda a cadeia: compressão do biogás; pré-tratamento; remoção de impurezas (CO_2 , H_2S e umidade); purificação (*upgrading*); recompressão do biometano; e armazenamento e entrega para uso industrial, abastecer veículos ou injetar na rede de gás natural. A solução atende usinas sucroenergéticas, granjas, suinoculturas, confinamentos de bovinos, aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto, indústrias de alimentos e distribuidoras de gás.



2. Compressão de gases: Independentemente da fonte energética, gases precisam ser comprimidos para transporte e armazenamento, e a Schulz oferece soluções para ar comprimido, gases industriais, biometano e sistemas de alta pressão. Os equipamentos operam com pressões suficientes para abastecer veículos pesados movidos a biometano.

3. Hidrogênio: embora não tenha anunciado uma linha comercial completa dedicada ao hidrogênio verde até o momento, a tecnologia da empresa é aplicável a esse futuro mercado e que exigirá infraestrutura semelhante à utilizada no biometano. Assim, o desenvolvimento do mercado de hidrogênio representa uma importante oportunidade de longo prazo, integrada a outras empresas aqui apresentadas.

4. Eficiência energética: outra frente importante é a de redução do consumo de energia nas indústrias, com compressores e motores elétricos mais eficientes, sistemas de monitoramento remoto, controle inteligente do consumo e automação da operação. Como ar comprimido e gases podem representar parcela significativa do consumo de eletricidade nas indústrias, ganhos de eficiência reduzem emissões e custos.

Se confirmar nossa tese de expansão do uso do biometano no Brasil, impulsionado por usinas de cana, agronegócio e saneamento, a Schulz tende a fornecer parte crítica da infraestrutura necessária. Em vez de produzir o biocombustível, ela fornece equipamentos que permitem transformar biogás em biometano, comprimi-lo, armazená-lo e distribuí-lo. É como na corrida do ouro nos EUA, no século 19: alguém tinha que fornecer as pás e picaretas. Seja qual for o fornecedor de biometano que venha a prevalecer, todos precisarão de sistemas de compressão, purificação e armazenamento. A Schulz está na posição ideal para se beneficiar (ainda que indiretamente) da descarbonização da economia brasileira.



Tupy-TUPY3

A Tupy, com seus mais de 4 mil técnicos e engenheiros, é líder na fabricação de componentes fundidos de ferro com grande complexidade geométrica e metalúrgica no processo industrial. A empresa foi a primeira fundição no mundo a produzir comercialmente em larga escala o ferro CGI (*Compacted Graphite Iron*), ou ferro vermicular, que permitiu a produção de motores mais potentes, leves e eficientes, e menores emissões de gases veiculares (portanto, menos poluentes). O ferro fundido vermicular ou CGI é cerca de 75% **mais resistente** que o ferro fundido cinzento e possui excelente condutividade térmica e boa usinabilidade. Essas características permitem fabricar blocos e cabeçotes de motores mais leves, compactos e capazes de suportar pressões elevadas, algo essencial para eficiência energética e redução de GEE.

Seus produtos estão principalmente em veículos pesados com múltiplas aplicações, de veículos comerciais, máquinas agrícolas e *offroad* a embarcações, motobombas e geradores de eletricidade. Sua subsidiária integral, a MWM, monta e fabrica motores a combustão que utilizam diesel, mas também substitutos que utilizam etanol e biometano/GNV em diversas aplicações.

Acreditamos que a Tupy é uma das empresas industriais mais voltadas a descarbonização e economia circular. Entre as diversas parcerias e iniciativas, destacamos a anunciada em 30 de setembro de 2025: por meio da MWM, a Tupy tornou-se a distribuidora oficial da chinesa Yuchai na América Latina, através de uma rede de cerca de 1.000 distribuidores de peças. Entre as iniciativas da parceria estão ainda:

- Ampliação do portfólio de motores para aplicações *offroad*, geração de energia, construção, agronegócio e setor marítimo;
- Oferta de grupos geradores de grande porte, incluindo soluções para datacenters;
- Desenvolvimento conjunto de motores movidos a biometano e etanol, além de aplicações para metanol e gás liquefeito;
- Estudos para produzir motores de grande porte da Yuchai no Brasil, utilizando a capacidade industrial e de engenharia da Tupy/MWM.

