

# Como identificar um biocombustível sustentável para a descarbonização marítima

**Gláucia Mendes Souza**

Professora Titular da Universidade de São Paulo

Líder da Força-Tarefa de Biocombustíveis para a Descarbonização do Transporte da International Energy Agency Bioenergy TCP

Coordenadora do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia BIOEN

## Objetivo desse estudo

Biocombustíveis como solução imediata e eficaz para a descarbonização do transporte

- Informar e esclarecer sobre o potencial e a sustentabilidade dos biocombustíveis.
- Foco está em biocombustíveis que possam ser produzidos de forma sustentável, com capacidade suficiente para serem relevantes para a descarbonização do setor marítimo.
- Discutir o modelo brasileiro de agricultura e seus desenvolvimentos tecnológicos.
- Mostrar como a bioenergia está gerando benefícios socioeconômicos e reduzindo emissões sem a necessidade de grandes extensões de terra.
- Discutir o potencial da produção de biocombustíveis no sul global.



### BIOMASSA

Capacidade de produção, sustentabilidade, oferta/demanda



### PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Rotas tecnológicas, escala, maturidade tecnológica, viabilidade econômica



### EMISSIONES DE GEE

Contabilidade de carbono, LCA, certificação, ILUC



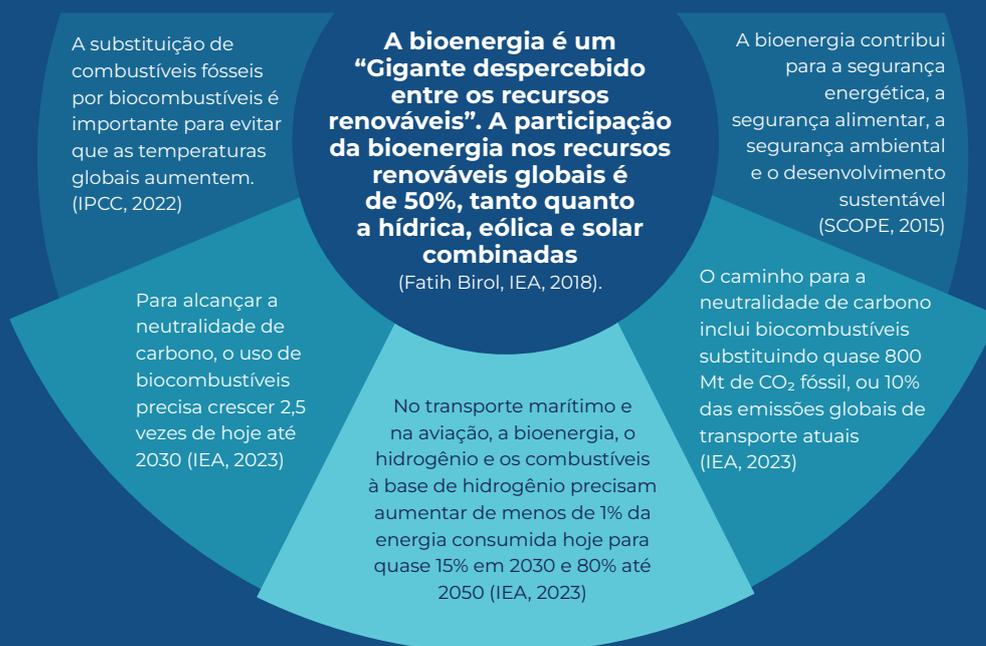
### USO DA TERRA

Potencial de uso de áreas degradadas e pastagens, modelo de produção para agricultura tropical, segurança alimentar e rastreabilidade de matéria-prima



### IMPLANTAÇÃO

Arcabouços políticos, agenda de implementação



## Contribuição brasileira para a descarbonização do transporte

1

Oferta interna de energia amplamente renovável (49,1%), sendo **16,9% proveniente da cana-de-açúcar e 15,8% de outras fontes de biomassa**. A eletricidade é 86,1% renovável (BEN, 2024).

2

O transporte é 22,5% renovável, sendo 37,3 bilhões de l/ano de etanol e 9,1 bilhões de l/ano de biodiesel, produzidos por 436 usinas de biocombustíveis. De 1975 a 2024, **o Brasil consumiu 888 bilhões de litros de etanol, deslocando 1,4 bilhão de toneladas de CO2eq**.

