## O papel dos biocombustíveis na transição energética

**Apesar dos diversos caminhos para alcançar a neutralidade das emissões dos GEE globais os biocombustíveis desempenham um papel central na transição energética**. Uma transição energética acelerada (tanto em eletricidade quanto em combustíveis), com a substituição dos sistemas energéticos de fontes fósseis por renováveis, melhor eficiência energética e uso mais racional dos recursos são os caminhos mais recomendados, com menores custos (IEA, 2020; IRENA, 2020; IPCC, 2022a). Desde o Acordo de Paris, tem havido uma significativa ênfase no desenvolvimento de combustíveis alternativos mais sustentáveis, visando contribuir para uma transição energética com melhor eficiência. Consequentemente, a busca por combustíveis limpos, que sejam viáveis sob a perspectiva técnica, de disponibilidade local e de conformidade ambiental, tornou-se uma preocupação de alcance global (IEA, 2020; IRENA, 2020; FARGHALI *et al.*, 2023).

Vários motivos podem ser destacados, principalmente devido à necessidade de reduzir rapidamente as emissões dos GEE, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e promover maior sustentabilidade. Na Figura 4 abaixo estão destacados alguns pontos que evidenciam a importância dos biocombustíveis na transição energética.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Figura 4**. Papel importante dos biocombustíveis na transição energética

Fonte: Agroicone(2023).

1. **Redução das emissões dos gases de efeito estufa**: os biocombustíveis apresentam uma vantagem significativa em relação aos combustíveis fósseis, uma vez que liberam quantidades substancialmente menores de dióxido de carbono (CO2) ao longo de todo o ciclo de vida do combustível, desde a sua produção até a etapa final de consumo, quando são queimados (KUGELE et al., 2023; RONY *et al.*, 2023).
2. **Diversificação da matriz energética e segurança energética**: os biocombustíveis oferecem uma alternativa aos combustíveis fósseis tradicionais, como petróleo e carvão. Ao diversificar a matriz energética com fontes renováveis, como biocombustíveis, é possível reduzir a vulnerabilidade em relação à volatilidade dos preços do petróleo e à escassez futura de combustíveis fósseis (AKHTAR, 2023; AMBAYE *et al.*, 2021; IRENA, 2023; ZACHARIAS *et al.*, 2023).
3. **Agricultura sustentável**: a busca pela implementação de sistemas de produção de biocombustíveis mais sustentáveis, como melhorias na performance dos insumos, aprimoramento da genética das culturas, inovações na agricultura de precisão e aperfeiçoamento das máquinas agrícolas. Esses esforços são direcionados à melhoria contínua dos sistemas de produção, resultando em uma eficiência global do processo (ALAZAIZA *et al.*, 2022; KHAN *et al.,* 2022; MORONE *et al.,* 2023).
4. **Desenvolvimento rural e criação de empregos**: a produção de biocombustíveis impulsiona o crescimento econômico em regiões rurais e em países de baixa renda, criando diversas oportunidades de trabalho direto e indireto, como por exemplo, nos setores agrícola, de produção, transporte e distribuição de matérias-primas e biocombustíveis (HARTLEY *et al.*, 2018; VERA *et al.*, 2022).
5. **Estímulo à inovação tecnológica verde:** a busca pelas melhores formas de produzir e utilizar biocombustíveis impulsiona a inovação em tecnologias de produção, conversão e armazenamento de energia, uso de captura e estoque de carbono, o que pode ter aplicações em outras áreas da economia (MOUSAVI, *et al.,* 2023; QI, *et al.,* 2023; USMANI *et al.,* 2023).
6. **Integração com a infraestrutura existente:** em muitos casos, os biocombustíveis podem substituir os combustíveis fósseis e serem usados ​​diretamente em motores de combustão interna. Adicionalmente, pode ser aproveitada a infraestrutura de distribuição já existente facilitando a transição para fontes de energia mais limpas sem a necessidade de uma substituição completa da infraestrutura (GAUTO *et al.*, 2023; GLYNIADAKIS e BALESTIERI, 2023).

