



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS PENEDO  
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL**

**MARIANE VASCONCELOS SANTOS**

**ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS**

**PENEDO, AL  
2022**

MARIANE VASCONCELOS SANTOS

ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Alcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Alcool.

Orientador (a): Taciana do Nascimento Santos

PENEDO, AL  
2022



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
**Campus Penedo**  
**Biblioteca**

S237e

Santos, Mariane Vasconcelos.

Etanol de segunda geração: vantagens e desvantagens / Mariane Vasconcelos Santos. – 2022.  
14f. ; il.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Taciana do Nascimento Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Etanol 2G. 2. Biomassa. 3. Indústria sucroalcooleira. I. Santos, Taciana do Nascimento. II. Título.

CDD: 662

**Maria Luzia Alexandre de Oliveira**  
**Bibliotecária/Documentalista**  
**CRB-4/2159**

MARIANE VASCONCELOS SANTOS

ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Alcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Alcool.

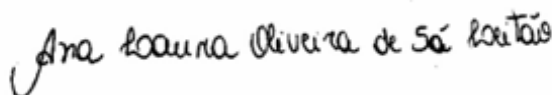
APROVADO(A) EM: 06/04/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Profa. Dra. Taciana do Nascimento Santos  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



---

Profa. Ma. Ana Laura de Oliveira Sá Leitão  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



---

Profa. Dra. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

## ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS

### SECOND GENERATION ETHANOL: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Mariane Vasconcelos Santos<sup>1</sup>

#### RESUMO

Com o interesse de ter um método capaz de produzir mais etanol sem a necessidade de aumentar a área de plantio da cana-de-açúcar, foi desenvolvida uma técnica de produção a partir da biomassa da cana (bagaço e palha, compostos por celulose, hemicelulose e lignina), sendo o seu produto denominado de etanol de segunda geração (E2G). No entanto, além das etapas convencionais presentes na produção de etanol de primeira geração, nessa técnica é necessário que sejam acrescentadas duas etapas de processamento (pré-tratamento e hidrólise da biomassa). O presente estudo teve como objetivo estudar o método de produção do E2G a partir de revisão da literatura. Verificou-se que essa nova tecnologia de produção de etanol traz consigo vantagens, tais como: redução da emissão de gás carbônico, produzir mais etanol sem aumentar a área plantada, combustível com alto rendimento, dentre outras; E também desvantagens, sendo elas: custo aumentado devido a adição das duas etapas de processo, necessidade de mão de obra qualificada, ausência de estímulos à pesquisa, etc. Apesar dos desafios, esse novo método para a produção de E2G foi implementado pela usina GranBio, localizada no município de São Miguel dos Campos/AL, que ao final do processo entrega um etanol avançado, limpo e que não compete com a indústria alimentícia, implicando que apesar de não ser um método comum a todas as usinas é uma opção viável e que entrega um produto com qualidade.

**Palavras-chave:** E2G; Biomassa; Tecnologia; Etanol.

#### ABSTRACT

With the interest of having a method capable of producing more ethanol without the need to increase the sugarcane plantation area, a production technique was developed from sugarcane biomass (bagasse and straw, composed of cellulose, hemicellulose and lignin), and its product is called second-generation ethanol (E2G). However, from the conventional steps present in the production of first-generation ethanol, in this technique it is necessary to add two processing steps (pre-treatment and hydrolysis of the biomass). The present study aimed to study the E2G production method from the literature review. It was verified that this new ethanol production technology brings advantages, such as: reduction of carbon dioxide emission, producing more ethanol without increasing the planted area, fuel with high yield, among others; There are also disadvantages, namely: increased cost due to the addition of two process steps, need for skilled labor, lack of incentives for research, etc. Despite the challenges, this new production method of E2G was implemented by the GranBio plant, located in the municipality of São Miguel dos Campos/AL, which at the end of the process delivers an advanced, clean ethanol that does not compete with the food industry, implying which, despite not being a common method for all mills, is a viable option that delivers a quality product.

