

**Artigo:**

## **Importância da cana-de-açúcar na produção de etanol: vantagens e desvantagens**

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18086161>

### **Aldeni Barbosa da Silva**

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Professor de Biologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), e-mail: [aldeni.silva@ifpb.edu.br](mailto:aldeni.silva@ifpb.edu.br)

### **Gabriella Vitório Batista Monteiro**

Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), e-mail: [gabivitorio02@gmail.com](mailto:gabivitorio02@gmail.com)

### **Karina Maria Souza dos Santos**

Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), e-mail: [karinamsouza27@gmail.com](mailto:karinamsouza27@gmail.com)

### **Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra**

Doutorando em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). E-mail: [avaete.guerra@gmail.com](mailto:avaete.guerra@gmail.com)

### **Emerson Aparecido Augusto**

Doutorando em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). E-mail: [emerson.augusto@etec.sp.gov.br](mailto:emerson.augusto@etec.sp.gov.br)

### **Orivaldo da Silva Lacerda Júnior**

Doutor em Química. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e-mail: [lacerdajuniorlll@gmail.com](mailto:lacerdajuniorlll@gmail.com)

## **Resumo**

Esse trabalho teve o objetivo de apresentar a importância da cana-de-açúcar na produção de etanol, relatando as vantagens e desvantagens do seu uso como combustível. O estudo teve como método de pesquisa, o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação. Para que os objetivos fossem alcançados foi utilizado fontes bibliográficas baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo, Trabalhos de Conclusão de Curso, Teses de Mestrado e Doutorado. A pesquisa visou o aprofundamento de questões teóricas já existentes. As referências e as citações foram escritas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Observou-se que o setor sucroenergético vem se estabilizando por meio de fusões e aquisições ano a ano, formando grandes grupos para garantir o sustento das operações e ganhar escala produtiva. O ciclo produtivo do etanol de primeira geração apresenta resultados positivos em seu desenvolvimento, pelas condições favoráveis e pelo cultivo da cana-de-açúcar que se mostra superior a qualquer outra cultura brasileira para fins canavieiros. O etanol de segunda geração é uma alternativa fundamental proveniente do aproveitamento dos resíduos materiais provenientes da biomassa. O etanol como combustível apresenta vantagens por ser renovável, mais barato, menos poluente, solúvel em água e que apresenta um futuro promissor. Apesar de ser renovável, apresenta alguns impactos ambientais durante o processo de produção. A produção e o uso de etanol como combustível promove vantagens bastante significativas e propõem melhorias a todos os ecossistemas.

**Palavras-chave:** Biocombustível; Álcool etílico; Saccharum officinarum.

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) provavelmente é o material vegetal produzido em maior quantidade no mundo, considerada a maior fonte de produção de açúcar excedendo a beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.) e, sem dúvida, a cultura mais importante para a produção de energia além dos bioproductos como açúcar; fibras: papel, cartão, plástico (CORDEIRO et al., 2007; HENRY, 2010).

A cana-de-açúcar é a principal fonte primária de energia renovável do Brasil. Com 16,9% de participação na Oferta Interna de Energia (OIE) do país, a biomassa da cana ultrapassa a média de renovabilidade observada no resto do mundo, em torno de 14,7%. Esse percentual, observado no Balanço Energético Nacional (BEN) 2024 – elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME) – também é superior aos 12,6% observados nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

Mais de 1.000 milhões de toneladas de cana são colhidas a cada ano, este excede o nível de produção das principais culturas alimentares como trigo, arroz e milho, cada um dos quais tem cerca de produção de 600 milhões de toneladas por ano (MORAIS et al., 2015). A produção de cana no Brasil evolui expressivamente nas últimas décadas: de 80 milhões de toneladas em 1970, para 149 milhões de toneladas em 1980; 222 milhões de toneladas em 1990; 256 milhões de toneladas em 2000 (Macedo et al., 2006), 627 milhões de toneladas em 2010 (VILLELA et al., 2015) e 713,2 milhões de toneladas em 2023/24 (ESTADÃO, 2024). A produção média das cultivares de cana-de-açúcar pode variar de 40 a 70 toneladas por hectare dependendo do país, algumas

variedades específicas são capazes de chegar a 150 toneladas por hectare em condições experimentais (MORAIS et al., 2015).

Ela é principalmente cultivada como matéria-prima a ser fornecida, por esmagamento dos seus colmos para extração do seu caldo, a um complexo industrial, com a finalidade de produzir açúcar, etanol, fermento e inúmeros outros derivados tanto para utilidades alimentícias como para a indústria química (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

O etanol tem sido considerado uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo em razão da escassez e alta dos preços dos combustíveis fósseis e da poluição por eles causada. Comparado aos combustíveis fósseis, o etanol apresenta as vantagens de ser uma fonte renovável de energia, e de contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono (PACHECO, 2011).

Diante disso, esse trabalho teve o objetivo de apresentar a importância da cana-de-açúcar na produção de etanol, relatando as vantagens e desvantagens do seu uso como combustível.

## METODOLOGIA

Esse trabalho teve como método de pesquisa utilizado o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação. Segundo Gil (2008) por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso, bem como aquelas que se propõe a análise das diversas posições acerca de um problema, também costumam ser desenvolvidas quase exclusivamente mediante fontes bibliográficas.