Adicionalmente, observa-se que muitos países da América Latina, África e Ásia têm adotado mandatos de mistura de biocombustíveis devido às comprovadas vantagens ambientais, sociais e econômicas de sua introdução no mercado (NEVES *et al.,* 2020; ARANTES, 2023). Os impactos positivos podem ser muito relevantes e representar mudanças em direção ao desenvolvimento socioeconômico e segurança energética (TRINDADE *et al.,* 2019).

## 1.2 Biocombustíveis como estratégia para o atingimento das metas de descarbonização de setores importantes da economia

**Os biocombustíveis são as principais estratégias de redução das emissões dos GEE para importantes setores da economia, como aviação civil e transporte marítimo.** No médio e longo prazo existem grandes desafios para alcançar o desenvolvimento sustentável e a neutralidade climática em nível global. Neste contexto, os biocombustíveis também serão utilizados por modais de transporte mais difíceis de serem descarbonizados (IPCC, 2018). No setor de aviação internacional, por exemplo, os combustíveis sustentáveis de aviação (do inglês *Sustainable Aviation Fuel – SAF*) aparecem como principal forma de redução rápida das emissões dos GEE.

O *SAF* pode ser produzido a partir de diversas fontes, incluindo o etanol de milho brasileiro, e contribuir com cerca de 65% das emissões dos GEE necessárias para alcançar emissões líquidas zero *(net zero)* em 2050. Como observado na Figura 5, os outros 35% virão a partir de novas tecnologias, mudanças na infraestrutura e operação, somado à compensação e captura de carbono (IATA, 2023).

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Figura 5**. Contribuição para alcançar emissões líquidas zero em 2050, no setor de aviação civil

Fonte: Agroicone, com base em IATA (2023).

A meta de redução das emissões dos GEE do setor provavelmente exigirá um enorme aumento da produção atingindo aproximadamente 449 bilhões de litros de *SAF* em nível mundial até 2050 para atender à demanda. A maior aceleração é esperada em 2035 (Figura 6), quando a produção atingirá 90 bilhões de litros de *SAF*. À medida que o apoio político alcança nível global, o *SAF* torna-se competitivo em relação ao querosene fóssil (IATA, 2023).

Uma imagem contendo Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

**Figura 6.** SAF necessário para alcançar a neutralidade climática em 2050

Fonte: Agroicone, com base em IATA (2023).

O setor de transporte marítimo internacional, que responde por cerca de 3% das emissões globais de GEE, estabeleceu a meta de alcançar emissões líquidas zero de GEE no setor até 2050. Sem nenhuma ação, as emissões de GEE marítimos poderiam atingir 130% dos níveis de 2008, até 2050. Para reduzir a pegada de carbono do transporte marítimo são necessárias um conjunto de medidas técnicas, operacionais e soluções inovadoras, que sejam aplicáveis no curto, médio e longo prazo.

Os biocombustíveis, produzidos a partir de biomassa, são uma das principais alternativas para a rápida introdução de fontes de energia renováveis e redução de emissões dos GEE no transporte marítimo no curto prazo. Além de serem menos intensivos em carbono, comparados aos substitutos fósseis, apresentam baixo teor de enxofre e alguns biocombustíveis podem ser usados como combustíveis *drop-in*, ou seja, sem a necessidade de modificações nos motores, na infraestrutura de abastecimento ou *retrofit* das embarcações. O Brasil, um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo, pode contribuir com a descarbonização do segmento marítimo, sendo os biocombustíveis uma alternativa para substituição gradual dos combustíveis fósseis marítimos ainda no curto-prazo (DE SOUZA, 2022; IMO, 2022; MME, 2022; UNCTAD, 2023).