**Keywords:** E2G; Biomass; Technology; Ethanol.

---

<sup>1</sup>Aluna do Curso Técnico em Açúcar e Alcool/ IFAL, e-mail: [marianevasconcelos22@gmail.com](mailto:marianevasconcelos22@gmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à preocupação com o avanço do aquecimento global e a liberação de gases que acarretam o efeito estufa, surgiu a necessidade de se ter um biocombustível, o qual não interferisse na indústria alimentícia. O biocombustível convencionalmente utilizado, o etanol, apresenta algumas desvantagens, dentre elas a demanda de extensas áreas para realizar o plantio da cana-de-açúcar. Desse modo, surge a indispensabilidade de aumentar a escala de produção de etanol sem que seja necessário aumentar a área de cultivo, sendo o uso de biomassa residual como fonte de matéria-prima uma possibilidade plausível (ROSA *et al.*, 2009).

No Brasil, a produção de etanol foi considerada dispensável até o final da década de 1970, devido ao seu uso que era somente em bebidas e em alguns âmbitos da indústria química. Em 1975 foi implantado em território brasileiro o Proálcool - Programa Nacional do Álcool, o qual estabeleceu que o etanol deveria ser adicionado à gasolina, assim poderia ser utilizado em veículos. Em um segundo momento foram concretizados veículos que usam somente álcool, devido à alta no preço do petróleo e riscos em relação a mudanças climáticas, que possuem relação direta com o aquecimento global (ROSA *et al.*, 2009).

Para que se produza o combustível são utilizadas plantas, fornecedoras de matéria-prima (biomassa) e grandes áreas para que sejam cultivadas. Não há um conflito em relação aos hectares de terra destinados ao plantio, no entanto caso a quantidade de petróleo que o etanol precise substituir seja muito alta poderá acarretar problemas, por precisar de mais espaço (FERREIRA, 2015).

Os problemas associados à expansão da oferta dos biocombustíveis convencionais explicam a atenção dedicada aos processos avançados de obtenção de combustíveis líquidos com base na biomassa. De fato, tais processos permitiram o emprego, em grande escala, de matérias-primas vegetais de menor custo, como resíduos agrícolas e industriais, ou que fossem provenientes de áreas pouco adequadas à agricultura convencional. A pressão sobre a produção de alimentos seria, portanto, diminuída (ROSA e GARCIA, 2009, p. 119).

Sendo assim, foi analisado que é possível obter etanol de segunda geração a partir de biomassa como o sorgo, beterraba, milho, dentre outras culturas (CATOLICO *et al.*, 2015). No caso da cana-de-açúcar, tem sua estrutura dada por três compostos principais: celulose (polímero constituída de monômeros de glicose), hemicelulose (polímero composto por vários tipos de açúcares, especialmente xilose, glicose, arabinose, galactose) e a lignina, de composição variável (ROSA *et al.*, 2009). Estima-se que a fabricação do etanol de segunda

geração eleve a produção de álcool em 30 a 40%, levando em consideração que a área plantada não seja aumentada (PACHECO, 2011).

Em um processo comum de produção de etanol acrescenta-se leveduras ao caldo da cana-de-açúcar, promovendo um processo de fermentação que traz como resultado a liberação de etanol e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Já no processo que usa a biomassa, realiza-se um pré-tratamento (mecânico ou químico), uma etapa de hidrólise (com uso de água quente, produtos químicos ou enzimas para hidrolisar a hemicelulose), e por fim a fermentação e purificação que resultará em etanol e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (ROSA *et al.*, 2009).

Portanto, o principal objetivo é produzir mais etanol sem precisar designar mais hectares de terra ao agronegócio, a fim de evitar problemas futuros relacionados ao efeito estufa. A alternativa encontrada foi produzir bioetanol a partir da biomassa presente no bagaço e na palha da cana-de-açúcar, assim dando uma nova finalidade a esses subprodutos, aumentando a produtividade e o lucro e mantendo a área de plantio (FERREIRA, 2015).

Nesse contexto, o presente trabalho, desenvolvido através de levantamento bibliográfico, visa analisar ambos os processos produtivos, etanol de primeira e de segunda geração. Assim como, a criação da cana-especial, desenvolvida para favorecer a produção de E2G devido sua composição rica em biomassa, e os prós e contras em relação aos aspectos ambientais, socioeconômicos e socioculturais para obter um parecer acerca da produção de etanol de segunda geração.