3

**Legislação “Combustível do Futuro”**. A meta atual é de 705 Mt CO2 eq até 2037 de emissões evitadas. E30 e B20 até 2030.



4

Os biocombustíveis cresceram ao mesmo tempo em que **o Brasil se tornou o maior exportador de commodities alimentares**. A intensificação das pastagens liberou terras. Introduzida a segunda safra.

5

No Brasil, a expansão das culturas energéticas esteve predominantemente ligada à conversão de terras e pastagens degradadas, com o benefício adicional de recuperação do solo e sequestro de carbono no solo. (Guareghi et al., 2023)

6

**O Brasil preserva 66% de seu território com vegetação nativa**. A agricultura usa 8%, as pastagens usam 21% e as áreas urbanas 4%. (Embrapa, 2021).

## O G20 em 2024 avançou um conjunto de princípios para transições energéticas justas e inclusivas com as seguintes recomendações:

“Ressaltamos o papel crucial de abordagens tecnologicamente neutras, integradas e inclusivas para desenvolver e implantar uma variedade de energias de baixa emissão, combustíveis e tecnologias sustentáveis, inclusive para redução e remoção, gerenciamento de carbono e redução de emissões, com o objetivo de criar escala e mercados globais para acelerar as transições energéticas, particularmente em setores difíceis de reduzir. Incentivamos, conforme apropriado, o uso de metodologias e padrões mutuamente reconhecidos para avaliar as emissões de gases de efeito estufa.” (G20, OUTUBRO DE 2024)

“As políticas devem ser neutras em termos de tecnologia e agnósticas em relação às matérias-primas”. Os números de ILUC não podem ser usados para negar a eficácia dos biocombustíveis para descarbonizar o transporte (Relatório de Contabilização de Carbono para Biocombustíveis Sustentáveis da Agência Internacional de Energia, 2024).

## Os efeitos da bioenergia de matérias-primas comestíveis versus não comestíveis

### Disponibilidade de alimentos

2/3 dos artigos relataram efeitos positivos ou nenhum efeito sobre a disponibilidade de alimentos. A bioenergia tem efeitos positivos na escala doméstica.

### Preços dos alimentos

A bioenergia em países com baixo Índice de Desenvolvimento Social (IDS) não tem efeito sobre o preço dos alimentos. Os efeitos negativos foram concentrados em países com alto IDS (3/4).

### Produção de alimentos

A bioenergia tem efeitos positivos na produção de alimentos em países de baixo Índice de Desenvolvimento Social (a maior parte do Sul Global) e em escala domiciliar.

**Os estudos que relatam efeitos negativos são mais comumente baseados em modelagem. Quando os dados observados foram utilizados, o relato de impactos negativos foi menor.**

### 224 artigos

**Não há correlação entre o tipo de matéria-prima de bioenergia (comestível, não comestível ou comestível e não comestível) e segurança alimentar**

Ahmed, S., Warne, T., Smith, E., Goemann, H., Linse, G., Greenwood, M., Kedziora, J., Sapp, M., Kraner, D., Roemer, K., Haggerty, J. H., Jarchow, M., Swanson, D., Poulter, B. and Stoy, P. C. (2021). Systematic review on effects of bioenergy from edible versus inedible feedstocks on food security. *Science of Food* (2021) 5:9

## Mudanças observadas trazidas pela bioenergia que contribuem para a segurança alimentar:

Poder de compra

### Melhoria dos indicadores socioeconômicos:

- Anos de alfabetização e escolaridade
- Melhoria de renda: A diversificação das fontes de receita no campo (com milho após a soja) e o aumento do valor agregado com o etanol e subprodutos (como DDGS para ração animal) impulsionaram a renda dos trabalhadores rurais e industriais\*
- Formalização do trabalho e condições de trabalho
- Perspectivas para as próximas gerações (filhas e filhos de trabalhadores)
- PIB per capita em municípios que abrigam empresas de bioetanol
- Uma nova usina aumentou o PIB per capita dos municípios em US\$ 1.098 (primeiro ano) e US\$ 1.029 (10 anos)



70.000

pequenos produtores de cana-de-açúcar



75.000

pequenos produtores de soja

\*RICCI, Patrícia F.; GURGEL, Angelo C.; DELGADO, Guilherme C.; FERRAZ, Samuel; CONANT, Richard T.; PALMER, Charles. Socio-environmental and land-use impacts of double cropped maize ethanol in Brazil. *Nature Sustainability*, [S.l.], v. 3, p. 420–427, 2020. DOI: 10.1038/s41893-020-0480-1. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41893-020-0480-1>. Acesso em: 13 jun. 2025.