## 1.3 A complementariedade entre o etanol de cana e de milho brasileiro

**O etanol de milho brasileiro tem um papel importante na contribuição para o atingimento das metas incluídas na NDC brasileira e para a transição energética.** O Brasil, através da nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), atualizada em 2023, assume o compromisso de reduzir as emissões dos GEE em 48% até o ano de 2025 e, adicionalmente, reduzir as emissões de GEE em 53% até 2030, em relação aos níveis de 2005. Além disso, o Brasil reiterou seu compromisso de alcançar a neutralidade climática até 2050 (BNDES, 2023; BRASIL, 2023b). Para atingir essas metas, o Brasil tem como objetivo aumentar a participação de energias renováveis e biocombustível na matriz energética nacional, que envolve eletricidade e combustíveis, para aproximadamente 45% e 18%, respectivamente, até 2030 (BRASIL, 2016).

**Para a transição energética e atingimento das metas de redução das emissões dos GEE, a diversificação e complementariedade entre as diferentes fontes para a produção de biocombustível serão fundamentais, principalmente no longo prazo.** Como evidenciado anteriormente, os principais setores que contribuem para emissões de GEE no Brasil são mudança de uso do solo e floresta, agropecuária e energia. Para impulsionar o progresso do Brasil em relação ao alcance de suas metas propostas na NDC, também é indispensável que o setor energético amplie sua gama de fontes renováveis. A partir da Figura 7 abaixo, nota-se que dentro do setor de energia, as principais atividades que contribuem para as emissões de GEE são transporte de carga e passageiro. Por isso, para auxiliar no cumprimento das metas propostas na NDC brasileira, a Política Nacional de Biocombustíveis, o RenovaBio, instituído pela Lei nº 13.576/2017 (ANP, 2017), foi criada com o objetivo de reduzir as emissões de GEE no setor de transporte e expandir a produção de biocombustíveis no país (GRASSI *et al.,* 2019), reconhecendo o papel dos biocombustíveis como instrumento de descarbonização da matriz de transportes brasileira.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente com confiança média

**Figura 7.** Contribuição das emissões dos GEE no Brasil, por atividade, em 2022

Fonte: SEEG (2023).

A matriz energética brasileira destaca-se pela disponibilidade de rotas alternativas capazes de otimizar a geração de energia renovável. Essa diversificação não apenas fortalece a economia do país, mas também fornece vários instrumentos para atingir os compromissos internacionais. A variedade de matérias-primas empregadas na produção dos biocombustíveis vem acompanhada de benefícios econômicos, ambientais e de segurança energética (FREIRE *et al.*, 2023), que auxiliam o processo da transição energética. Na Figura 8 abaixo estão delineadas algumas formas pelas quais as duas fontes disponíveis no Brasil, cana-de-açúcar e milho de segunda safra, podem ser complementares para a produção de etanol.

Texto, chat ou mensagem de texto

Descrição gerada automaticamente

**Figura 8.** Complementariedade entre cana-de-açúcar e milho de segunda safra para a produção de etanol no Brasil

Fonte: Agroicone (2023).