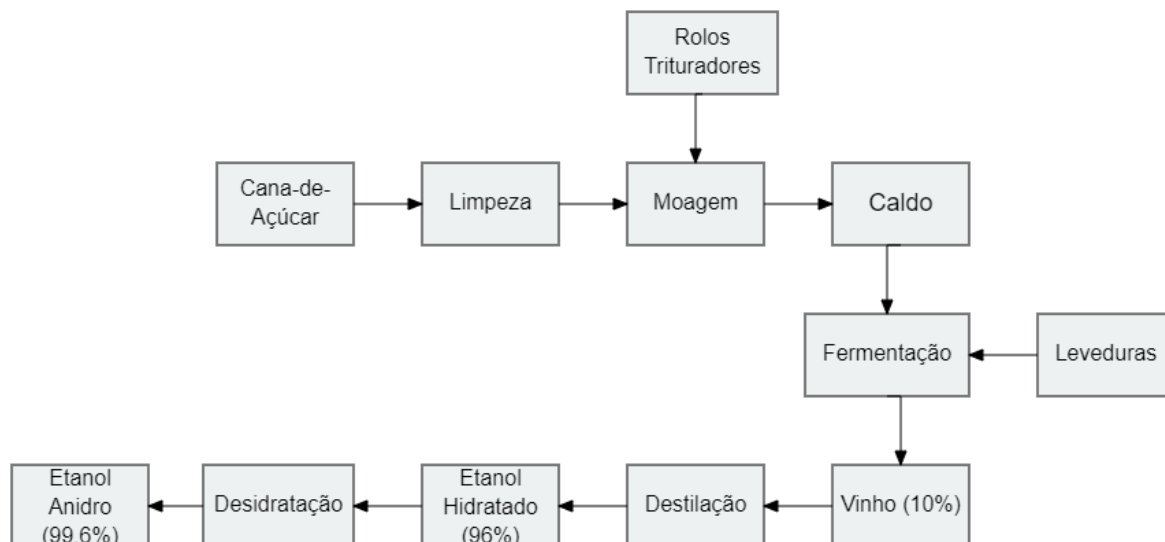
## **2 DESENVOLVIMENTO**

Com o objetivo de fundamentar o processo produtivo do etanol de segunda geração (E2G) e expor todo o seu potencial de ser produzido sem necessidade de desmatamento de mais áreas, é de suma importância conhecer o ciclo produtivo do etanol de primeira geração (E1G) e as diferenças no processo produtivo do E1G e do E2G, assim como os aspectos ambientais de ambos, assim como os pontos positivos e negativos da produção de etanol de segunda geração (SENN, 2017).

### **2.1 Etanol de Primeira Geração**

A produção de E1G é iniciada no campo, com o cultivo e a colheita da cana-de-açúcar, podendo optar em ser mecanizada ou manual. Desse modo, a cana pode seguir para usina de açúcar, de álcool (Figura 1) ou de ambos os produtos (SENN, 2017; ALBARELLI, 2013).

**Figura 1** - Fluxograma Etanol de Primeira Geração



Fonte: Produção própria, 2022.

É comum a colheita da cana de forma manual, fazendo uso da técnica onde é queimada a palha, emitindo  $\text{CO}_2$ . No entanto, a emissão de gás carbônico é compensada durante o período em que a cana está crescendo e absorve  $\text{CO}_2$ , deste modo há uma relação de equilíbrio (CATOLICO, *et al.*, 2015).

Como está presente na Figura 1, fluxograma contendo as etapas de produção, a cana-de-açúcar ao chegar na usina, transportada por caminhões passa por um procedimento de limpeza, onde a cana segue por esteiras rolantes para a remoção de terra, areia e outras impurezas. Após ser picada e desfibrada, realiza-se a moagem, para extração do caldo (ALBARELLI, 2013; COSTA, 2014; SENNA, 2017).

O caldo é enviado para grandes dornas de fermentação, para que seja acrescido de um mosto de leveduras, especificamente a *Saccharomyces cerevisiae*, após a realização do processo é obtido o vinho (líquido com 10% de álcool presente em sua composição). Em seguida será destinado à destilação, processo que irá separar a solução de água e álcool resultando em etanol hidratado (96%) que ao sofrer o processo de desidratação tem-se etanol anidro (99,6%) (SENNA, 2017).