A pesquisa qualitativa baseia-se no exame de evidências fundamentadas em dados verbais e visuais, a fim de entender um determinado fenômeno. Dessa forma, seus dados surgem de coletas de forma sistemática (MENDONÇA; SOUZA, 2021).

Foram utilizadas fontes bibliográficas baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo, Trabalhos de Conclusão de Curso, Teses de Mestrado e Doutorado considerando a relevância e relacionando-o ao cultivo da cana-de-açúcar, a produção de etanol, as vantagens e desvantagens do etanol e seus impactos ambientais. Dessa maneira, a pesquisa visou o aprofundamento de questões teóricas já existentes. As referências e as citações foram escritas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

## REVISÃO DE LITERATURA

### PRODUÇÃO E ESTRUTURA PRODUTIVA DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL

O Brasil é um dos países que mais cultiva a cana-de-açúcar. Nos séculos anteriores, no Nordeste, a monocultura extensiva, o elevado capital e a mão de obra escrava eram algumas das bases do sistema de produção da cana. Nos dias atuais, esse modelo ainda é mantido, exceto o trabalho escravo, prevalecendo a grande escala em função das economias. Esse modelo atual também se baseia na utilização de terras e novas tecnologias, destacando-se a biotecnologia, a agroquímica renovável e a sucroquímica. Porém, a cultura da cana-de-açúcar não está na posse somente do usineiro como nos tempos anteriores. O cultivo está distribuído em grandes números de pequenas e médias propriedades rurais, nas quais a maioria são alugadas pela usina. O processo utilizado pelo setor sucroenergético brasileiro requereu um extenso desenvolvimento tecnológico na produção agrícola e industrial (GARCIA et al., 2015).

De acordo com os mesmos autores, no Brasil, o etanol passou a ter sua utilização incentivada após a crise que atingiu o setor açucareiro no século XX, o qual abalou a economia capitalista. O governo do país tornou obrigatório a partir do Decreto nº 19.717, de 1931, a mistura da gasolina importada ao etanol, na proporção de 5%. Essa prática foi o passo inicial para a consolidação de um setor da economia brasileira de grande importância, onde, posteriormente, se

mostrou como uma alternativa aos efeitos nocivos causados pelo uso de combustíveis fósseis.

Porém, o verdadeiro impulso no setor sucroenergético brasileiro só foi dado por meio do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), o qual resultou em grandes aumentos na produção e no desenvolvimento tecnológico. Mas não durou muito tempo, pois nos anos 90, incertezas e instabilidades corromperam o crescimento da produção. Após alguns anos, a produção da cultura da cana-de-açúcar voltou a ser intensificada por causa do crescimento da demanda pelo etanol causado pelo desenvolvimento do flexfuel, uma tecnologia automobilística (CARVALHO; FURTADO, 2013).

O setor sucroenergético envolve atualmente 70 mil produtores rurais, gerando por volta de 1,2 milhão de empregos e um PIB de aproximadamente 48 bilhões de dólares, respondendo em torno de 20% das exportações e produções mundiais de etanol. Caracteriza-se pela grande quantidade de usinas produtivas e empresas controladoras, significando uma atomização da produção (GARCIA et al., 2015).

As usinas de referência que conseguem obter diferencial de custo principalmente na etapa agrícola têm diversas vantagens como eficiência na gestão agrícola, custo do arrendamento da terra, mão de obra e tecnologia. Assim, investimentos para a produção de etanol pode lidar com incertezas e com alto custo de capital, além do enfrentamento de riscos técnicos e econômicos à produção de base agrícola (MILANEZ et al., 2017).

## Evolução do Mercado Global do Setor Sucroenergético

A produção mundial de açúcar atingiu em 2007 o recorde de 166 milhões de toneladas, porém, notou-se uma grande queda no período em que a Índia teve uma redução de 46% da sua produção causados por problemas climáticos, como por exemplo, a falta de chuvas. Essa queda, unida a quedas que ocorreram no Paquistão e na Tailândia - que têm pequena produção, mas com influência no mercado global - causaram um déficit entre o consumo mundial

e a produção. Esse caso se repetiu novamente por mais dois anos, fazendo com que os preços no mercado global alcançassem outros patamares (ARAÚJO, 2012).

A produção mundial recuperou-se, alcançando a produção de 175 milhões de toneladas na safra de 2013/2014 e cerca de 165 milhões de toneladas na safra de 2017/2018. Ademais, a crise na Europa dá indícios de que pode haver queda no consumo do produto, onde possivelmente ocorrerá retração do consumo de produtos industrializados que têm açúcar em sua composição, em resposta à crise econômica no continente nos anos passados (TREVISAN; MOSCHINI, 2018).

O setor sucroenergético vem se estabilizando por meio de fusões e aquisições ano a ano, formando grandes grupos para garantir o sustento das operações e ganhar escala produtiva. Contudo, as empresas familiares e os grandes grupos de usinas passaram a investir cada vez mais em tecnologias, tanto para a indústria quanto para o campo (MICHAELPAGE, 2022).

Segundo um relatório produzido pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), o debate entre o conflito relacionado aos “combustíveis x alimentos” podem continuar com a limitação do crescimento do consumo de etanol de primeira geração, especialmente na Europa. Por consequência, o cultivo de cana-de-açúcar destinado à produção de combustível também deve crescer até 2030 (BNDES, 2017).