1. **Diferentes regiões produtoras**: as plantações de cana-de-açúcar se estendem por todo o território brasileiro, com um destaque particular para as áreas nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste (OGURA *et al.*, 2022). Nesse cenário, a região Sudeste se destaca como a principal região produtora de cana-de-açúcar. Em contrapartida, as lavouras de milho assim como as usinas de etanol de milho, impulsionadas por níveis de produção mais elevados, predominam principalmente na região Centro-Oeste do país, no estado de Mato Grosso (CONAB, 2023a).
2. **Diversificação de matéria prima: menor oscilação de preço e segurança energética**: em contexto de atipicidades climáticas cada vez mais recorrentes, a busca por outras matérias-primas para a produção de biocombustíveis se torna estrategicamente importante, reduzindo a dependência da produção de etanol a uma só cultura (DONKE *et al.,* 2017).
3. **Diferentes períodos de safra:** o etanol de cana-de-açúcar e o etanol de milho de segunda safra geralmente têm ciclos de cultivo e colheita diferentes (SILVA *et al.,* 2021). A safra da cana é predominantemente de abril a novembro, com alguma produção residual até dezembro, principalmente no Nordeste brasileiro. Além disso, a cana se degrada rapidamente após a colheita, tornando a estocagem inviável (TAKEDA *et al.*, 2022). Em contrapartida, o milho de segunda safra é colhido de maio a agosto, com capacidade de armazenamento a longo prazo (LAMICHHANE *et al.*, 2023). Portanto, usinas de etanol de milho podem operar durante todo o ano, obtendo um fornecimento constante de biocombustível. Essa combinação de fontes contribui para uma oferta mais estável de energia e produtos (COLUSSI *et al.*, 2023), proporcionando maior segurança do abastecimento, em períodos de maior produção de açúcar, e reduzindo o volume de etanol importado. A preocupação com a sazonalidade da produção de etanol resultou na regulamentação de um regime de estocagem mínima de etanol anidro para garantir o abastecimento de combustíveis no país (RESOLUÇÃO ANP Nº 67/2011).
4. **Aproveitamento de tecnologias de processamento:** o etanol de milho no Brasil, com sua história relativamente recente, teve seu início com a adoção inicial em usinas *flex,* aproveitando as instalações, infraestrutura e capacidade produtiva já existentes nas usinas de cana-de-açúcar durante a estação de verão, quando a colheita da cana não ocorre nos estados da região Centro-Oeste. No entanto, ainda há um amplo espaço para a expansão desse tipo de sistema, dado o potencial das estruturas atuais. Além disso, a adaptação das usinas já existentes para sistemas de processamento flexíveis se destaca como uma alternativa viável e promissora (LUZ *et al.*, 2023).
5. **Infraestrutura física, institucionais e inovação:** o etanol de cana e de milho compartilham ainda de diversas infraestruturas físicas, institucionais e de inovação que ajudam a avançar mais rápido na direção para uma transição energética de baixo carbono. Por exemplo, no transporte terrestre de veículos leves no Brasil, os *flex fuel* são vendidos desde 2003, aumentando e incentivando a produção de etanol no país. Adicionalmente, a disponibilidade de postos que ofereçam etanol 100% é essencial para reduzir o consumo de gasolina. Os caminhos se cruzam ainda no desenvolvimento de novos combustíveis e tecnologias do futuro, como querosene renovável para aviação, hidrogênio verde e outros produtos, que partem do etanol como matéria-prima. Essa sinergia já ocorre na fase de pesquisa e desenvolvimento, mas também deverá se fortalecer na medida que biofábricas desses novos combustíveis e produtos poderão combinar diferentes fornecedores de etanol de baixa emissão de GEE para atingir níveis de eficiência mais elevados. Isso também vale, por exemplo, para infraestrutura logística como etanol-duto etc. (OLIVEIRA *et al.,* 2022; TENA *et al.*, 2022).
6. **Coprodutos e agregação de valor:** o milho que entra na usina tem um aproveitamento alto, sendo convertido em dois tipos de *Dried Distillers Grains – DDG,* em português, grãos secos por destilação (alta proteína e alta fibra), um tipo *de Wet Distillers Grains - WDG (*em português, *grãos* úmidos por destilação) e óleo de milho, que podem abastecer diversas cadeias alimentares. No caso da cana-de-açúcar, verifica-se um extenso aproveitamento agronômico e energético dos principais resíduos resultantes do processamento na indústria, havendo, no entanto, espaço para investimentos em novos produtos, a exemplo do etanol de segunda geração (produzido a partir do bagaço e da palha da cana), do biogás e do biometano (produzido a partir da biodigestão da vinhaça) (MIRANDA *et al.,* 2020; DEVI *et al.,* 2020; PARSAEE *et al.,* 2019).