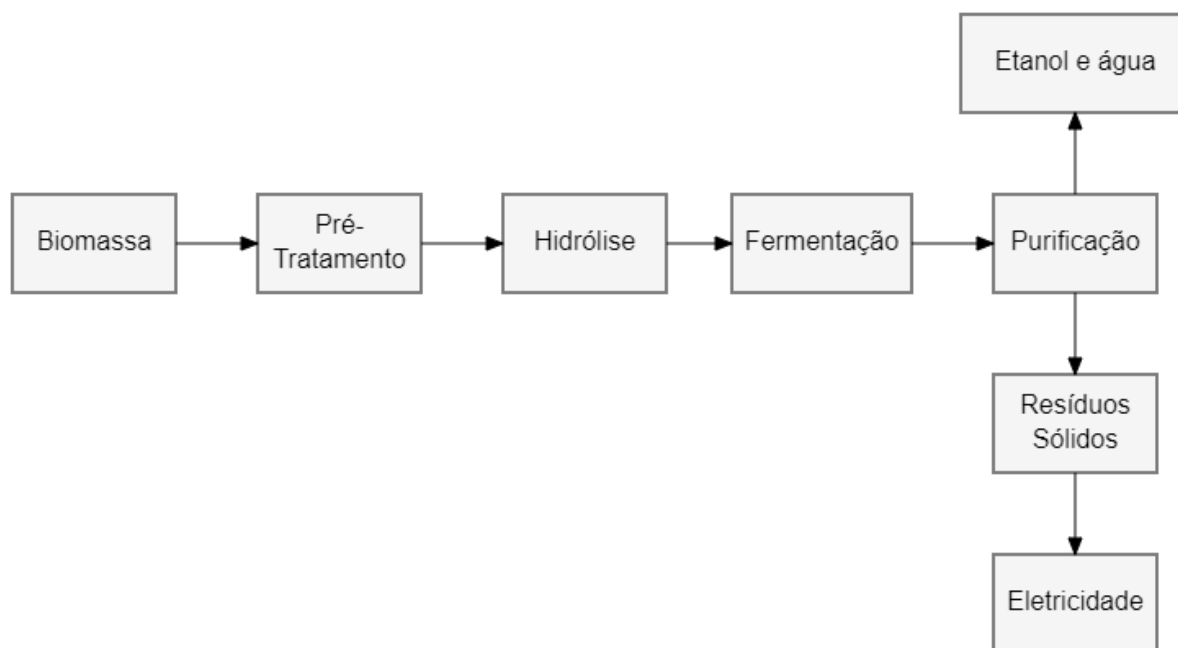
## 2.2 Etanol de Segunda Geração

De acordo com Teodoro *et al.* (2011), o E2G é produzido a partir da palha e/ou bagaço da cana-de-açúcar proveniente de usinas produtoras do E1G. O processo produtivo realizado para obter etanol de segunda geração é acrescido de duas etapas, além das etapas realizadas na produção do etanol de primeira geração, podendo ser o pré-tratamento e a hidrólise enzimática que são necessários devido a necessidade de separar os três compostos principais da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina).

Assim, ao usar os resíduos da cana-de-açúcar, o ciclo produtivo não precisa de novo corte de plantas, novos hectares destinados ao plantio e também não há a competição com o gênero alimentício (CATOLICO *et al.*, 2015).

Como presente na Figura 2, deve-se dar início a um processo chamado de pré-tratamento, preferencialmente que separe a celulose e a hemicelulose da lignina, que são materiais indispensáveis a serem utilizados na produção do E2G (PACHECO, 2011). O pré-tratamento da biomassa simplifica o processo posterior de obtenção dos açúcares, através da hidrólise (TEODORO *et al.*, 2011).

Figura 2 - Fluxograma E2G



Fonte: adaptado de Rosa, 2009.

Seguido do pré-tratamento, a matéria-prima é sujeita a separação da lignina (que tem sua função limitada, fadada a fornecer energia química na maioria dos casos). Já no caso da hemicelulose, pode ser submetida à hidrólise (ROSA *et al.*, 2009), no entanto apresenta um

certo nível de dificuldade para a produção de biocombustíveis, devido à sua composição de que inclui, além de hexoses, ácidos e pentoses, cuja técnica de fermentação ainda não é desenvolvida a nível economicamente viável industrialmente (PACHECO, 2011).