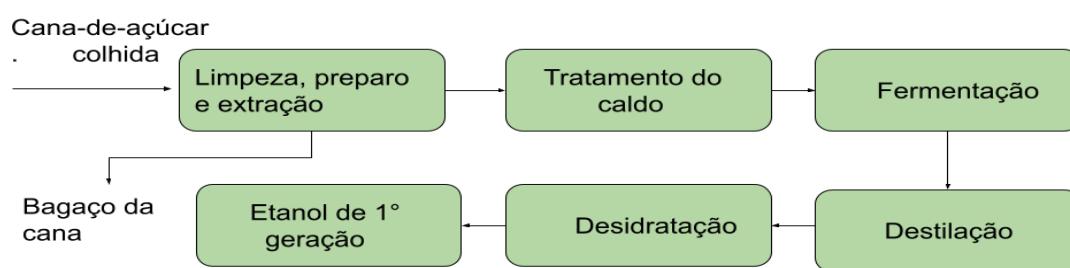
## **ETANOL DE 1<sup>a</sup> GERAÇÃO**

A produção de etanol advinda da cana-de-açúcar, surgiu no Brasil com a finalidade de reduzir as demandas do petróleo do exterior na crise do petróleo em 1973. O ciclo produtivo do etanol de primeira geração apresenta resultados positivos em seu desenvolvimento, pelas condições favoráveis e pelo cultivo da cana-de-açúcar que se mostra superior a qualquer outra cultura brasileira para fins canavieiros, resultando em uma maior produção (LEITE; CORTEZ, 2007).

A trajetória de produção do etanol iniciada na década de 1970, pelo programa PROÁLCOOL, contribuiu para os avanços tecnológicos e estabelecimento no setor energético como fonte alternativa, tomando destaque com suas vantagens de produção a partir da moagem, utilizando a extração do caldo para a produção de etanol de primeira geração (ABARCA, 2005).

A cana-de-açúcar deve ser colhida ao atingir a sua maturação de 14 a 18 meses após o plantio, para o início do processo de produção de álcool etílico. Foram desenvolvidas melhores técnicas para obter um melhor rendimento da cana, como o melhoramento das práticas agrícolas, técnicas para a limpeza manual ou mecanizada, novas tecnologias para a etapa de extração do caldo (elevando o seu rendimento), uso de microrganismos otimizadores para a fermentação, que será destilado, assim, separando o etanol da água presente (Figura 1) (PACHECO, 2011).

**Figura 1.** Diagrama de fluxo da produção de etanol.



Fonte: adaptado de Salazar (2012).

A cana-de-açúcar ao chegar na usina será lavada para retirada de todas as impurezas (areia, objetos, insetos, poeira, etc). Esta será preparada para a moagem e extração do caldo. A moagem ocorre por meio de rolos trituradores, produzindo o melado, obtendo-se cerca de 70% de caldo e 30% de palhas e bagaço (que pode ser reutilizado para a produção de energia e bioetanol). O tratamento do melado acontece ao eliminar as impurezas, utilizando os métodos de separação: peneiração, que retira o “grosso” das impurezas, e

depois a decantação fazendo com que as impurezas “finas” descansen e se depositem no fundo. Após esse processo o melado puro é extraído, o caldo (NOVA CANA, 2017).

A fermentação alcoólica é um processo anaeróbico catalisado por enzimas que ocorre pela transformação de açúcares em álcool etílico ( $C_2H_6O$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Este processo é executado principalmente por leveduras, em nível citoplasmático, tendo como objetivo a produção de energia, na forma de ATP, que será empregada nas funções fisiológicas e ainda para o crescimento e reprodução do microrganismo. O álcool etílico produzido constitui somente um subproduto de excreção desse processo, entretanto, age como inibidor de microrganismos competidores (GÓES-FAVONI et al., 2018).

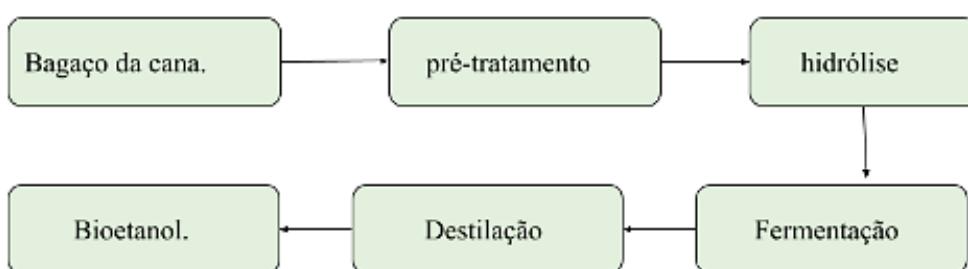
A destilação é responsável por separar o álcool do vinho e das substâncias misturadas. Quando aquecido utiliza seus diferentes pontos de ebullição e volatilidade para a separação, após condensar novamente, resultando em um álcool hidratado com 93% de álcool, que será utilizado como etanol para abastecimento dos veículos. A partir da desidratação, que é a retirada da água, obtém-se o etanol anidro sem alto teor de água em sua composição, cerca de menos de 1%. A desidratação pode ocorrer por meio de uma peneira molecular retirando as moléculas de água (UDOP, 2016).

