INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA NORDESTINA: UM ESTUDO DA PARTICIPAÇÃO NO PROGRAMA RENOVABIO EM 2020-2025

NORTHEAST BRAZIL'S SUGAR AND ALCOHOL INDUSTRY: A STUDY OF THE PARTICIPATION IN THE RENOVABIO PROGRAM IN 2020-2025

Maria Joanna Saatmãm Falcão
Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Alagoas (AL), Brasil
Márcia Cristina Silva Paixão
Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba (PB), Brasil

GT04 - Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: O estudo avalia a participação do setor sucroalcooleiro nordestino no mercado de Créditos de Descarbonização (CBIOs) do Programa RenovaBio, a Política Nacional de Biocombustíveis, de 2020 a agosto/2025. Especificamente, com base em fontes bibliográficas e documentais, mapeou as unidades produtoras de etanol de primeira geração (E1GC) e seu desempenho energético, identificou o volume de etanol anidro e hidratado produzido, comercializado e certificado para o mercado de CBIOs e simulou o custo de oportunidade da não participação nesse mercado. Os resultados revelaram que: (i) o desempenho energético médio do Nordeste é inferior ao nacional; (ii) parte do volume comercializado não é certificado, refletindo em perda de receita potencial; (iii) o mercado de CBIOs constitui uma alternativa efetiva para se alcançar uma economia de baixo carbono; (iv) questões como insegurança jurídica, baixa liquidez, multa elevada por não cumprimento de metas e limitações estruturais de usinas de menor porte impactam a participação dos produtores nordestinos no Programa. Concluiu-se pela necessidade de modernização de processos produtivos e ampliação das certificações, de investimentos em eficiência energética e capacitação técnica dos produtores, além de estabilidade na regulamentação.
Palavras-chave: Nordeste, RenovaBio, Setor Sucroalcooleiro.

Abstract: The study evaluates the participation of the Northeastern sugarcane-ethanol sector in the Decarbonization Credits (CBIOs) market under the RenovaBio Program, the Brazil's National Biofuels Policy, from 2020 to August 2025. Based on bibliographic and documentary sources, it mapped first-generation ethanol (E1GC) production units and their energy performance, identified the volume of anhydrous and hydrated ethanol produced, commercialized and certified for the CBIOs market, and simulated the opportunity cost of non-participation in it. The results showed that: (i) the average energy performance in the Northeast is below the national level; (ii) part of the commercialized volume is not certified, resulting in potential revenue loss; (iii) the CBIOs market represents an effective alternative for achieving a low-carbon economy; (iv) factors such as legal uncertainty, low liquidity, high penalties for unmet targets, and structural limitations of smaller plants affect the participation of Northeastern producers in the program. The study concludes that modernization of production processes, increased certifications, investments in energy efficiency, technical training for producers, and regulatory stability are necessary.
Key words: Northeast, RenovaBio, Sugarcane-Ethanol Sector.

1 Introdução

A intensidade das ações antropomórficas, a partir da Revolução Industrial, elevou a emissão de gases de efeito estufa (GEE), tornando o clima do planeta mais aquecido e menos propício para as gerações futuras. Mais especificamente, preocupações ambientais ganharam destaque a partir de 1968, com a atuação do chamado Clube de Roma, e evoluíram com as Conferências da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Meio Ambiente, a criação da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a consolidação do Protocolo de Kyoto e, recentemente, o Acordo de Paris (Fonseca, 2024).

Com a consolidação do Protocolo de Kyoto, em 1997, intensificou-se a ideia de redução das emissões antrópicas como forma de garantir a responsabilidade socioambiental dos países. Uma das metas estabelecidas foi que os países desenvolvidos deveriam reduzir, no mínimo, 5% de suas emissões de GEE em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. E, nesse contexto, a criação de um mercado de crédito de carbono apresentou-se como uma alternativa para atenuar impactos ambientais e gerar receitas: empresas redutoras de emissões poderiam gerar créditos negociáveis com empresas que não atingissem suas metas de redução.

Em se tratando do Brasil, e de acordo com estudo da Câmara de Comércio Internacional no Brasil (ICC Brasil) publicado pelo SEBRAE (2023), o mercado de crédito de carbono pode gerar uma receita de até US$ 100 bilhões até 2030, evidenciando um benefício financeiro potencial expressivo. Nesse cenário, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA) destaca a política de biocombustíveis criada no País com o objetivo de "reduzir a intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira por meio da ampliação do uso de biocombustíveis e da criação de um mercado de crédito de carbono." (UNICA, 2025).

Mais especificamente, a Política Nacional de Biocombustíveis (Programa RenovaBio), implementada pela Lei n° 13.576, de 26 de dezembro de 2017, foi incorporada à política energética nacional, permitindo que qualquer pessoa física ou jurídica possa comprar ou vender os chamados Créditos de Descarbonização (CBIOs) na bolsa de valores (B3), os quais são emitidos pelo produtor de biocombustível credenciado junto à Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e sob regras da Resolução nº 802/2019 (UNICA, 2025).

Motivado por esse cenário, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar a participação da indústria sucroalcooleira nordestina no mercado de crédito de descarbonização criado pelo RenovaBio, observando-se o período 2020-2025. E por objetivos específicos, a) mapear as unidades produtoras (UPs) autorizadas e certificadas pelo Programa; b) identificar o volume de etanol certificado, comercializado e o volume de receitas com o mercado de CBIOs; c) simular o custo de oportunidade da não participação de empresas dessa indústria no mercado de crédito de descarbonização.

O trabalho está dividido em quatro seções, além desta Introdução. A Seção 2 apresenta o referencial teórico que fundamenta o estudo. A Seção 3, a metodologia adotada e a Seção 4, os resultados e discussão. Por fim, a Seção 5 apresenta as Considerações Finais.

2 Referencial teórico

A partir da década de 1990, surgiram movimentos que aproximam o desenvolvimento ou o crescimento econômico da preservação ambiental por meio de mecanismos de desenvolvimento limpo e de leis ambientais (Souza e Miller, 2003), culminando em ênfase a conceitos como o de externalidade. De acordo com a literatura, externalidades são efeitos positivos ou negativos causados por uma determinada ação sobre terceiros que não estão diretamente envolvidos nela. São positivas quando a ação gera benefícios e negativas quando correspondem a um custo.