**Oportunidades de emprego (↑biodiesel = 1,1 milhão de novos empregos adicionados na indústria da soja na última década)**



## Mudanças observadas trazidas pela bioenergia que contribuem para a segurança alimentar

Aumento do acesso à energia



### 750 milhões

de pessoas não têm eletricidade no mundo (80% nas áreas rurais).

- O uso de energia tem uma correlação direta com o Índice de Desenvolvimento Humano.
- A segurança alimentar aumenta com o acesso à energia.
- A bioeletricidade da cana pode abastecer 10,8 milhões de residências, aumentando o acesso à energia nas regiões rurais.

## Mudanças observadas trazidas pela bioenergia que contribuem para a segurança alimentar: Valor adicionado à agricultura, aumento da produtividade e da produção com melhores práticas de manejo usando muito pouca terra

Modernização da agricultura



As três principais culturas energéticas (soja, milho e cana-de-açúcar) ainda não atingiram seus limites teóricos de produtividade!

Rotação de culturas  
Plantio em canteiros  
Camada de palha  
Corretivos do solo

Aproveitamento de resíduos  
Fertirrigação com a vinhaça  
Novas variedades  
2ª safra

Cherubin, M. R.; Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Nogueira, L. A. H.; Souza, G. M.; Cantarella, H. (2021). Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy. Land, 10,72; Potential in Land Saving Techniques production in Brazil, EPE, 2024; Waclawovsky, A. J., Sato, P. M., Lembke, C. G., Moore, P. H., Souza, G. M. (2010). Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. Plant Biotechnology Journal 8 (3), 263-276.

## Mudanças observadas trazidas pela bioenergia que contribuem para a segurança alimentar: Recuperação de terras degradadas e aumento do carbono do solo

Qualidade do solo



98% da expansão da cana-de-açúcar ocorreu principalmente sobre pastagens degradadas e terras em uso para agricultura nos últimos 20 anos

M.M. Guarengi, D.F.T. Garofalo, J.E.A. Seabra, M.M.R. Moreira, R.M.L. Novaes, N.P. Ramos, S.F. Nogueira, C.A. de Andrade. Land Use Change Net Removals Associated with Sugarcane in Brazil. Land 2023, 12(3), 584

**Uso eficiente da terra:** A produção de milho na segunda safra aproveita áreas já abertas para soja, sem necessidade de áreas adicionais, o que reduz riscos ambientais e amplia o uso sustentável da terra: 95% do milho no Brasil para produção de etanol é de milho de 2ª safra.

## Os biocombustíveis produzidos no Brasil têm emissões muito baixas, uma das razões é que economizamos em fertilizantes, um dos principais contribuintes para as emissões

Produção de cana-de-açúcar é alternada com cultivo de amendoim e soja nas áreas de reforma canavieira. O milho é a cultura intermediária plantada após a cultura principal da soja.

Esse sistema de plantio duplo aproveita a capacidade de fixação de nitrogênio que as espécies de leguminosas (como soja e amendoim) possuem, o que leva nitrogênio aos solos, reduzindo a necessidade de fertilização

Gurgel et al. (2024). Contribution of double-cropped maize ethanol in Brazil to sustainable development. Nature Sustainability, 1-12; Silva et al., (2025). Meta-analysis of biofuels in emerging markets of Africa and Asia: green house gas savings and economic feasibility. Renewable and Sustainable Energy Reviews 213: 115465

Os biocombustíveis podem diminuir até 84% das emissões ao substituir a gasolina e o diesel.