Atualmente, o etanol de primeira geração é considerado uma fonte alternativa e renovável ao uso dos combustíveis fósseis, a partir da matéria prima disponível e sem altos impactos ambientais. Desempenha um importante papel no setor econômico brasileiro, pela sua utilização como combustível para veículos e como complemento na gasolina. Para a safra de 2022/23, há uma diminuição da área produtiva de cana-de-açúcar por fatores climáticos variáveis (secas e estiagens), estimando-se uma produção de 572.874,9 mil toneladas. A produção de etanol está positiva, pela valorização do biocombustível e as novas mudanças de preço, com uma produção de 25,83 bilhões de litros (CONAB, 2022).

## ETANOL DE 2<sup>a</sup> GERAÇÃO

O etanol de segunda geração é um aproveitamento dos resíduos materiais provenientes da biomassa, na produção de açúcar e álcool etílico, que pode ser produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, que seria descartado pela queima no meio ambiente (MARTINS et al., 2014). Para obter o etanol de segunda geração é preciso realizar as etapas demonstradas na figura 2 que são: o pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação.

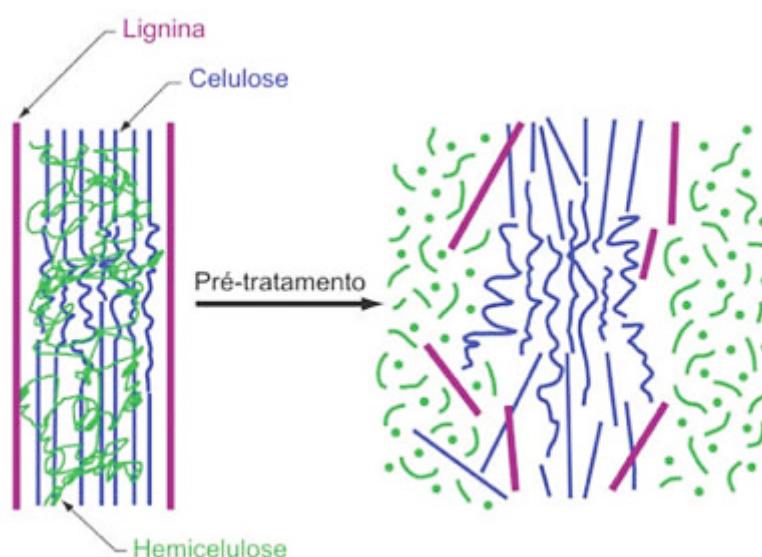
**Figura 2.** Fluxograma do processo de obtenção do etanol de segunda geração.



Fonte: Adaptado Santos et al. (2012).

O ciclo produtivo do etanol de segunda geração inicia-se, na fase anterior, utilizando os resíduos (bagaço) do processo de obtenção do etanol de primeira geração. O bagaço de cana-de-açúcar apresenta cerca de 40% de celulose, 40% de hemicelulose e 20% de lignina. Pela forte concentração desses compostos é necessário o pré-tratamento físico ou químico para mitigar a interação em si e tornar acessível para as enzimas a digestibilidade da celulose (Figura 3) (BONOMI et al., 2008).

Figura 3. Alterações estruturais do complexo celulose-hemicelulose-lignina determinadas pelo pré-tratamento.

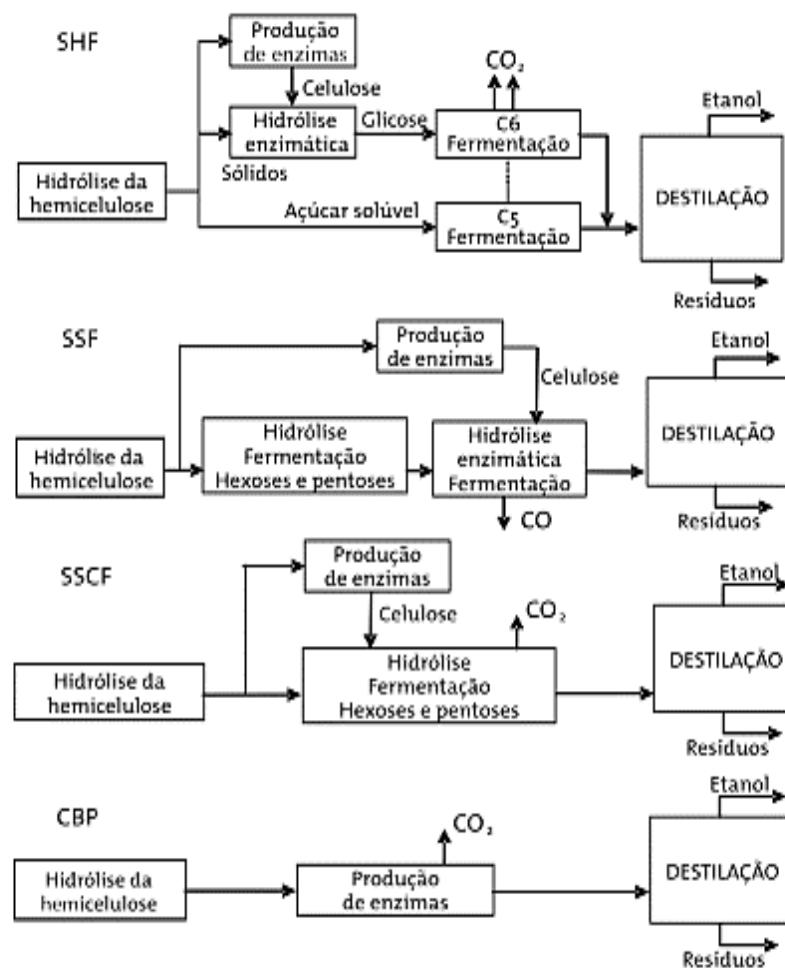


Fonte: Santos et al., 2012.