Pigou (1962), em termos econômicos, afirma que as externalidades são responsáveis pela desigualdade entre os produtos marginais sociais e privados, impedindo a maximização do dividendo nacional e o bem-estar econômico e social. Para Pindyck e Rubinfeld (2005), uma externalidade ocorre quando as ações dos agentes econômicos alteram o bem estar de um terceiro que está externo ao mercado. Um exemplo disso é a poluição atmosférica gerada nos processos produtivos, que impõe um custo à sociedade mesmo para aqueles que não participaram diretamente da atividade que causou o impacto.

Dada a definição de externalidade, cabe ressaltar que, para Pigou (1962), os fatores econômicos influenciam o bem-estar de um país por meio do dividendo nacional fundamentado na eficiência econômica, na justiça distributiva e na estabilidade macroeconômica.

Na discussão sobre eficiência econômica, ele analisa formas de atuação e controle estatal que induzem as forças econômicas a gerar o bem-estar econômico e social, já que o êxito do livre mercado é dado por limitações institucionais. Ou seja, há falhas de mercado como, por exemplo, as externalidades, que comprometem a eficiência econômica e o bem-estar social, e para solucioná-las, Pigou (1962) propõe que subsídios (recompensas) ou impostos (taxas) deveriam ser implementados. Assim sendo, a teoria pigouviana desempenha um papel importante na economia ambiental ao buscar o equilíbrio entre o bem-estar e o mal-estar causados pela poluição, de modo a garantir um nível de poluição considerado ótimo. E, nesse sentido, surgem as políticas de regulação direta, de estímulo ao mercado e o mercado de certificados transacionáveis (Salles e Matias, 2022).

Na regulação direta, o órgão regulador impõe uma série de normas e limites aos agentes poluidores e quando estes descumprirem, resulta em multa. Já as políticas de estímulo, utilizam incentivos ou penalidades para induzir os agentes a atender aos padrões ambientais, por meio do imposto pigouviano, mecanismo de internalização da externalidade negativa, e do subsídio pigouviano, utilizado para compensar externalidade positiva. Por fim, tem-se o mercado de certificados transacionáveis, que define uma quantidade máxima permitida de poluição ou de extração de um recurso e, a partir do certificado, a empresa pode usá-lo ou vendê-lo.

O Protocolo de Kyoto, por exemplo, estabeleceu três mecanismos para limitar e reduzir as emissões de GEE de acordo com a individualidade de cada país, baseados na negociação de licenças: a) o Comércio de Emissões - países com redução de emissões para abaixo da sua meta, poderiam vender o excesso de capacidade de poluir para países que estivessem acima, e tal excesso foi denominado de Crédito de Carbono; b) o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – permitindo que países desenvolvidos descumpridores de suas metas investissem em projetos de redução de emissões, financiando países em desenvolvimento, e esse movimento gerava créditos de redução certificada de emissões comercializáveis; c) a Implementação Conjunta - países comprometidos com metas de emissão poderiam financiar projetos de mitigação em outros países, recebendo, em troca, unidades de redução de emissões.

Já o Acordo de Paris, que sucedeu o Protocolo de Kyoto em 2015, também prevê mecanismos baseados no mercado para ajudar os países a atingir suas metas: a) Cooperação bilateral descentralizada; b) o Mecanismo de Crédito do Acordo de Paris - um mercado internacional centralizado, liderado pela ONU, para emitir e comercializar créditos de carbono. O principal objetivo do Acordo é conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2º C em relação aos níveis pré-industriais e, ao mesmo tempo, fazer esforços para que esse aumento não ultrapasse 1,5º C, visando reduzir as emissões de GEE em 43% até 2030.

No caso do Brasil, estratégias de governança que consideram o bem-estar social, econômico e ambiental têm sido cada vez mais incentivadas por políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável, sendo o Programa RenovaBio um exemplo de iniciativa que promove tais práticas. Mais especificamente, o Programa representa a Política Nacional dos Biocombustíveis e tem como principal objetivo promover a descarbonização do setor de transporte brasileiro por meio de três instrumentos centrais: metas de redução de emissões de GEEs, certificação de biocombustíveis e créditos de descarbonização (CBIOs).

Como destacam Cardoso e Costa (2020), o RenovaBio visa gerar benefícios ambientais, sociais e de saúde pública, além de estimular investimentos privados, promover a geração descentralizada de renda e aprimorar a eficiência energética no uso de biocombustíveis. Ainda, valoriza os efeitos positivos do uso de biocombustíveis ao substituir combustíveis fósseis e contribui para o cumprimento das metas institucionais estabelecidas, como no Acordo de Paris.

Os critérios que garantem a obtenção da Certificação da empresa no Programa são: a) elegibilidade - o valor percentual que representa o biocombustível certificado apto a receber a nota de eficiência energética ambiental e que foi produzido a partir da biomassa de cana-de-açúcar cultivada em áreas onde não houve desmatamento após o dia 23 de novembro de 2018; b) Intensidade de Carbono (IC) - relação da quantidade total de GEE emitidos durante o ciclo

de vida da produção do combustível por unidade de energia produzida, medida em gCO_2eq por megajoule (gCO_2eq/MJ), em que quanto menor a intensidade, mais sustentável é o combustível; c) Notas de Eficiência Energética Ambiental (NEEA) - a diferença entre o nível de intensidade de carbono (IC) do produtor de etanol e o índice de intensidade de carbono do combustível fóssil; d) Fator CBIO - o volume de etanol carburante comercializado necessário para a emissão de 1 CBIO, onde cada CBIO representa a redução de uma tonelada de CO_2 equivalente.

A Figura 1 apresenta um resumo esquemático, mostrando que o Programa, cuja governança é do Comitê da Política Nacional de Biocombustíveis, é estruturado em três eixos estratégicos (MME, 2022): a) Metas nacionais de redução de emissões no mercado de combustíveis - metas anuais e desdobradas pela ANP em metas individuais para os distribuidores de combustível; b) Certificação da produção de biocombustíveis baseada na análise de ciclo de vida (ACV) - cada produtor recebe uma nota de eficiência energético-ambiental que é multiplicada pelo volume de biocombustível comercializado que atende aos critérios do Programa, resultando na quantidade de créditos de descarbonização (CBIOs) que o produtor poderá emitir; c) Mercado de CBIO - onde é negociado um ativo ambiental correspondente a uma tonelada de carbono equivalente não emitida.

Figura 1: Funcionamento do RenovaBio

Fonte: MME (2021). Adaptação da autora.

A emissão, negociação e aposentadoria (retirada de circulação) dos créditos seguem a Portaria MME nº 56/2022. Os créditos são emitidos por produtores certificados, negociados em mercado organizado e adquiridos pelos distribuidores de combustíveis, responsáveis pelo cumprimento das metas de descarbonização (MME, 2022).