Para a estratégia da Tupy, a parceria com a Yuchai é bastante relevante porque complementa a aquisição da MWM. Em vez de desenvolver sozinha uma linha completa de motores de grande porte, a empresa obteve acesso imediato à tecnologia de uma das maiores fabricantes mundiais de motores, acelerando sua atuação em descarbonização, geração distribuída, agronegócio e infraestrutura energética.

A seguir, destacamos as principais atividades da Tupy em biomobilidade, transição energética e economia circular:

- **Motores agrícolas a etanol:** potência de 230 cv e performance equivalente ao diesel, com redução significativa de CO₂, autossuficiência no combustível e redução de custos, economia circular, aplicável à política pública do Renovabio;



- **Motores biometano/GNV:** redução de GGE, autossuficiência do combustível e economia circular (dejetos, vinhaça), redução do nível de ruídos e no custo do combustível, com potência, desempenho e autonomia equivalentes ao diesel. A MWM produz motores para uso de biometano/GNV e oferece a substituição de motores diesel por outros que utilizam o biometano/GNV;
- **Motobombas/Fertirrigação:** através da MWM, a empresa produz motobombas convencionais a diesel, mas também movidas a biogás. Para as usinas canavieiras, isso proporciona significativa redução nos custos operacionais (combustível e filtros), redução de emissões de CO₂, eliminação de material particulado, redução de ruídos e aumento dos CBIOs (dentro do Programa Renovabio) e observando as melhores práticas de ESG.



- **Bioplantas de biometano/fertilizantes organominerais:** as bioplantas da MWM atuam de forma integrada com parcerias na coleta de dejetos animais e produção de energia renovável (biogás/biometano) e fertilizantes organominerais especiais;
- **Geradores:** a MWM oferece uma ampla gama de grupos geradores que utilizam diesel, gás natural e biogás com potência de 10 kva a 1.250 kva, como alternativa de segurança energética e sustentabilidade (redução de custos, emissões de GGE e particulados e ruídos) com o uso de GNV ou biogás;
- **Reciclagem de baterias:** em 2022, a Tupy firmou uma parceria com BMW Group Brasil, Senai Paraná e, posteriormente, Universidade de São Paulo para desenvolver uma tecnologia de reciclagem de baterias de íons de lítio por hidrometalurgia. A BMW Brasil forneceu baterias do modelo BMW i3 já em fim de vida útil, além de conhecimento técnico sobre sua construção e materiais. O objetivo era permitir que os metais recuperados pudessem voltar a ser usados na fabricação de novas baterias. O Senai Paraná fez a pesquisa em seu Instituto de Inovação em Eletroquímica, enquanto USP e Embrapii passaram a colaborar no aperfeiçoamento da tecnologia e na implantação da planta-piloto anunciada em 2024. Grande parte da reciclagem mundial utiliza pirometalurgia, que funde a bateria em altas temperaturas – o que consome muita energia e recupera pouco ou nenhum lítio, além de emitir GEEs. O processo de hidrometalurgia da Tupy dissolve os metais usando soluções químicas – que consome menos energia e recupera uma quantidade muito maior de materiais (lítio inclusive).
- **Hidrogênio:** a Tupy foi escolhida como fornecedora exclusiva dos cabeçotes (produzidos em CGI estruturais) do MAN H45, um motor de combustão movido a hidrogênio destinado a caminhões pesados. Além disso, a empresa participa



da Allianz Wasserstoffmotor (Aliança do Motor a Hidrogênio, em tradução livre do alemão), consórcio alemão que reúne fabricantes, universidades e centros de pesquisa para acelerar o desenvolvimento de motores a hidrogênio. A MAN Truck & Bus participa dessa aliança, o que faz com que Tupy e MAN colaborem nesse ecossistema tecnológico. A Tupy também anunciou colaboração com a canadense Westport Fuel Systems e da austríaca AVL para desenvolver motores de combustão interna a hidrogênio de alta eficiência para transporte de cargas. À Tupy caberá desenvolver novos materiais, geometrias e processos de usinagem para componentes críticos do motor, com agregação de tecnologia e valor aos produtos.

Principais parcerias da Tupy:

SinterCast: fundada em 1983 e líder mundial em sistemas de controle de processo para a produção de ferro fundido vermicular (CGI). Diferentemente de uma fundição, ela não fabrica peças: fornece tecnologia, equipamentos, software e assistência técnica para que fundições produzam CGI de forma consistente e em grande escala.