Após o pré-tratamento, passará para a hidrólise e a quebra dos polissacarídeos, obtendo-se a molécula de açúcar que pode ser utilizada na hidrólise ácida ou enzimática. A hidrólise ácida pode ser diluída, e consiste em utilizar a hidrólise da hemicelulose junto com altas temperaturas e pressões, ou a hidrólise ácida concentrada que ocorre de maneira mais lenta e em baixas temperaturas (SILVA, 2010).

A hidrólise enzimática mostra-se mais viável economicamente do que a hidrólise ácida, pelo aprimoramento dessa técnica ao passar dos anos e o baixo custo (Figura 4) (DIPARDO, 2000). A celulose será catabolizada por agentes enzimáticos, diminuindo o tamanho das cadeias de polissacarídeos que serão fermentado por levedura. Dessa forma atingem seu específico objetivo sem a formação de subprodutos, porém pelo seu baixo rendimento é necessário a complementação com nutrientes (CARVALHO, 2011).

**Figura 4.** Processo de hidrólise enzimática – perspectiva de integração.



Fonte: Hamelinck et al. (2005).

A fermentação utiliza leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* a partir da fermentação da glicose transformando em etanol e subprodutos como gás carbônico, pela familiaridade das leveduras com a celulose residual (SILVA et al., 2010). Várias técnicas são utilizadas como:

- Hidrólise separada da fermentação (SHF): A hidrólise da celulose ocorre em um setor diferente da glicose/pentose e a fermentação da pentose ocorre em temperaturas ideais, cerca de 45° a 55° para o fungo *Saccharomyces cerevisiae* (SANTOS et al., 2010).
- Fermentação e Sacarificação Simultânea (SSF): A fermentação da glicose e hidrólise da celulose ocorre separadamente da pentose, com o auxílio

da agitação de 150 rpm para melhorar a eficiência e com temperaturas de 30° a 55° (SANTOS et al., 2012).

- Sacariação e Cofermentação Simultâneas (SSCF): Ocorre a fermentação simultânea da glicose com a pentose, sendo necessário os conhecimentos da engenharia genética para encontrar o microrganismo que atue nas duas (ROSA; GARCIA, 2009).

Bioprocesso Consolidado (CBP): As interações são realizadas em um mesmo reator, produção de enzimas e reações biológicas, apresentando vantagens em seu custo de produção por utilizar as próprias enzimas (ROSA; GARCIA, 2009).

O processo de destilação ou purificação irá separar a parte líquida do resto dos componentes, realizando a vaporização e condensação simultaneamente, a fim de que haja o maior teor de purificação. A destilação ocorre da mesma maneira do processo de etanol de primeira geração (RASOVSKY, 2009).

O processo de obtenção de etanol de segunda geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, é uma possibilidade de avanço nas tecnologias empregadas para a utilização dos resíduos gerados a partir do E1G, assim como reduz significativamente os impactos ambientais causados, como a diminuição de CO<sub>2</sub> e utilização de água (ANSANELLI et al., 2016).

De acordo com os mesmos autores, por ser desenvolvida desde 2010, o custo do etanol de segunda geração (E2G) é parcialmente maior do que o custo de EG1 (R\$ 0,26 por litro do E2G contra R\$ 0,22 litro do E1G). Pela produção do E1G já estar estabelecida, é mais utilizada no Brasil com o seu custo menor, mas ao passar do tempo estima-se que a produção do E2G chegue a 350 milhões de litros, dessa forma, reduzindo em 60% o seu custo.

## VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO ETANOL COMO COMBUSTÍVEL

O etanol é considerado um combustível ecológico e alternativo, podendo ser usado misturado à gasolina ou puro. As vantagens desse combustível são inúmeras, porém, é necessário ter atenção (ELAINA, 2022).

As vantagens do etanol como combustível são:

- O álcool é menos poluente: Em relação aos demais combustíveis, o etanol emite cerca de menos 25% de gases poluentes na atmosfera (ECONÔMICA TELEMETRIA, 2020).
- É mais barato: Grande parte da produção nacional de etanol é suprida por matéria-prima brasileira. Isso livra o país da dependência internacional, fazendo com que os postos de combustíveis cobrem mais barato pelo etanol (ECONÔMICA TELEMETRIA, 2020).
- Solúvel em água: Na ocorrência de acidentes, a gasolina causa grande poluição fluvial por não se misturar à líquidos. Já o etanol consegue se misturar à água, não havendo riscos de contaminação intensa na água e no solo (ELAINA, 2022).
- É renovável: O etanol depende apenas do plantio de cana-de-açúcar, milho, e outros para ser produzida, diferentemente dos demais combustíveis, que dependem de recursos fósseis para serem feitos (ELAINA, 2022).