Para Cardoso, Rodrigues e Campos (2009), o mercado de crédito de carbono apresenta-se como uma importante fonte de receita complementar, contribuindo para a captação de recursos financeiros para as empresas do agronegócio e auxiliando na sustentação do fluxo de caixa. Ainda, além do benefício financeiro, fortalece a imagem institucional por meio do chamado "Marketing Verde", ao demonstrar compromisso ambiental e social.

No contexto do RenovaBio, Silva (2022) analisou o desempenho energético e econômico das UPs de etanol de primeira geração, por meio de uma pesquisa exploratória. O estudo contemplou cinquenta e cinco usinas do Norte e Nordeste, no período de janeiro de 2020 a fevereiro de 2022, e verificou que diferentes níveis de elegibilidade, intensidade de carbono, nota de eficiência energética-ambiental e fator CBIO resultam em desempenhos econômicos distintos. E, sendo assim, concluiu que quanto maior a eficiência energética, maior a eficiência econômica expressa por meio da oferta de CBIOs na Bolsa de Valores brasileira.

3 Metodologia

A presente pesquisa por ser classificada como quali-quantitativa, descritiva, bibliográfica e documental. A escolha do recorte temporal, 2020-2025, foi baseada na dissertação de Silva (2022). O autor cobriu os anos de 2020 a 2022 e, de forma a complementar seu estudo, optou-se por estender a análise até 2025, aproveitando a disponibilidade de informações atualizadas e em fontes confiáveis, como ANP e UNICA.

O trabalho é voltado para o Nordeste devido o cultivo secular da cana-de-açúcar. No Brasil, as primeiras usinas sucroalcooleiras surgiram na Região, expandindo-se pelo Centro-Sul do País a partir da década de 1970 com o Programa Brasileiro do Álcool (Proálcool) (Carvalho e Fonseca, 2017).

Como estratégia de estudo, buscou-se adotar os parâmetros que garantem a obtenção da Certificação no RenovaBio, baseada nos critérios definidos na Lei 13.576/2017. Essa certificação avalia o ciclo de vida da produção e o desempenho energético-ambiental da unidade produtora, e somente as unidades certificadas estão aptas a emitir CBIOs e participar do mercado de créditos de descarbonização.

Calculou-se a quantidade de CBIOs emitidas, para uma simulação de receita potencial e custo de oportunidade, separando-se o etanol hidratado do anidro, assim como é feito em estudos da Organização de Associações de Produtores de Cana do Brasil (ORPLANA). Essa divisão se justifica pela diferença no valor do fator utilizado para emissão e faz-se oportuno destacar: a) o etanol hidratado é utilizado diretamente como combustível nos veículos do tipo

flex, e o etanol anidro é adicionado à gasolina comum, funcionando como aditivo para reduzir o uso de combustíveis fósseis; b) o Etanol de Primeira Geração de Cana-de-Açúcar (E1GC) é o biocombustível gerado a partir da fermentação dos açúcares presentes no caldo da cana-de-açúcar; c) unidade certificada é a usina que obteve a certificação da ANP após comprovar conformidade com os critérios do Programa Renovabio.

Em resumo, este estudo adaptou, em parte, a metodologia de Silva (2022) ao contexto da indústria sucroalcooleira nordestina visando identificar seu potencial no mercado de crédito de descarbonização dentro das linhas do RenovaBio.

4 Resultados e discussão

A Tabela 1 mostra o panorama geral das unidades produtoras de E1GC credenciadas no RenovaBio do Brasil e da Região Nordeste. No Brasil, das 364 usinas autorizadas, 293 são certificadas em 2025 (80,5%). No Nordeste, esse número cai drasticamente, para 40 usinas. Ainda, verifica-se um aumento da quantidade de usinas autorizadas e certificadas entre 2022 e 2025: de 8% da base autorizada do Brasil e de 14% de usinas certificadas em nível nacional. No contexto do Nordeste, nota-se que não houve um avanço significativo, apenas 3 unidades foram certificadas a mais. A Tabela 2 detalha a localização das usinas.

Tabela 1: Nordeste: UPs de E1GC autorizadas e certificadas em 2022 e 2025

	2022			2025		
	Autorizadas	**Certificadas**	**Cert. %**	**Autorizadas**	**Certificadas**	**Cert. %**
Brasil	336	256	76,2%	364	293	80,5
Nordeste	n. d.	37	n. d.	n. d.	40	n. d.

Fonte: Silva (2022); ANP (2025).
Nota: n. d. = dado não disponível. Para 2025, posição em ago./2025.

Tabela 2: Nordeste: Relação das UPs de E1GC certificadas - 2025

UPs	UF	UPs	UF	UPs	UF	UPs	UF
Caeté - Matriz	AL	Sumaúma	AL	Japungu	PB	Petribu	PE
Central L. Utinga	AL	Serra Grande	AL	Miriri	PB	São José	PE
Coruripe	AL	Agrovale	BA	Monte Alegre	PB	União e Indústria	PE
Marituba	AL	Bahia Holding	BA	São João	PB	Central Mata Sul	PE
Pindorama	AL	Santa Cruz	BA	Tabu	PB	Trapiche	PE
Porto Rico	AL	Santa Maria	BA	Alcooquimica	PE	Comvap	PI
Santa Clotilde	AL	Agro Serra	MA	Olho D'Água	PE	Baía Formosa	RN
Santa Maria	AL	T.G. Agro	MA	Cruangi	PE	Ceará-Mirim	RN
Santo Antonio	AL	D'Padua	PB	Cucaú	PE	Usina Estiva	RN
Seresta	AL	Giasa	PB	Ipojuca	PE	São J. do Pinheiro	SE

Fonte: UNICAdata (2025).
Nota: Posição em ago./2025.

Para a leitura das Tabelas 3 e 4, considere-se que valores de intensidade de carbono (IC) menores estão associados a notas de eficiência energética ambiental (NEEA) mais altas. No caso do fator CBIO, quanto maior o valor, menor tende a ser a NEEA, indicando ser necessário um volume maior de etanol comercializado para gerar o mesmo crédito de descarbonização.

A Tabela 3 evidencia que as UPs do Nordeste apresentam, em média, parâmetros de eficiência energética abaixo do Brasil na parametrização dos critérios, refletindo no resultado econômico dos créditos de descarbonização.