A hidrólise enzimática atua como catalisador biológico, no caso da celulose que apresenta um certo nível de dificuldade devido a quebra de polímeros resistentes, que estão protegidos por outras substâncias com grande resistência ao ataque químico, a exemplo da lignina e a hemicelulose. Tem por função principal favorecer a quebra das cadeias de polissacarídeos, resultando em moléculas de açúcar (ROSA *et al.*, 2009).

A celulose deve ser hidrolisada, para que sofra o processo da fermentação. Com a ação de leveduras será produzida glicose, que será fermentada. No caso da lignina, que foi separada no pré-tratamento, apresenta um alto teor calórico que a torna útil para as caldeiras na produção de energia ou vendida para terceiros. Já a hemicelulose, necessita de microrganismos que conseguem fermentar as pentoses para que seja produzido o E2G (PACHECO, 2011).

Os caldos são fermentados com a *Saccharomyces cerevisiae*, fermentando os açúcares (hexoses) presentes no caldo sem a adição de fontes de carbono, são acrescentados mosto de fermentação e por fim resulta em etanol e água (H<sub>2</sub>O) (TEODORO *et al.*, 2011).

É válido frisar que, um grande avanço em relação a produção do etanol de segunda geração foi dado em 2007, quando o Laboratório de Tecnologia Enzimática do Instituto de Química da UFRJ conseguiu obter uma mistura de enzimas que apresenta capacidade de proceder na hidrólise da celulose com tanta eficiência quanto às enzimas adquiridas por meio das companhias internacionais, reduzindo, assim, o custo da produção (CATOLICO *et al.*, 2015).

### **2.2.1 Vantagens**

A produção desse biocombustível apresenta uma série de vantagens, dentre elas:

- De acordo com Católico *et al.* (2015, p. 07) “O etanol de segunda geração faz-se importante a partir do momento em que apresenta um maior rendimento, melhor uso da terra, colheita mecanizada e impactos ambientais expressivamente melhores”.
- A menor dependência de combustíveis fósseis importados (CATOLICO *et al.*, 2015).

- Por trabalhar com uma matéria prima de alta perecibilidade é possível armazenar e produzir durante todo o ano, diferente das usinas de E1G que só produzem por um período de aproximadamente seis meses (GRANBIO, 2022c);
- Reduzir a emissão de carbono (CO<sub>2</sub>) durante seu processo produtivo, em relação ao etanol de primeira geração, obtendo um combustível considerado mais limpo (GRANBIO, 2022c);
- Combustível com alto rendimento e baixo consumo de enzimas e um alto desempenho de leveduras (GRANBIO, 2022c);
- A cada unidade de energia fóssil que é usada no processo produtivo do bioetanol da cana-de-açúcar, são nove unidades de energia renováveis desenvolvidas (CATOLICO *et al.*, 2015);
- A produção de E2G proporciona a descontinuidade da degradação do solo e o uso de extensivos hectares de terras destinados ao plantio da cana, diminuição do uso de defensivos e fertilizantes, que acarretam alterações no ecossistema (CATOLICO *et al.*, 2015);
- Em território brasileiro tem a vantagem de se adquirir uma biomassa de baixo custo, além de dispor de uma grande rede de distribuição de etanol e o uso de veículos *flex fuel*. No Brasil o preço da biomassa sai a 1 US\$/G para a palha e 0 para o bagaço (CATOLICO *et al.*, 2015).

### 2.2.2 Desvantagens

Como em todo processo com pontos positivos esse, produção de etanol de segunda geração, também apresenta seus aspectos negativos:

- Para a produção de E2G é preciso que a cana seja colhida de forma mecânica, para que isso ocorra é preciso de mão-de-obra qualificada. Sendo assim, é impactada a geração de empregos nesse âmbito, onde os trabalhadores chamados de cortadores de cana não possuem tal qualificação (CATOLICO *et al.*, 2015).

-A aceitação do setor sucroenergético ainda necessita de estímulos às pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias. O uso da palha queimada apresenta um grande potencial, no entanto é preciso que seja estabelecido de forma competitiva no mercado (CATOLICO *et al.*, 2015).

- O processo de hidrólise apresenta um certo nível de dificuldade, devido a digestão da celulose apresentar empecilhos em relação aos fatores físico-químicos, estruturais e

composicionais. A solução encontrada é realizar um pré-tratamento, que encarece o processo produtivo (TEODORO *et al.*, 2011).