- **AVL:** fundada em 1948 por Hans List e hoje é uma das maiores empresas independentes de engenharia para a indústria automotiva e de mobilidade. Atua em no desenvolvimento de motores a combustão, híbridos, elétricos e a hidrogênio, sistemas de células a combustível, testes e simulações para fabricantes de veículos, software, inteligência artificial e automação para mobilidade e soluções para os setores automotivo, ferroviário, marítimo e de energia.

Westport Fuel Systems: especializada em tecnologias que permitem que motores utilizem combustíveis de menor emissão de carbono, especialmente para caminhões, ônibus, máquinas agrícolas, equipamentos de mineração e geração de energia. Seus principais negócios incluem:

- **Tecnologia HPDI (High Pressure Direct Injection):** seu principal diferencial. O sistema injeta gás natural ou biometano em alta pressão, usando uma pequena quantidade de diesel para iniciar a combustão. Isso preserva a potência e a eficiência de motores diesel, mas reduz significativamente as emissões de CO₂ quando se utiliza gás natural ou biometano;
- **Motores a hidrogênio:** desenvolve sistemas de injeção direta de hidrogênio para motores de combustão interna, buscando oferecer uma alternativa às células a combustível em veículos pesados;
- **Sistemas de combustível:** fabrica tanques, válvulas, reguladores e outros componentes para veículos movidos a gás natural comprimido (CNG), gás natural liquefeito (LNG), biometano e hidrogênio;
- **Eletrônica e controle:** fornece unidades de controle eletrônico e softwares para gerenciar esses sistemas de combustível.

Yuchai: Guangxi Yuchai Machinery Co., Ltd. (conhecida como **Yuchai**) é uma das maiores fabricantes de motores da China e desempenha um papel importante na transição energética do setor de veículos comerciais e equipamentos industriais. Em resumo, a Yuchai atua em cinco grandes áreas:



1. **Motores diesel** – É sua principal atividade. Produz motores para caminhões, ônibus, máquinas agrícolas, equipamentos de construção, embarcações e geradores, com milhões de unidades em operação, inclusive na América Latina e Brasil;
2. **Motores a gás natural** – Desenvolve motores movidos a GNV e GNL;
3. **Motores a hidrogênio e células a combustível (fuel cells)** – Investe em motores de combustão interna adaptados para hidrogênio;
4. **Sistemas de geração de energia** – fabrica grupos geradores para aplicações industriais, data centers, hospitais e infraestrutura crítica.

Essas quatro parcerias, além da liderança da Tupy na manufatura de componentes para motores de veículos pesados (blocos e cabeçotes) no ocidente, com plantas industriais no Brasil (3), México (2) e Portugal (1), colocam a empresa numa posição excepcional no desenvolvimento de novas soluções para descarbonização, economia circular, desde a fabricação de componentes até motores, geradores e motobombas.

Conclusão e visão integrada da Trígono

A análise do conjunto das empresas aqui apresentadas, e que representam cerca de 60% dos investimentos em renda variável da Trígono, o que se vê é, na prática, uma cadeia completa de bioeconomia, transição energética e economia circular.

Resumindo:

- **Kepler Weber:** infraestrutura para grãos na cadeia logística ligada a segurança alimentar e biocombustíveis;
- **3tentos:** transforma grãos em alimentos, óleo comestível, biodiesel e etanol (bioenergia);
- **Mahle Metal Leve:** desenvolve motores mais eficientes e compatíveis com combustíveis renováveis e soluções térmicas e diversas para veículos eletrificados;
- **Marcopolo:** utiliza e leva combustíveis e tecnologias ao transporte coletivo por meio de ônibus a diesel renovável, biometano, soluções híbridas (elétrica/etanol), eletrificação e, futuramente, hidrogênio;
- **São Martinho:** produz açúcar, etanol, bioeletricidade e biometano;
- **Schulz:** fornece equipamentos industriais essenciais para cadeias de biogás, biometano, gases industriais e manufatura eficiente;
- **Tupy/MWM:** fabricam motores, geradores, motobombas e componentes para biodiesel, etanol, biometano e outros combustíveis de baixo carbono, além de fertilizantes organominerais.