Tabela 3: Nordeste: desempenho energético das UPs por etanol (E1GC) - 2025

Região	Elegib.	NEEA	IC	Fator CBIO	Elegib.	NEEA	IC	Fator CBIO
	Etanol Anidro				Etanol Hidratado			
Brasil	**91%**	**61,6**	**25,8**	**795**	**92%**	**60,3**	**27,1**	**862**
Nordeste	**72%**	**54,5**	**33,2**	**1148**	66%	54,4	33	1299
Alagoas	75%	54,6	33,2	1104	67%	54,3	33,1	1288
Bahia	83%	60,3	27,1	893	83%	57	30,4	989
Ceará	-	-	-	-	-	-	-	-
Maranhão	92%	47,1	40,3	1036	95%	49,2	38,2	1000
Paraíba	61%	55,3	32,1	1336	64%	53,5	33,9	1369
Pernambuco	64%	57,5	29,9	1211	61%	54,6	32,8	1400
Piauí	71%	62,7	24,7	998	71%	62,4	25	1051
RG do Norte	60%	51	36,4	1468	55%	47	40,4	1797
Sergipe	44%	63	24,5	1619	44%	62,6	24,8	1706

Fonte: UNICAdata (2025).
Nota: n. d. = dado não disponível. Posição no ago./2025.

Mais especificamente, para o Etanol Anidro, observa-se que a UP de Sergipe alcança uma nota de eficiência 63, superior à média das UPs do Brasil (61,6), e a menor intensidade de carbono (24,5) entre as unidades analisadas. Em contrapartida, apresenta o menor índice de elegibilidade (44%), o que limita a parcela da produção apta à emissão de CBIOs, e um alto fator de CBIO (1619), que exige maior volume de etanol para gerar um CBIO. Destaque-se, ainda, que Sergipe não possuía unidade certificada no período estudado por Silva (2022), e conta com uma unidade em 2025.

Pernambuco, que apresentava a mais baixa elegibilidade, o terceiro mais intenso em carbono e com maior fator CBIO, avançou em relação ao que foi observado por Silva (2022). Também, pode-se dar um destaque a Bahia, com parâmetros próximos à média nacional e que indicam, em geral, um bom desempenho energético. Quanto ao nível de elegibilidade, o Maranhão (92%) superou a média do Brasil (91%).

Por sua vez, o desempenho médio para o Etanol Hidratado no Nordeste segue abaixo do Brasil, comportamento semelhante ao identificado para o tipo Anidro. Os parâmetros dos estados também apresentam um desempenho semelhante ao Etanol Anidro, com o Maranhão em destaque pela maior elegibilidade, Sergipe pelos melhores níveis de NEEA e IC, embora com menor elegibilidade, e a Bahia com desempenho médio em todos os parâmetros.

A Tabela 4 mostra as UPs nordestinas com melhor desempenho energético. A usina T. G. Agro (MA) se destaca pelo maior índice de elegibilidade (97%). Já a usina São José do Pinheiro (SE), apresenta a melhor nota de eficiência (63) e menor intensidade de carbono (24,5).

Tabela 4: Nordeste: UPs selecionadas, segundo o desempenho energético (E1GC) - 2025

UPs	Estado	Elegibilidade	NEEA	IC	Fator CBIO
Caeté – Matriz	AL	88%	58,9	28,5	865
Santa Cruz	BA	90%	58,2	29,2	855
T. G. Agro	MA	97%	50,6	36,8	912
Japungu	PB	76%	57,2	30,2	1032
São José	PE	85%	62,3	25,1	840
Comvap	PI	71%	62,7	24,7	998
Baía Formosa	RN	60%	51,0	36,4	1468
São José do Pinheiro	SE	44%	63,0	24,5	1619

Fonte: UNICAdata (2025).
Nota: n. d. = dado não disponível. Posição no mês ago./2025. A seleção considerou, em cada estado, a usina com maior nível de elegibilidade.

Como já foi dito, quanto menor o valor do fator CBIO, maior tende a ser a NEEA e um volume menor de etanol comercializado é necessário para gerar o mesmo crédito de descarbonização. Observa-se, portanto, que as usinas Santa Cruz e São José apresentam o melhor desempenho, enquanto a Baía Formosa e São José do Pinheiro, o mais baixo.

Já a produção de etanol no Nordeste representou, em 2020-2025, aproximadamente 6% da produção nacional (Tabela 5), o que evidencia uma participação relativamente baixa do setor. Essa realidade pode ser explicada, em grande parte, pela baixa produtividade da cana-de-açúcar nordestina relacionada a fatores climáticos, características do solo e técnicas de cultivo menos eficientes, deixando o Nordeste atrás do Centro-Oeste e Sudeste mesmo que o setor seja um dos mais importantes para a Região (Vidal, 2021).

Alagoas é o maior produtor de etanol no Nordeste, seguido por Pernambuco e Paraíba. No entanto, os dois últimos reduziram a produção entre 2023 e 2024, um desempenho esperado e apontado no trabalho de Vidal (2021). Nesse período, a Bahia ocupou o segundo lugar, o que pode ser atribuído a um desempenho produtivo favorecido pelo Vale do São Francisco.

Tabela 5: Nordeste: produção de etanol anual - 2020-2025 (m³ e %)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Brasil	32.688.520	30.087.843	30.727.438	35.457.137	37.004.429	17.262.479
Nordeste	1.918.614	1.842.151	1.749.476	2.075.933	1.929.975	828.893
NE/Brasil	5,9%	6,1%	5,7%	5,9%	5,2%	4,8%
Alagoas	425.902	423.596	384.906	511.797	468.165	125.893
Bahia	273.546	311.544	334.911	381.806	351.939	143.726
Ceará	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Maranhão	174.548	164.335	143.109	160.688	167.268	244.478
Paraíba	395.528	362.879	361.862	419.291	374.689	117.469
Pernambuco	395.018	320.881	308.742	326.023	320.318	117.568
Piauí	38.612	44.143	45.032	47.161	31.658	9.441
RG do Norte	118.304	101.776	91.809	138.278	142.909	50.406
Sergipe	97.157	112.997	79.105	90.889	73.029	19.912

Fonte: ANP (2025).
Nota: O volume produzido de 2025 corresponde aos meses de jan. – jul. Os dados mais recentes sobre a produção de etanol no estado do Ceará referem-se à safra 2016/2017, anterior ao período considerado nesta análise (n.d. = dado não disponível).

Não foram encontrados dados de produção de etanol no estado do Ceará no período analisado. Uma explicação pode ser o declínio da produção de cana-de-açúcar na Região associado a fatores climáticos e que resultaram em uma queda de cerca de 80% da produção em 50 anos, segundo a matéria da Cana Online (2022).