A produção de etanol de milho brasileiro emerge como uma opção complementar, com potencial para fortalecer as iniciativas de expansão na fabricação de biocombustíveis conforme delineado na estratégia nacional (BRASIL, 2022; BRASIL, 2023). Além de alinhar-se com os esforços de mitigação de GEE, o etanol de milho brasileiro surge como uma fonte de energia com a capacidade de reduzir as emissões de GEE comparado a gasolina, ocupando um papel importante na transição energética (BRASIL, 2022a; MOREIRA *et al.,* 2020).

Para os próximos anos, a expectativa é aumentar ainda mais a produção de etanol de milho, atingindo 6 bilhões de litros em 2023/24, incrementando consideravelmente a produção em menos de 10 anos (CONAB, 2023a). Até 2032, o setor tem como expectativa produzir 12,7 bilhões de litros de etanol de milho no cenário de crescimento médio (Figura 9), aumentando a produção em 188% em comparação com a safra 2022/23. Nos cenários de crescimento baixo e alto projetados pela Empresa de Pesquisa Energética, a produção de etanol de milho pode variar entre 10,3 e 15 bilhões de litros em 2033 (EPE, 2023). Diversos investidores já sinalizaram novos projetos de usinas de etanol de milho. Para os próximos anos, oito usinas encontram-se em fase de construção e outras nove estão programadas para serem construídas (UNEM, 2023).

Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente

**Figura 9.** Evolução e panorama de expansão da produção de etanol de milho no Brasil

Fonte: Agroicone, com base em UNICA (2020); EPE (2023); CONAB (2023a).

## 1.4 A diferença entre o etanol de milho brasileiro e americano

**O etanol de milho brasileiro se diferencia do etanol americano em vários aspectos.** A fonte da matéria prima é a principal diferença entre eles. No Brasil o etanol de milho é produzido principalmente a partir do milho de segunda safra, em sistema de plantio direto, enquanto nos EUA o milho é produzido em uma única safra, competindo pelo uso de insumos. Adicionalmente, o etanol de milho brasileiro utiliza fontes de energia renováveis para a cogeração de energia, ao invés de fontes fósseis, e possui maior rastreabilidade de grãos (Figura 10). Esses diferenciais garantem uma redução significativa da pegada de carbono do etanol de milho brasileiro (MOREIRA *et al.,* 2020).

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo, chat ou mensagem de texto

Descrição gerada automaticamente

**Figura 10.** Diferenças entre o etanol de milho do Brasil e dos EUA

Fonte: Agroicone, com base em ARANTES (2023).

Nos EUA, todo o milho é produzido em única safra ao longo de um ano e, portanto, compete por área com outras finalidades de produção (ARANTES,2023). No Brasil, praticamente a totalidade (97%) do milho produzido na região Centro-Oeste é proveniente de segunda safra, plantada após e na mesma área da soja, dentro do mesmo ano agrícola. Ou seja, no mesmo ciclo anual, tem-se o plantio e colheita de soja e milho na mesma área agrícola (CONAB, 2023a).

Esse modelo de produção garante o melhor manejo agroambiental do solo e elimina a competição por terra com outras culturas de primeira safra, já que é possível produzir soja e milho na mesma área, em momentos distintos no ano. Para atender um aumento na demanda de milho para etanol não seria necessária uma redução na área de soja ou de outra cultura de primeira safra. Já nos Estados Unidos, o aumento da produção de milho para etanol implica na redução de área para a produção de outras culturas (EMBRAPA, 2020; MILANEZ *et al.,* 2014; MAGALHÃES *et al.,* 2020; NOVELLI *et al.,* 2023).