- Conforme Catolico *et al.* (p. 09, 2015) “O alto custo operacional com enzimas, custo para a integração de processos, custo dos catalisadores, dificuldade na produção em grande escala etapa da hidrólise”. São fatores que influenciam diretamente no valor final do produto, etanol de segunda geração.

### 2.3 GranBio e a competição com a indústria alimentícia

O Brasil encontra-se em vantagens no quesito produção de E2G devido às vantagens na área tecnológica de produção, assim apresenta grandes chances de liderar a agricultura de energia e o mercado de biocombustíveis (PACHECO, 2011).

Tendo como exemplo ligado a tecnologia na produção de etanol de segunda geração pode-se citar a usina GranBio, Figura 3, localizada no município de São Miguel dos Campos, Alagoas, a qual apresenta capacidade de produzir 60 milhões de litros de biocombustível ao ano (GRANBIO, 2022a).

**Figura 3** - Usina GranBio



Fonte: GranBio, 2022.

A usina conta com o sistema inovador e tecnológico, a produção de etanol proveniente dos resíduos da cana-de-açúcar. Por meio do processo produtivo (pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação) que entrega, ao final, um etanol avançado, limpo e o mais importante dos fatores: não competindo com indústrias do ramo alimentício (GRANBIO, 2022a).

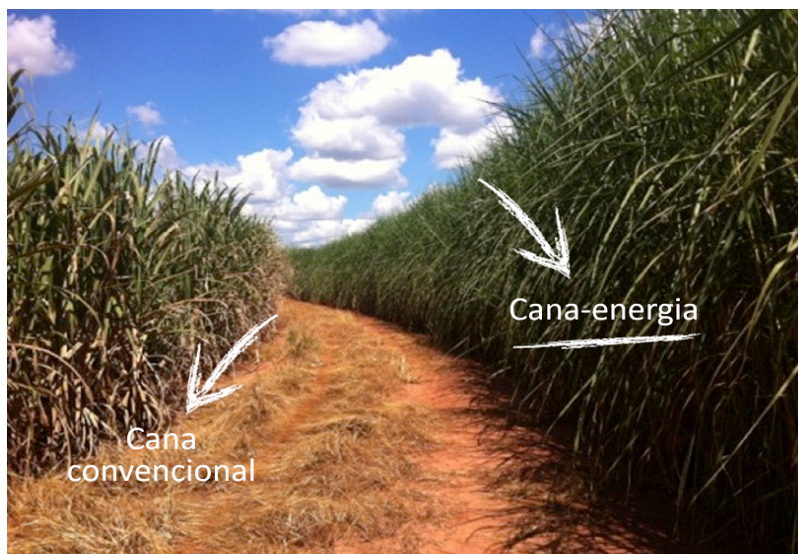
Fazendo uso do resíduo da cana-de-açúcar para a produção de E2G, esse método de fabricação é viável por considerar sua sustentabilidade. Por meio de parceria com as usinas que produzem etanol de primeira geração, como fornecedora de matéria-prima, a GranBio recolhe cerca de 300 mil toneladas de palha ao ano. Assim, não interfere na produção alimentícia, é utilizado somente os resíduos deixados no campo, no entanto só é possível em casos de colheita mecanizada, e também o bagaço após a extração do caldo (GRANBIO, 2022b).

### **2.3.1 Cana-Energia**

A cana-energia é uma cana-de-açúcar que sofreu alterações genéticas para favorecer a produção do bioetanol. Foi buscado em bancos de germoplasmas no Brasil e no mundo para que o resultado fosse excelente, em 2015 ocorreu o primeiro plantio em escala comercial (GRANBIO, 2022d). A partir do cruzamento de espécies ancestrais e híbridos comerciais o resultado obtido foi uma cana robusta, com alto teor de fibras e capacidade produtiva. Desse modo, apresenta a vantagem de poder ser plantada em regiões com baixa aptidão agrícola, que favorece o uso de regiões desfavorecidas e assim aumenta a produtividade (GRANBIO, 2022d).

De acordo com a GranBio, que além de investir no E2G também investe no plantio dessa variedade de cana, em território brasileiro tem-se 32 milhões de hectares de pastagens degradadas e que, ao serem ocupadas com a cana-energia, seriam mais do que toda a área destinada à agricultura europeia (GRANBIO, 2022d).