Essas empresas não representam apenas investimentos isolados. Elas compõem um ecossistema integrado, que aproveita magistralmente as vantagens comparativas do Brasil: agronegócio altamente produtivo, abundância de biomassa, capacidade industrial e domínio de biocombustíveis e tecnologias para liderar uma transição energética pragmática. As empresas investidas pela Trígono, ao invés de apostar em uma única tecnologia, se posicionam em diferentes elos da cadeia de valor, da produção de alimentos e energia renovável à fabricação de máquinas, motores, componentes e veículos. Todas estão prontas para capturar oportunidades de crescimento com descarbonização e transição energética.

– *Werner, foi uma viagem e tanto e longa pela transição energética. O que levamos dessa conversa, que começou com trigonometria?*

Nossa mensagem central e igualmente nossa crença: **a biomobilidade é uma oportunidade estratégica e extraordinária para o desenvolvimento econômico sustentável do Brasil.**

A estratégia apresentada pela Trígono e pelo Instituto MBCBrasil busca responder ao desafio apontado por Goldthau, Eicke & Weko: evitar que o Sul Global seja o eterno consumidor de tecnologias desenvolvidas no Norte e para isso, transformando o Brasil em protagonista da transição energética baseada na biomobilidade.

Etanol e híbridos *flex* ou com etanol são a principal solução no campo dos veículos leves. O biometano tende a ser o combustível renovável de maior crescimento relativo na próxima década, especialmente para caminhões, ônibus e indústrias intensivas em calor que se engajarão em substituir o gás natural fóssil. O **biodiesel** proporciona redução do consumo de diesel e ganho ambiental, mas com novas tecnologias poderá ter o mesmo papel do biometano. Eis aí os três pontos que garantirão estabilidade, seja para a economia brasileira, seja em âmbito geopolítico.

Esse trio fortalece nossa tese de que o Brasil reúne condições únicas para liderar a biomobilidade e a transição energética. A abundância de biomassa e de resíduos orgânicos, com um agronegócio do tamanho do brasileiro, e extensas áreas de pastagens degradadas aptas ao uso da agricultura para produção de grãos e cana-de-açúcar e oleaginosas como palma e macaúba, proporciona uma vantagem energética sem igual em nosso planeta, e sem sacrifício da produção de alimentos ou uso de áreas de preservação florestal e ambiental.

O escorço histórico empreendido aqui importa porque mostra que o Brasil não chegou ontem ao tema “transição energética”. O país entrou nessa, aliás, muito antes desse tema sequer ter nome, que dirá frequentar conversas de formuladores de políticas. Para encontrar algo relacionado no momento em que o Brasil já trabalhava no etanol, teríamos que ir para o universo das artes, por exemplo: em 1971, o saudoso Marvin Gaye deu ao mundo o álbum “*What’s Going On*”, em que denunciava, na faixa “*Mercy, mercy me*”, a poluição, derramamentos de petróleo, peixes contaminados com mercúrio e radiação no solo e nos céus, entrando na música e na poesia, mas no sentido de alerta.



A história energética brasileira pode, assim, ter uma relevância central na discussão geopolítica contemporânea. Como gestora de fundos, a Trígono se sente orgulhosa e parte deste importante processo de transição energética. Acreditamos que, além de todos os ganhos ambientais, as empresas investidas estão habilitadas a proporcionar aos nossos investidores retornos financeiros que justificarão seus investimentos.

A apresentação da Trígono ressalta que o biodiesel faz parte de uma estratégia mais ampla de **biomobilidade**, ao lado de etanol, biometano e SAF. Em vez de substituir completamente os motores a combustão, essa visão busca reduzir progressivamente sua pegada de carbono por meio de combustíveis renováveis, aproveitando vantagens agrícolas e industriais do Brasil.

Essa estratégia de neutralidade tecnológica é vista como forma de o país liderar a transição energética com soluções adaptadas a suas características econômicas e ambientais.

Agradecemos aos nossos leitores que percorreram este longo texto, esperamos que de alguma forma podemos ter contribuído pelo melhor entendimento deste extraordinário potencial que o Brasil tem nas próprias mãos em se tornar o principal polo mundial no desenvolvimento e produção de biocombustíveis e biomobilidade, fatores essenciais para a transição energética e o papel de algumas das nossas investidas em toda a cadeia de produção.

Werner Roger

Sócio-Fundador & CIO Trígono Capital



TRÍGONO
Capital

ALÉM DO ÓBVIO



www.trigonocapital.com

R. Surubim, 373 - Cidade Monções, São Paulo - SP, 04571-050
contato@trigonocapital.com