As desvantagens do etanol como combustível:

- Matéria-prima é limitada: No Brasil, essa limitação está ligada às legislações, que mesmo prevendo muitas vantagens também impõem limitações como forma de proteção ao meio ambiente. Esses produtos vegetais também são usados como alimentos, tornando-se difícil a expansão da produção de etanol (ECONÔMICA TELEMETRIA, 2020).
- Prejudica motores não adaptados: É importante que apenas carros Flex ou adaptados ao etanol utilizem esse tipo de combustível, caso contrário, pode gerar desgaste às peças do veículo (ELAINA, 2022).

- Não é eficiente no frio: Em temperaturas baixas como 13°C o etanol perde grande parte do seu poder de combustão. Isso se dá pelo baixo desempenho do álcool por causa da baixa temperatura (ECONÔMICA TELEMETRIA, 2020).

Diante disso, observa-se que a discussão sobre o etanol e suas consequências está longe de um ponto final, pois diversos estudos mostram seus benefícios, enquanto outros os aspectos negativos. Apesar de polêmica, a discussão parece sempre tender para o lado positivo quando analisamos o caso particular do Brasil, que produz etanol a partir da cana-de-açúcar (NUNES, 2017).

## FUTURO DO BIOETANOL

Os biocombustíveis são combustíveis de fontes não fósseis, sendo uma alternativa mais sustentável ao utilizar biomassa (produtos agrícolas, resíduos industriais, resíduos agrícolas, entre outros), que podem substituir uma parte ou completamente o uso de combustíveis fósseis de petróleo, reduzindo as emissões de gases poluentes que agravam o efeito estufa (ZAMPAR, 2019). O Brasil teve grande incentivo para a produção de etanol a partir dos programas governamentais de 1975, o PROÁLCOOL, que ampliava o percentual de etanol na gasolina, através da conversão de biomassa, sendo o combustível mais utilizado para reduzir as dependências do petróleo no mundo (KOHLHEPP, 2010).

O Brasil se sobressai sendo o segundo maior produtor de bioetanol do mundo. Destacando-se o aumento do uso alternativo de energia renovável, a produção de etanol em larga escala reduz as transmissões de CO<sub>2</sub>, que é compensado na fase agrícola. Evidencia-se que devido a necessidade e do desenvolvimento mundial, a adoção de práticas mais sustentáveis é fundamental para o equilíbrio da sociedade e meio ambiente, com as novas tecnologias para a produção espera-se que as condições ambientais sejam

respeitadas, junto a um modelo econômico que contribua para a população e a manutenção dos recursos naturais esgotáveis, os biocombustíveis contribuem para a diminuição que auxiliem na minimização dos danos naturais e com a geração de empregos para a sociedade (BASTOS, 2007).

Dessa forma, estima-se que os avanços no setor sucroenergético sejam estimulados e continuem crescentes para a atuação de etanol no mercado internacional, na regulamentação ambiental e amenização dos gases do efeito estufa (MILANEZ; NYKO, 2012).

## IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA PRODUÇÃO DE ETANOL

Todos os avanços e mudanças que o ser humano realiza, por meio de produções, indústrias e melhorias gera impactos ambientais que atingem diretamente ou indiretamente a natureza. Segundo a resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o artigo de Nº 001, de 23 de janeiro de 1986 que define impactos ambientais como que o “Impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança, o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas”.

De certo, a produção de etanol embora muito importante para a economia como combustível, gera impactos ambientais desde a sua fase agrícola até a produção nas usinas. Um dos principais impactos gerados é a queima da cana-de-açúcar, onde é realizada a queima da palha para facilitar as colheitas manuais por reduzir cerca de 90% do volume da palha (RODRIGUES, 2010). Porém a utilização das queimadas gera o agravamento de gases poluentes na atmosfera, como os óxidos de nitrogênio, de enxofre e o monóxido de carbono. Os elementos contidos são lançados na atmosfera, os resíduos finos e ultrafinos prejudicam a saúde (especialmente o sistema

respiratório) e contribuem para a concentração do efeito estufa (AQUINO et al., 2014).

Além disso, para minimizar as queimadas, a colheita pode ser substituída pela colheita mecanizada, reduzindo a mão de obra dos trabalhadores que serão substituídos pelas máquinas. Porém, o uso das máquinas sem o devido planejamento contribui para a compactação do solo, afetando a produtividade e aumentando sua degradação. Segundo Streck et al., (2004), tem-se um aumento da resistência do solo e redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água.

Outrossim, o uso de fertilizantes e agrotóxicos apresentam uma redução em comparação com as outras culturas, pelas adaptações edafoclimáticas. Sendo utilizadas para a prevenção de pragas e doenças, porém o uso incorreto e excessivo gera resíduos tóxicos que causam a contaminação do solo e das águas (subterrâneas e superficiais) (SOUZA; CHRISTOFOLETTI, 2017).