Na Tabela 6, verifica-se o volume produzido, comercializado e certificado de etanol (anidro e hidratado) considerando-se o acumulado no período 2020-2025. Destaque-se que o volume certificado é uma parcela do volume comercializado porque corresponde ao volume comercializado que está certificado para emitir CBIO.

A priori, cerca de 81% do etanol comercializado no Nordeste é certificado, demonstrando uma resposta positiva aos incentivos da política de biocombustíveis. Alagoas se destaca em volume produzido e certificado, com 1,8 milhão de m³ certificados, representando 80,1% do volume produzido no estado, seguido da Paraíba com 86,5% do volume total produzido em 2020-2025. O Piauí registrou a maior proporção de volume certificado do seu total produzido. Mas, em termos absolutos, o volume certificado corresponde a 450.000 m³, o que representa 2,7% do volume do Nordeste. Os estados do Ceará e Sergipe não apresentaram dados para o período analisado. No Ceará, isso pode ser explicado pelo declínio da produção de cana-de-açúcar, e em Sergipe, embora apresentando uma única unidade produtora e uma produção de 473.089 m³, a baixa elegibilidade (44%), impediu a emissão de CBIOs.

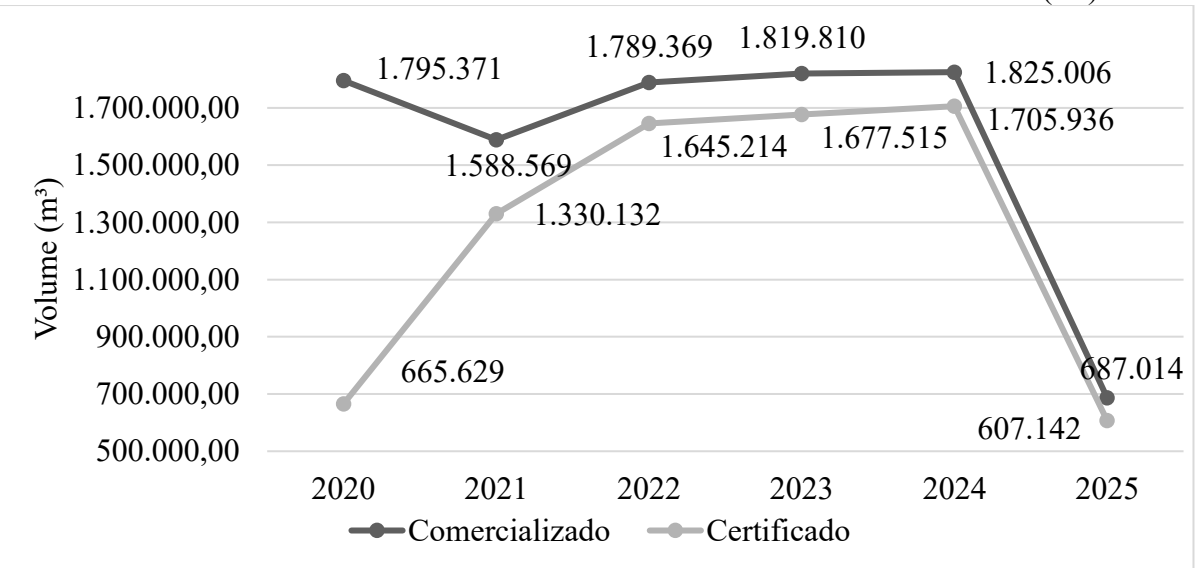
Tabela 6: Nordeste: volume de etanol produzido, comercializado e certificado, acumulado no período e segundo o estado - 2020-2025 (m³)

Região	Produzido (A)	Comercializado (B)	Certificado (C)	(C)/(B)	(C)/(A)
	Volume (m³)			%	%
Nordeste	**10.345.042**	**9.469.139**	**7.631.567,34**	**80,6**	**73,8**
Alagoas	2.340.259	2.308.182	1.875.049,72	81,2	80,1
Bahia	1.797.472	1.682.277	1.492.513,67	88,7	83,0
Ceará	-	-	-	-	-
Maranhão	1.054.426	893.660	569.460,82	63,7	54,0
Paraíba	2.031.718	1.996.796	1.756.809,83	88,0	86,5
Pernambuco	1.788.550	1.728.288	1.282.893,55	74,2	71,7
Piauí	216.047	215.342	204.597,27	95,0	94,7
R. G. do Norte	643.482	644.594	450.242,48	69,8	70,0
Sergipe	473.089	-	-	-	-

Fonte: UNICAdata (2025).
Nota: Os dados de volume produzido, comercializado e certificado considerados foram os dados anuais. Os dados de 2025 para o volume produzido correspondem aos meses de jan.- jul. e para os volumes comercializado e certificado, jan. – abr.

O Gráfico 1 apresenta a evolução do volume de etanol comercializado e certificado, indicando, de forma geral, um crescimento significativo até 2024, considerando-se que os dados disponíveis de 2025, até o fechamento deste trabalho, correspondem aos meses de jan.- abr.

Gráfico 1: Nordeste: volume comercializado e certificado de etanol - 2020-2025 (m³)



Fonte: UNICAdata (2025).
Nota: os dados de 2025 correspondem aos meses de jan.- abr.

Uma exceção ocorreu em 2021, quando o volume comercializado de etanol sofreu uma redução de 11,5% comparado ao ano de 2020. Essa queda pode ser atribuída aos efeitos da

pandemia de Covid-19, que reduziu a mobilidade urbana e o consumo de etanol hidratado. Apesar dessa retração, os anos seguintes demonstraram uma retomada no potencial de comercialização. Além disso, houve avanço na certificação, com o percentual de etanol certificado saindo de 37% (2020) para 93% (2024), sugerindo uma maior adesão ao RenovaBio.

Após identificar o volume de etanol produzido, comercializado e certificado no período analisado, é possível estimar a receita potencial da indústria sucroalcooleira nordestina no contexto do RenovaBio. Para isso, recorreu-se a estudos da ORPLANA (2021) e França (2023), nos quais utilizou-se a calculadora Benri, uma ferramenta que estima a quantidade de CBIOs gerados a partir da rota do biocombustível, NEEA, elegibilidade, volume produzido e preço do CBIO. Especificamente, a quantidade de CBIOs emitidos é dada por:

$$Q_{CBIO} = (NEEA \times m \times PCI \times (\frac{VE}{100000})) \times P$$

Onde: Q_{CBIO} é a quantidade de CBIOs emitidos; NEEA é a nota de eficiência energética-ambiental; m é a massa específica de cada produto; PCI é o poder calorífico inferior do etanol; VE é o volume elegível e P é a produção anual de etanol em litros.