Para o etanol de milho do Brasil, a intensidade de carbono pode ser próxima de zero ou negativa

## Mudanças observadas trazidas pela bioenergia que contribuem para a segurança alimentar

Infraestrutura agrícola

Os biocombustíveis são integrados à produção de alimentos



Em 2024, alimentos brasileiros alimentaram o correspondente a **900 milhões de pessoas** (11% da população mundial)

### O Brasil é o maior produtor mundial de

Soja  
Café  
Suco de laranja  
Açúcar

### Brasil é o segundo maior produtor

Carne de frango  
Carne de vaca

### Brasil é o maior exportador mundial de

Soja  
Café  
Suco de laranja  
Açúcar  
Carne de frango  
Carne de vaca  
Milho



A soja e o milho produzidos no Brasil são a base para a produção de produtos de origem animal, como carne, leite, ovos, em diversos países.

✔ Alimento  
✔ Ração

✔ Combustíveis  
✔ Energia

produzidos em paralelo

A produção de etanol de cana e milho no Brasil usa menos que 1% do território nacional

# Brasil preserva a maior área do mundo em vegetação nativa



## Código Florestal

Território brasileiro ocupa 852 milhões de ha  
66% preservados com florestas: 33% em propriedades rurais + 33% preservados com unidades de conservação integral, unidades indígenas e outros. Os produtores rurais devem manter pelo menos 20% de sua área própria com vegetação nativa preservada ou em recuperação. Na Amazônia, a preservação mínima é de 80%.

## RENOVABIO

Análise do ciclo de vida do berço à roda + Critérios de elegibilidade: Rastreabilidade da matéria-prima, proibição de conversão de vegetação nativa, cumprimento da legislação ambiental e cumprimento do zoneamento agroecológico

Agroicone, based on LAPIG (2022) for pasture; Mapbiomas (2023) 9th collection; Mapbiomas (2022) for protected areas (8th collection); Observatório do Código Florestal (2024) for vegetation on farms. Note\*: Calculations for all categories are considered the best in 2024 since the Brazilian government does not provide official data. \*Includes undesignated public areas, public forests, settlements and quilombola area; \*\*Includes forestry, mosaics, etc.

## Mandatos de mistura de biocombustíveis no sul global



Como os mercados emergentes podem contribuir para o esforço de aumentar os biocombustíveis 2,5 vezes de hoje até 2030, deslocando quase 800 Mt de CO<sub>2</sub> fóssil, ou 10% das emissões globais de transporte de hoje?

## Potencial e sustentabilidade dos biocombustíveis em mercados emergentes

### Produção adicional de biocombustíveis

45,7 bi  
litros de biodiesel

64,7 bi  
litros de etanol

Conversão necessária de pastagens: 0,1% para 10,7%  
Potencial de economia de GEE > 300 Mt CO<sub>2</sub>e por ano



Países em desenvolvimento com grandes populações e potencial de alta demanda de energia

**Argentina, Brasil, China, Colômbia, Etiópia, Guatemala, Índia, Indonésia, Malásia, África do Sul, Tailândia**

**47,0% da população mundial  
27,0% das emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte**

Se esse grupo de economias emergentes atingisse a mesma intensidade de carbono per capita do setor de transportes que a média da OCDE, as emissões mundiais do setor de transportes mais do que dobrariam

Souza et al., 2023. Biofuels in Emerging Markets. Potential for sustainable production and consumption. IEA Bioenergy Task 39; Silva et al., (2024). Biofuels in Emerging Markets of Africa and Asia. IEA Bioenergy, 2024

Documento de Fundação da Aliança Global de Biocombustíveis (GBA)  
"Reconhecer que os biocombustíveis são comprovadamente renováveis, de baixa intensidade de carbono, que reduzem as emissões de gases de efeito estufa, que mitigam os efeitos das mudanças climáticas, que podem ser produzidos em escala, estão disponíveis comercialmente e podem estimular o crescimento doméstico e desenvolver oportunidades comerciais"

- 29 países são membros da Aliança Global de Biocombustíveis (AGB).  
- 14 organizações internacionais reconhecidas também fazem parte da AGB, como AIE, IRENA, Fórum Econômico Mundial, Banco Mundial, Banco Agrícola Americano (BAD), Associação Mundial de Biogás, ONUDI, OACI, Fórum Internacional de Energia, Plataforma Biofuture e outras.