Inclusive o descarte incorreto dos resíduos gerados na moagem da cana-de-açúcar, como o bagaço da cana e a vinhaça, que antes eram descartados em fontes pluviais, e por apresentarem um alto teor de fósforo (P) e nitrogênio (N) acabam gerando a eutrofização (o aumento do fitoplâncton primário pela grande concentração de nutrientes na água impedindo a passagem da luz e a formação de oxigênio) dos rios e lagos onde são depositados (MANSOR, 2005). Atualmente, para minimizar esse impacto, o bagaço é utilizado para produção de etanol de segunda geração e a vinhaça como fertilizante para a área de cultivo.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que a produção do etanol de primeira geração apresenta resultados positivos em seu desenvolvimento, pelas condições favoráveis e pelo cultivo da cana-de-açúcar que se mostra superior a qualquer outra cultura brasileira para fins canavieiros, resultando em uma maior produção.

O etanol de primeira geração é considerado uma fonte alternativa ao uso dos combustíveis fósseis, a partir da matéria prima disponível.

O etanol de segunda geração é uma possibilidade fundamental para países que desejam elevar os níveis de produção de etanol sem aumentar a área plantada, sendo complementar à produção de alimentos.

O etanol como combustível apresenta vantagens por ser renovável, menos poluente, solúvel em água e mais barato.

## REFERÊNCIAS

ABARCA, C. D. G. **Inovações tecnológicas na agroindústria da cana de açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro; Ouro Preto: DEPRO, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005. Acesso em: 25 set. 2022.

ANSANELLI, S. L. M.; SENNA, P. P.; RIBEIRO, G.; CAMPOS, D. A. C. Sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento: uma discussão a partir do desenvolvimento do etanol de segunda geração no Brasil. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA POLÍTICA**, 21., 2016, São Bernardo do Campo. Anais [...]. São Bernardo do Campo: UFABC, 2016. Acesso em: 15 out. 2022.

AQUINO, A. F.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. O etanol da cana-de-açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN. **HOLOS**, Ano 30, v. 1, p. 105–125, 2014.

ARAÚJO, L. G. **Cana-de-açúcar: prospecção para a safra 2013/2014**. Portal Mercado Aberto, 2012. Disponível em: [www.portalmercadoaberto.com.br/blogs-categoria-det?post=3837](http://www.portalmercadoaberto.com.br/blogs-categoria-det?post=3837). Acesso em: 13 nov. 2022.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2007. 35 p. Acesso em: 3 nov. 2022.

BNDES. **Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. 225 p.

BONOMI, A.; MARIORANO, A.; RODRIGUES, M. Técnica aproveita lignocelulose da cana para produzir etanol. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA08-pesquisa03.pdf>. Acesso em: 8 out. 2022.

CARVALHO, M. L. Estudo cinético da hidrólise enzimática de celulose de bagaço de cana de açúcar. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

CARVALHO, S. A. D.; FURTADO, A. T. O setor sucroenergético brasileiro: uma análise das condições varietais e seus desafios tecnológicos. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 60, n. 2, p. 77-90, 2013.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. Melhoramento da cana-de-açúcar. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>.

Acesso em: 23 nov. 2022.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 1 out. 2022.

CORDEIRO, G. M.; AMOUYAL, O.; ELOITT, F.; HENRY, R. J. Sugarcane. In: KOLE, C. (ed.). **Pulses, sugar and tuber crops**. Berlin: Springer, 2007. p. 175-204. (Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, v. 3).

DIPARDO, J. Outlook for biomass ethanol production and demand. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, 2000. 12 p.

ECONÔMICA TELEMETRIA. Etanol, quais as vantagens e desvantagens para outros combustíveis? Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://www.economicatelemetria.com.br/artigos/etanol-quais-as-vantagens-e-desvantagens-para-outros-combustiveis>. Acesso em: 25 nov. 2022.

ELAINA, J. Vantagens do etanol como combustível. 2022. Disponível em: <https://www.smartia.com.br/blog/vantagens-do-etanol-alcool-como-combustivel/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

ESTADÃO. Produção de cana em 2023/24 atinge recorde de 713,2 milhões de t, diz Conab. 2024. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/economia/producao-de-cana-em-2023-24-atinge-recorde-de-7132-milhoes-de-t-diz-conab>. Acesso em: 13 jul. 2025.

GARCIA, J. R.; LIMA, D. A. L. L.; VIEIRA, A. C. P. A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. **Revista de Economia Contemporânea**, Goiás, v. 19, n. 1, p. 162-184, 2015.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓES-FAVONI, S.; MONTEIRO, A. C. C.; DORTA, C.; CRIPPA, M. G.; SHIGEMATSU, E. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 285-296, 2018.

HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. V.; FAAIJ, A. P. C. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno economic performance in short, middle and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 4, p. 384-410, 2005.

HENRY, R. J. Basic information on the sugarcane plant. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (ed.). **Genetics, genomics and breeding of sugarcane**. Enfield, USA: Science Publishers, 2010.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. O etanol combustível no Brasil. p. 61-75. In: **BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL: realidades e perspectivas**. [Brasília]: MRE, 2007. 205 p. Disponível em: [https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis\\_04-etanolcombustivelnobrasil.pdf](https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis_04-etanolcombustivelnobrasil.pdf). Acesso em: 8 set. 2022.