A partir dessa fórmula e dos dados da UNICA (2025) de produção acumulada de etanol em 2020-jul. 2025, foi obtida a quantidade de CBIOs emitida para as usinas produtoras (Tabela 7). Com base nos resultados, nota-se que a produção de etanol hidratado gera mais CBIOs do que a produção de etanol anidro. Em especial, é importante lembrar que cada CBIO equivale a 1 tonelada a menos de CO_2. Logo, o valor resultante desse cálculo representa 84.554.024,20 toneladas a menos de CO_2 na atmosfera.

Tabela 7: Nordeste: cálculo de emissão de CBIOs para a produção de etanol anidro e hidratado - 2020-2025

	Etanol Hidratado	**Etanol Anidro**
Nota de Eficiência Energético Ambiental (gCO_2eq/MJ)	54,4	54,5
Massa Específica (t/m^3)*	0,809	0,791
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)*	26,38	28,26
Volume elegível	66%	72%
Fator para emissão de CBIO (t CO_2eq/L)	7,66E-03	8,77E-03
Produção (L)	5.560.355.000	4.784.687.000
CBIOs Potencial	**42.592.319,30**	**41.961.704,99**

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: O valor da massa específica e do PCI foram encontrados em material da ORPLANA.

A Tabela 8 segue a lógica da Tabela 7, diferindo o volume considerado. No caso, foi utilizado o volume certificado para cada ano para encontrar a quantidade de CBIOs emitidos pelos produtores de etanol. O fator para emissão adotado foi um valor fixo de 7,66E-04 (etanol hidratado) e 8,77E-04 (etanol anidro), dada a indisponibilidade de dados anuais.

Tabela 8: Nordeste: cálculo de emissão de CBIOs a partir do volume anual de etanol hidratado e anidro certificado - 2020-2025

	Fator para emissão de CBIO (t CO2eq/L)	Volume Certificado (L)	CBIOs Potencial
Etanol Hidratado			
2020	7,66E-04	349.403.450	267.727,70
2021	7,66E-04	702.902.190	538.593,39
2022	7,66E-04	828.435.190	634.782,09
2023	7,66E-04	786.181.860	602.405,80
2024	7,66E-04	1.044.414.700	800.274,72
2025	7,66E-04	391.914.980	300.301,84
Etanol Anidro			
2020	8,77E-04	316.225.720	277.379,60
2021	8,77E-04	627.229.350	550.178,61
2022	8,77E-04	816.778.890	716.443,32
2023	8,77E-04	891.332.850	781.838,85
2024	8,77E-04	661.521.280	580.258,02
2025	8,77E-04	215.226.880	188.787,76

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: O valor da massa específica e do PCI foi coletado em material da ORPLANA. O fator para emissão de CBIO foi encontrado a partir do produto entre a NEEA, a massa específica, o PCI e o volume elegível. Além disso, a NEEA e o volume elegível não estavam disponíveis para cada ano e, nesse caso, foi utilizado o dado de 2025.

A Tabela 9 apresenta o volume não certificado da produção de etanol. Para esse cálculo, considerou-se a diferença da parcela de 73,8% referente ao volume produzido e certificado em 2020-2025. A partir dele, é possível simular a quantidade de CBIO que poderia ter sido emitida no período, caso o etanol fosse certificado. Esses valores serão a base para encontrar a receita potencial desse mercado e identificar a redução de CO^2 na atmosfera.

As negociações no mercado de crédito de descarbonização iniciaram em junho de 2020 e seguem até os dias atuais (2025) no mercado de balcão da B3 (Brasil, Bolsa e Balcão). Com base no resumo de negociações da UNICA (2025), a maior variação de preços foi no ano de 2022, quando os CBIOs foram vendidos entre R$ 31,99 a R$ 209,50 (Tabela 10).

Tabela 9: Nordeste: cálculo de emissão de CBIOs a partir do volume anual não certificado de etanol hidratado e anidro - 2020-2025

	Fator para emissão de CBIO (t CO2eq/L)	Volume Não Certificado (L)	CBIOs Potencial
Etanol Hidratado			
2020	7,66E-04	527.606.940,00	404.274,76
2021	7,66E-04	187.989.861,78	144.045,78
2022	7,66E-04	19.767.189,78	15.146,46
2023	7,66E-04	156.856.099,32	120.189,78
2024	7,66E-04	126.153.203,40	96.663,92
2025	7,66E-04	56.968.448,76	43.651,64
Etanol Anidro			
2020	8,77E-04	397.095.866,64	348.315,66
2021	8,77E-04	189.880.499,70	166.555,12
2022	8,77E-04	57.178.107,18	50.154,21
2023	8,77E-04	137.176.598,70	120.325,50
2024	8,77E-04	39.187.593,36	34.373,70
2025	8,77E-04	935.617,74	93.578,59

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: O valor da massa específica e do PCI foi coletado em material da ORPLANA. O fator para emissão de CBIO foi encontrado a partir do produto entre a NEEA, a massa específica, o PCI e o volume elegível. Além disso, a NEEA e o volume elegível não estavam disponíveis para cada ano e, nesse caso, foi utilizado o dado de 2025.

Tabela 10: Preços máximo, médio e mínimo dos CBIOs – 2020-2025

	Preço Máximo (R$)	Preço Médio (R$)	Preço Mínimo (R$)
2020	72,00	43,43	15,00
2021	66,00	39,31	26,75
2022	209,50	111,65	31,99
2023	163,50	113,59	84,45
2024	118,00	88,02	62,00
2025*	61,22	51,07	32,10

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: os dados de 2025 correspondem aos meses de jan.- ago.

Para o etanol hidratado, a maior receita aconteceu em 2022, impulsionada pelo aumento expressivo no preço. Já para o anidro, ocorreu em 2023, devido a maior quantidade de emissão de CBIO, refletida pelo aumento no volume de etanol anidro produzido, que pode ter sido intensificado pela demanda por gasolina ao invés do etanol, visto que são bens substitutos (Tabela 11). Nota-se que, entre os anos 2020 e 2024, a receita total apresentou crescimento significativo, refletindo a adesão ao RenovaBio e a valorização do CBIO no mercado.

A Tabela 12 apresenta uma estimativa de receita adicional que deixou de ser gerada pelas UPs de etanol do Nordeste devido à não certificação de parte do volume produzido.

Tabela 11: Nordeste: simulação de receitas de CBIOs a partir da quantidade de CBIOs emitida para o volume de etanol certificado, hidratado e anidro - 2020-2025

	Etanol hidratado			Etanol anidro	
Ano	**Preço CBIO (R$)**	**CBIO certificado**	**Receita potencial (R$)**	**CBIO certificado**	**Receita potencial (R$)**
2020	43,43	267.727,70	11.627.414,01	277.379,60	12.046.596,03
2021	39,31	538.593,39	21.172.106,16	550.178,61	21.627.521,16
2022	111,65	634.782,09	70.873.420,35	716.443,32	79.990.896,68
2023	113,59	602.405,80	68.427.274,82	781.838,85	88.809.074,97
2024	88,02	800.274,72	70.440.180,85	580.258,02	51.074.310,92
2025	51,07	300.301,84	15.336.414,97	188.787,76	9.641.390,90
Total		3.144.085,54	257.876.811,17	3.094.886,16	263.189.790,66

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: os dados de 2025 correspondem aos meses de jan.- abr. O volume certificado é uma parcela do volume comercializado no período.

Tabela 12: Nordeste: simulação de receitas de CBIOs a partir da quantidade de CBIOs estimada para o volume de etanol não certificado, hidratado e anidro - 2020-2025

	Etanol hidratado			Etanol anidro	
Ano	**Preço CBIO (R$)**	**CBIO não certificado**	**Receita potencial (R$)**	**CBIO não certificado**	**Receita potencial (R$)**
2020	43,43	404.274,76	17.557.652,62	348.315,66	15.127.349,11
2021	39,31	144.045,78	5.662.439,77	166.555,12	6.547.281,77
2022	111,65	15.146,46	1.691.101,92	50.154,21	5.599.717,55
2023	113,59	120.189,78	13.652.356,92	120.325,50	13.667.773,55
2024	88,02	96.663,92	8.508.358,30	34.373,70	3.025.573,07
2025	51,07	43.651,64	2.229.289,01	93.578,59	4779.057,59
Total		823.972,33	49.301.198,54	813.302,78	48.746.753,64

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da UNICAdata (2025).
Nota: os dados de 2025 correspondem aos meses de jan.- abr. O volume não certificado é a diferença não comercializada sob o RenovaBio no ano observado. Para a simulação, considerou-se uma parcela de 73,8% desse volume, tendo-se por referência a certificação alcançada em 2020-2025.

Como já mencionado, para calcular a receita adicional potencial, considerou-se a diferença da parcela de 73,8% referente ao volume produzido e certificado. É importante ressaltar que o cálculo foi uma simulação a partir de dados publicados pela UNICAdata e, no caso, admitiu-se que toda produção de etanol nordestina que não foi certificada representa a não participação no RenovaBio.

Em 2020, a quantidade de CBIO emitido foi a maior da série, tanto para o etanol hidratado quanto para o etanol anidro. Nos anos posteriores, essa quantidade foi diminuindo, expressando a adesão ao mercado de crédito de descarbonização. Apesar do avanço, nota-se um espaço considerável para esse mercado ser explorado e gerar ganhos adicionais de receitas para o setor sucroalcooleiro da Região Nordeste.

Visto o total de receitas potenciais, a não emissão de CBIO representa uma perda financeira para as empresas não regularizadas, com custo de oportunidade em torno de R$ 98.047.951 no acumulado dos 5 anos analisados. Mesmo se tratando de uma simulação, pela valorização do preço do CBIO no período, percebe-se o potencial que o mercado proporciona.

Nesse contexto, é importante considerar a presença de impedimentos à participação no RenovaBio. Dentre eles, França (2023) destaca a insegurança jurídica, a incerteza na produção de CBIOs, a baixa liquidez e multa elevada pelo não cumprimento das metas. Ainda, o RenovaBio está sujeito a mudanças regulatórias, políticas e comerciais, o que torna o ambiente instável para investimentos.

Além disso, sabe-se que a adesão ao programa envolve custos, uma vez que é necessária a contratação de empresas inspectoras credenciadas pela ANP para realizarem análises técnicas do ciclo de vida do biocombustível. Adicionalmente, tem-se o fato de que muitas usinas, principalmente de menor porte, enfrentam limitações técnicas e operacionais, não conseguindo atender integralmente às exigências para a certificação.

5 Considerações finais

Apesar dos desafios ainda existentes, o RenovaBio, em pouco anos de vigência, tem se consolidado como um instrumento de aprendizado para todos os agentes do setor, o que reforça o papel do Programa na ampliação da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira. Esse avanço é possível graças à possibilidade de negociação em mercado que gera benefícios econômicos para os produtores e ambientais para a sociedade.

A primeira safra sob a vigência da política ocorreu em um cenário desfavorável. O mundo inteiro estava enfrentando a pandemia da Covid-19. A realidade desse período foi refletida na redução da demanda por combustíveis, em especial pelo etanol hidratado, o que levou muitas UPs a redirecionarem sua produção para a fabricação de açúcar na safra 2020/2021, dada a valorização do produto no mercado internacional e a alta do dólar, que tornaram a produção e a comercialização do açúcar mais vantajosa em relação ao etanol.

O RenovaBio se manteve firme nesse contexto e, em 2025, conta com 293 UPs certificadas no Brasil. A participação do Nordeste é limitada, com apenas 40 unidades, o que pode ser reflexo de fatores estruturais, técnicos e climáticos, que reduzem sua competitividade frente a outras regiões do país. Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Bahia concentram a maior parte da produção e certificação no Nordeste, enquanto estados como Ceará e Sergipe apresentam restrições importantes. O Ceará, devido ao declínio da cana-de-açúcar e Sergipe, por possuir apenas uma unidade produtora certificada, com baixo índice de elegibilidade.

No que se refere ao desempenho energético, o Nordeste apresentou médias inferiores às do Brasil. Contudo, observou-se que a Bahia apresentou parâmetros próximos à média nacional e a Paraíba obteve elevada taxa de certificação. É importante ressaltar também a evolução do RenovaBio ao longo dos anos, já que o percentual de etanol certificado saiu de cerca de 37% em 2020 para mais de 90% em 2024, revelando maior adesão das UPs à política. No entanto, uma parte considerável da produção permaneceu fora da certificação, gerando perdas financeiras potenciais para a indústria sucroalcooleira.

Além disso, os resultados revelam que a receita proveniente da comercialização de CBIOs cresceu de forma significativa saindo de R$ 11.627.414,01 em 2020 e chegando a R$ 70.440.180,85 em 2024 para a produção de etanol hidratado. Esse resultado decorre do aumento do preço do crédito de descarbonização e do avanço no volume de etanol certificado. Por sua vez, as unidades que não aderiram ao RenovaBio, tiveram um custo de oportunidade de R$ 27.320.130 no ano de 2023 na produção do etanol (anidro e hidratado).

É importante reforçar o que Silva (2022) destacou na sua pesquisa: não se faz ciência apenas comparando *ex-ante* e *ex-post*, é necessário haver um grupo de controle para verificar o cenário sem o RenovaBio. Para o presente estudo, não foi possível fazer um grupo de controle, mas a receita potencial da indústria sucroalcooleira foi simulada para cada ano a partir da quantidade de CBIOs emitidos pelos produtores. Identificou-se que as unidades fora do RenovaBio poderiam ter alcançado uma receita de R$ 98.047.951 entre os anos de 2020 e 2025, além de gerar uma redução de 84.554.024,20 toneladas de carbono na atmosfera.

Ademais, também foi possível concluir que, apesar dos avanços, a adesão plena ao RenovaBio ainda enfrenta barreiras, como insegurança jurídica, custos de certificação e limitações técnicas das usinas de menor porte.

Embora os resultados tenham apresentado coerência, a pesquisa tem limitações devido à ausência de dados, ao método aplicado e a finalidade da pesquisa. Sendo assim, recomenda-se que sejam feitos estudos complementares a este.

Por fim, conclui-se que o RenovaBio representa um avanço fundamental para o setor sucroalcooleiro e para a transição rumo a uma economia de baixo carbono. No entanto, sua efetividade na região Nordeste depende de estratégias voltadas à redução das desigualdades regionais, ao incentivo à modernização tecnológica e ao maior suporte institucional às UPs. Por isso, mecanismos de apoio técnico e financeiro são fundamentais para ampliar a participação do setor e fortalecer a transição para uma economia de baixo carbono.

Referências

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico da Plataforma CBIO RenovaBio**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio. Acesso em: ago. 2025.

CARDOSO, M.; COSTA, H. K. DE M. RenovaBio, uma análise sobre o programa e sua influência no desenvolvimento do mercado do biometano. **Revista Brasileira de Energia**, v. 26, n. 3, p. 47–58, 2020.

CARDOSO, C. R.; RODRIGUES, E. M.; CAMPOS, L. S. Oportunidades do mercado de crédito de carbono para usinas sucroalcooleiras do Brasil. **Nucleus**, v. 6, n. 1, p. 101–120, abr. 2009. Disponível em: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4033697. Acesso em: 30 jun. 2025.

CARVALHO, P. S. de A.; FONSECA, M. B. da. A mecanização do setor sucroalcooleiro paraibano: um estudo a partir da teoria dos custos evitados. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 2, n. 1, p. 45–60, jan./mar. 2017. Disponível em: https://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/57/0. Acesso em: 12 abr. 2025.

CLUBE DE ROMA. **History**. Disponível em: https://www.clubofrome.org/history/. Acesso em: set. 2025.

FONSECA, M. **Economia Ambiental**. Aula 02. [S. l.: s. n.], 2024. Slide 10. Disponível em: https://sig-arq.ufpb.br/arquivos/20241552465ecf7096073bd34f62615f9/Aula_02.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

FRANÇA, Fabio Christino. **Avaliação econômica de uma usina de biodiesel sob a égide do programa RenovaBio**: estudo de caso focado na substituição de óleo de soja por sebo bovino. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106133/tde-12122023-232654/. Acesso em: 16 set. 2025.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Tradução e edição: MCT; apoio: Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kppor.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

MCTIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Acordo de Paris**. Brasília: MCTIC, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: jul. 2025.

_____. _____. **Acordo de Paris e NDC**. Brasília: MCTI/SIRENE, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

MME. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RenovaBio**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1. Acesso em: 30 jun. 2025.

_____. _____. **Esquema Conceitual do RenovaBio**. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1/esquema-conceitual-do-renovabio Acesso em: 17 set. 2025.

ORPLANA. **RenovaBio: geração de CBIOs.** Apresentação em Audiência Pública da Comissão de Agricultura, Pecuária, Abastecimento, Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente (CAPADR), 14 out. 2021. Câmara dos Deputados. Brasília, 2021. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/capadr/apresentacoes-em-eventos/eventos-de-2021/audiencia-publica-14-de-outubro-de-2021-orplana. Acesso em: 17 set. 2025.

PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia**. Madrid: Pearson Educación, 2009. Disponível em: https://danielmorochoruiz.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/01/microeconomia_-_pyndick.pdf. Acesso em: 29 jun. 2025.

SILVA, M. S. C. da. **Análise do desempenho energético e econômico das unidades de produção de etanol de primeira geração dos estados do Norte e Nordeste no contexto da política nacional de biocombustíveis (RENOVABIO)**. 2022. 50 p. Dissertação (Mestrado em Economia). Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP). Brasília, 2022. Disponível em: https://repositorio.idp.edu.br/bitstream/123456789/4212/1/DISSERTACAO_MILTON%20SANTOS%20CAMPELO%20DA%20SILVA_MESTRADO%20EM%20ECONOMIA.pdf

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Como funciona a comercialização de crédito de carbono?** 17 abr. 2023. Notícia. Disponível em: https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/como-funciona-a-comercializacao-de-credito-de-carbono,88dbbc6d15757810VgnVCM1000001b00320aRCRD. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOUZA, C. S.; MILLER, D. S. **O Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**: as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), sua natureza jurídica e a regulação do mercado de valores mobiliários, no contexto estatal pós-moderno. [*s. l.*], 2003. Artigo, p. 23.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Kyoto Protocol**. Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol. Acesso em: 30 jun. 2025.

_____. _____. Joint Implementation. In: **The Kyoto Protocol mechanisms**. Disponível em: https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/joint-implementation. Acesso em: 30 jun. 2025.

_____. _____. *The Clean Development Mechanism*. In: **The Kyoto Protocol mechanisms**. Disponível em: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism. Acesso em: 30 jun. 2025.

_____. _____. *Emissions Trading*. In: **The Kyoto Protocol mechanisms**. Disponível em: https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading. Acesso em: 30 jun. 2025.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia. **RenovaBio**. 2025. Disponível em: https://unica.com.br/iniciativas/renovabio/. Acesso em: mar. 2025.

_____. _____. UNICA DATA. [*S. l.*], [*s. d.*]. **Base de dados**. Disponível em: https://unicadata.com.br/. Acesso em: 18 mar. 2025.

VIDAL, M. de F. Produção e mercado de etanol no Nordeste brasileiro. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 6, n. 211, dez. 2021. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2883. Acesso em: 20 set. 2025.