Em função do ambiente de produção, a quantidade de insumos utilizada no Brasil para o cultivo do milho é bem menor comparada com a dos EUA (como por exemplo, no Brasil, devido ao sistema de dupla safra, utiliza-se menor quantidade de fertilizantes nitrogenados). O sistema de produção brasileiro em duas safras utiliza, em grande parte, o sistema de plantio direto, conhecido como uma forma de agricultura regenerativa (NEWTON *et al.,* 2020; KHANGURA *et al.,* 2023). Além disso, as fontes de energia utilizadas pelas indústrias de etanol de milho nos EUA são majoritariamente gás natural, além de outras fontes fósseis com maior intensidade emissiva de GEE. No Brasil, dada as condições favoráveis ao crescimento de biomassa renovável, essa é a principal energia utilizada pelas indústrias de etanol de milho, principalmente cavaco de eucalipto e resíduos agroindustriais (MILANEZ *et al.,* 2014).

Por último, nota-se que poucos produtores de etanol no mundo tem o mesmo nível de rastreabilidade de grãos compatível com o detalhamento exigido no RenovaBio. Embora esse tenha sido um grande desafio no Brasil, o tema tem evoluído de maneira significativa, ao ponto de algumas unidades produtoras de etanol de milho brasileiro alcançarem uma certificação cerca de 90% de elegibilidade (ANP, 2023a). Vale ressaltar que os produtores de etanol de milho brasileiro que integram o RenovaBio estão comprometidos com o desmatamento zero, ou seja, existe a garantia rastreável de que o milho utilizado para produção de etanol que dará origem ao Crédito de Descarbonização (CBIO) foi cultivado em uma área na qual não houve supressão de vegetação nativa de qualquer forma pós 2018, inclusive aquelas que poderiam ser regularmente autorizadas (MME, 2021).

Por outro lado e de forma bem simplista, a *Environmental Protection Agency (EPA)* estabeleceu um número de referência para área plantada dos EUA em 2007 e determinou que, desde que este número de referência não seja excedido, é improvável, com base na avaliação de tendencias históricas e considerações econômicas, que novas terras fora da linha de base de 2007 estejam sendo dedicadas à produção agrícola. Com isso, os produtores de combustíveis renováveis que utilizam culturas plantadas ou resíduos de culturas provenientes dos EUA não precisam realizar registros e relatórios individuais para comprovação de que suas matérias-primas provêm de terras qualificadas, a menos que a EPA determine através da avaliação anual que a área base de 2007, estabelecida em 402 milhões de acres, destinada para terras agrícolas, foi excedida (EPA, 2022).

Esses diferenciais do milho segunda safra garantem uma redução significativa da pegada de carbono do etanol de milho brasileiro (entre 16,8 e 25,9 gCO2e/MJ) (MOREIRA *et al.,* 2020; ANP (2023a)) quando comparado a gasolina (87,4 gCO2e/MJ) (ANP, 2023b) e com o etanol de milho produzido nos EUA (entre 43,4 e 62 gCO2e/MJ) (a variação está relacionada ao modelo utilizado) (PEREIRA *et al.,* 2019). O tema relacionado à pegada de carbono será tratado no capítulo 3.

## Emissões do etanol de milho brasileiro

**A pegada de carbono do etanol de milho brasileiro está entre os mais baixos, sendo similar ao etanol de cana-de-açúcar e menor do que o etanol americano.**

Os benefícios ambientais do etanol de cana como substituto da gasolina têm sido evidenciados em extensa literatura e reportam uma redução de emissões de GEE com variação entre 67% e 86% quando comparado à gasolina. A pegada de carbono do etanol de cana pode variar entre 16 e 28 gCO2e/MJ, principalmente devido à alocação e insumos agrícolas utilizados (PEREIRA *et al.,* 2019; ANP, 2023a). O etanol de milho no Brasil foi inicialmente adotado em usinas “*flex*”, aproveitando instalações e infraestrutura disponível das usinas de cana existentes.