MACEDO, L. P. M.; GARCIA, J. F.; BOTELHO, P. S. Outras besouros-praga da cana-de-açúcar. In: PINTO, A. S. (org.). **Controle de pragas da cana-de-açúcar**. Sertãozinho: [s. n.], 2006. (Boletim Técnico Biocontrol, 1), p. 49–52.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. 2005. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARTINS, F. A.; MARTIM, T.; CORRÊA, A. M.; OLIVEIRA, F. F. A produção do etanol de segunda geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 3, p. 05-16, 2014.

MENDONÇA, A. V. M.; SOUSA, M. F. **Métodos e técnicas de pesquisa qualitativa em saúde** [livro eletrônico]: volume 1. 1. ed. Brasília, DF: ECoS, 2021. Disponível em: [https://ecos.unb.br/wp-content/uploads/2021/08/MTPQS\\_03.08.2021.pdf](https://ecos.unb.br/wp-content/uploads/2021/08/MTPQS_03.08.2021.pdf). Acesso em: 12 dez. 2021.

MICHAELPAGE. **Uma visão geral sobre o setor sucroenergético**. 2022. Disponível em:

<https://www.michaelpage.com.br/advice/tend%C3%AAAncias-do-mercado/uma-vis%C3%A3o-geral-sobre-o-setor-sucroenerg%C3%A9tico>. Acesso em: 13 nov. 2022.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D. O futuro do setor sucroenergético e o papel do BNDES. In: **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. Disponível em: <http://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7062>. Acesso em: 7 nov. 2022.

MILANEZ, A. Y.; SOUZA, J. A. P.; MANCUSO, R. V. **Panoramas setoriais 2030: Sucroenergético**. 2017. Disponível em:

[https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenerg%C3%A9tico\\_P\\_BD.pdf](https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenerg%C3%A9tico_P_BD.pdf). Acesso em: 5 set. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Principal fonte primária de energia renovável, cana-de-açúcar supera sozinha média mundial de renovabilidade na matriz energética. 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/principal-fonte-primaria-de-energia-renovavel-cana-de-acucar-supera-sozinha-media-mundial-de-renovabilidade-na-matriz-energetica>. Acesso em: 7 jul. 2025.

MORAIS, L. K. et al. Breeding of sugarcane. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (ed.). *Industrial crops: breeding for bioenergy and bioproducts*. New York, USA: Springer, 2015. 444 p.

NOVA CANA. Processos da fabricação do etanol. 2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>. Acesso em: 20 out. 2022.

NUNES, E. F. *Cana-de-açúcar: a produção de etanol e seus benefícios*. Barretos: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Barretos, 2017. 29 p. Curso Técnico em Agronegócios.

PACHECO, T. F. *Produção de etanol: primeira ou segunda geração?* Circular Técnica 04. Brasília, DF, 2011. 6 p.

RASOVSKY, E. M. *Álcool: destilarias, Instituto do Açúcar e do Álcool*. Rio de Janeiro: Coleção Canavieira, 2009.

RODRIGUES, L. *A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação*. 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/monografia.-1.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.

ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, n. 32, p. 117-156, 2009.

SALAZAR, K. J. M. *Uso de água e análise exergética na produção integrada de etanol de primeira e segunda geração a partir da cana-de-açúcar*. 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SANTOS, J. R. A. et al. Comparação entre processos em SHF e em SSF de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol por *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 904–908, 2010.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.

SILVA, O. G. **Produção de etanol com a utilização do bagaço de cana-de-açúcar**. 2010. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba-SP, 2010.

SILVA, J. S.; JESUS, J. C.; COUTO, S. **Noções sobre fermentação e produção de álcool na fazenda**. [s.d.]. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/Produ%E7%E3o%20de%20%C1lcool%20Com bust%EDvel%20na%20Fazenda%20e%20em%20Sistema%20Cooperativo/C ap%EDtulo%201.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

SOUZA, C. P.; CHRISTOFOLLETTI, C. P. **O emprego de agrotóxicos na cultura de cana-de-açúcar**. Bauru, SP, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Otavio-Silva-7/publication/324138080\\_Co munidades\\_de\\_formigas\\_em\\_cultivos\\_de\\_cana-de-acucar/links/5cdafc5c299bf14 d9597cff8/Comunidades-de-formigas-em-cultivos-de-cana-de-acucar.pdf#pa ge=51](https://www.researchgate.net/profile/Otavio-Silva-7/publication/324138080_Co munidades_de_formigas_em_cultivos_de_cana-de-acucar/links/5cdafc5c299bf14 d9597cff8/Comunidades-de-formigas-em-cultivos-de-cana-de-acucar.pdf#pa ge=51). Acesso em: 27 nov. 2022.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755–760, 2004.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Evolução do mercado de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 2, p. 139–148, 2018.

UDOP – UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Manual de custos e indicadores do setor da bioenergia**. Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo, 1. ed., 2016. 148 p. Disponível em: [https://www.udop.com.br/download/pesquisas/manual\\_de\\_custos\\_e\\_indicadore s.pdf](https://www.udop.com.br/download/pesquisas/manual_de_custos_e_indicadore s.pdf). Acesso em: 23 out. 2022.

VILLELA, A. A.; MOREIRA, J. R.; FREITAS, M. A. Panorama do uso de energia no Brasil. In: VILELA, A. A.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. A. V. (org.). **O uso de energia de biomassa no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2015. 196 p.

ZAMPAR, M. **Biocombustíveis no futuro da aviação**. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/8371>. Acesso em: 30 out. 2022.