Devido ao seu porte robusto, visível na Figura 4, a planta requer menos água e insumos para o seu desenvolvimento, além da sua alta produtividade que faz dessa espécie uma das matérias primas mais competitivas nos dias atuais (GRANBIO, 2022d).

**Figura 4 - Cana-Energia**

Fonte: GranBio, 2022.

De acordo com Leite (2008), o E2G traz consigo a busca por novas possibilidades e melhorias no desenvolvimento da nova espécie, com o crescimento mais rápido, adaptável a diversas situações, para tanto, em relação ao aumento da quantidade de biomassa presente em sua composição pode-se concluir que a cana-energia é uma boa alternativa.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Portanto, apesar da produção do etanol de segunda geração necessitar do acréscimo de duas etapas para sua obtenção, o que encarece o processo, ainda sim é uma opção viável. É válido ressaltar que, apesar de ser um método inovador que vem conquistando seu espaço no mercado a cada dia, mesmo com a presença de empecilhos, como a ausência de investimentos em pesquisas no âmbito tecnológico, para que se consolide, já que em Alagoas há somente uma unidade com essa tecnologia e ainda sim o resultado é um produto feito com preocupação com o meio ambiente e de excelente qualidade. Conforme a produção de E2G foi se difundido surgiram os prós, menor dependência de combustíveis não renováveis, produzir durante todo o ano, redução da emissão de carbono, entre outras vantagens. No caso dos contras temos, a necessidade de mão de obra qualificada para realizar colheita mecanizada, a ausência de estímulos com relação ao desenvolvimento de novas tecnologias, custo aumentado devido a adição de duas etapas, dentre outras desvantagens presentes na produção do etanol de segunda geração. Tem-se na Usina GranBio um exemplo de

implementação dessa tecnologia, proporcionando aumentar a produção de etanol sem que fosse preciso aumentar os hectares de terra, evitando o desmatamento, tendo sido implementada por essa usina também uma nova espécie de cana-de-açúcar, a cana-energia, que apresenta um maior teor de fibras e um corpo robusto que facilitaria a obtenção de biomassa.

## REFERÊNCIAS

ALBARELLI, J. Q. **Produção de Açúcar e Etanol de Primeira e Segunda Geração: Simulação Integração Energética e Análise Econômica**. 2013. F. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2013.

**BioFlex® I: Produção de Biocombustível**. GranBio. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/bioflex-biocombustiveis/>>. Acesso em 10 de Março de 2022a.

CATOLICO, Ana Carolina; OLIVEIRA, Renata; CRIVELARE, Luciana; OLIVEIRA, Amanda de. **Análise de sustentabilidade do etanol 2g e bioenergia da cana**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 9, 2015.

**Colheita de Palha**. GranBio. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/colheita-de-palha/>>. Acesso em 16 de Março de 2022b.

COSTA, AC, Caso de Sucesso: **Produção de Etanol (2ª Geração)**. Laboratório de Engenharia de Processos Fermentativos e Enzimáticos (LEPFE) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2014.

FERREIRA, Juliana. **Etanol de segunda geração: definição e perspectivas**. Revista conexão eletrônica, v.12, n. 1, p. 11, 2015.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira. **Fotossíntese e cana-energia**. Ciência e Cultura, v. 60, n. 3, p. 4-6, 2008.

**O Que é Cana-Energia?**. GranBio. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>> . Acesso em 21 de março de 2022d.

PACHECO, Thályta Fraga. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?**. Embrapa Agroenergia-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011.]

**Produção de Etanol 2G**. GranBio. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/producao-de-etanol-2g/>>. Acesso em 16 de Março de 2022c.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da; GARCIA, Jorge Luiz Faria. **O etanol de segunda geração: limites e oportunidades**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n.32 , p. 117-156, dez. 2009.

SENN, Pedro Pinho. **Uma análise comparativa sobre os processos produtivos do etanol de primeira geração e de segunda geração**. 2017. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara), 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/156420>>.

TEODORO, Juliana Conceição; ANDRADE, Liliane Pires; NETO, Osvaldo Godoy; RAMOS, Luiz Pereira; RAERUP, Benjamin Knudsen; GALVÃO, Célia Maria Araujo. **Aproveitamento de Bagaço e Palha de Cana-de-Açúcar para Produção de Etanol Celulósico a partir de Fermentações em Batelada Alimentada**. 2011. SINAFERM, 2011.