A pegada de carbono do etanol em usinas *flex* é estimada entre 28 e 31,4 gCO2e/MJ (MILANEZ *et al.,* 2014; ANP, 2023a). No RenovaBio, as usinas *full,* que utilizam somente milho, têm uma pegada de carbono média de aproximadamente 36 gCO2e/MJ (ANP, 2023a), devido ao uso de valores “default”. Porém, existem algumas que são mais eficientes. Como exemplo, a usina da FS localizada em Lucas do Rio Verde (LRV), no estado de Mato Grosso, tem uma pegada de carbono de 16,8 gCO2e/MJ para etanol anidro (ANP, 2023a).

No estudo Moreira et al. (2020), a pegada de carbono do etanol de milho no Brasil foi calculada em 18,3 e 25,9 gCO2e/MJ (dois cenários com diferentes tipos de alocação – econômica e culturas separadas - para a avaliação das emissões de GEE da fase agrícola do milho). O etanol de milho segunda safra garante uma redução significativa da pegada de carbono quando comparado a gasolina (87 gCO2e/MJ) (ANP, 2023b) e com o etanol de milho produzido nos Estados Unidos (entre 43,4 e 62 gCO2e/MJ) (PEREIRA *et al.,* 2019). Como evidenciado anteriormente, o etanol de milho brasileiro se diferencia do etanol de milho americano principalmente devido a produção em segunda safra, menor uso de insumos e uso de fontes de energia renováveis, garantindo uma redução significativa da pegada de carbono do etanol de milho brasileiro quando comparado a outros combustíveis.

## 2.1 Milho de segunda safra e biomassa biogênica como principais fatores para a baixa pegada de carbono do etanol de milho brasileiro

**O milho de segunda safra e uso de biomassa biogênica são os principais fatores que contribuem para a baixa emissão de GEE do etanol de milho brasileiro.** O sistema soja-milho de produção permite aumentar a produção nas áreas agrícolas já existentes, não necessitando a expansão de novas áreas de cultivo para ser plantado. Portanto, não gera emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE) associadas à MUT, otimizando o ciclo produtivo e os recursos no processo de produção agrícola com a diminuição do uso de fertilizantes a partir da técnica de plantio direto (VILELA *et al.,* 2011; LIU *et al.,* 2019).

O etanol de milho brasileiro utiliza como fonte de energia em seu processo a biomassa biogênica, principalmente cavaco de eucalipto, bambu, resíduos agroindustriais e agrícolas para a cogeração de energia. A geração de energia para o processo de produção do etanol de milho tem como base a produção integrada de vapor e eletricidade gerada por uma termoelétrica anexa à fábrica de etanol. O sistema energético é otimizado de maneira que a eletricidade gerada pela termoelétrica é superior que a demanda dos processos de produção, exportando a eletricidade excedente para o *grid* (MOREIRA *et al.,* 2020; ARANTES, 2023; NEVES *et al.,* 2021).

A Figura 23 resume os principais fatores que contribuem para a baixa emissão de GEE do etanol de milho brasileiro.

Linha do tempo

Descrição gerada automaticamente

**Figura 23.** Esquema dos principais fatores que contribuem para a baixa emissão de GEE do etanol de milho de segunda safra

Fonte: Agroicone, com base em Moreira *et al*., (2020).

O milho utilizado como insumo para a produção de etanol é cultivado como segunda safra, em terras que anteriormente cultivavam uma única safra de soja ou que plantavam uma segunda safra com a finalidade de cobertura do solo. Vale mencionar que a cultura do milho de segunda safra no Brasil ganhou representatividade no passado, principalmente em função dos benefícios agronômicos decorrentes da proteção física que a palhada pós-colheita tanto da soja como do milho confere ao solo, permitindo a proteção e manutenção dos nutrientes no solo no período pós-colheita. O plantio direto diminui significativamente a exposição do solo agrícola ao risco de erosão e contribui para a fixação de nutrientes no solo (PEIXOTO *et al.,* 2020; MAGALHÃES *et al.,* 2020; DA SILVA *et al.,* 2020).

## Projeção de emissões 2030

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente