



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

KAUANE BEATRIZ DA SILVA DE OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: INDICADORES
AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E BALANÇO ENERGÉTICO**

**PENEDO, AL
2022**

KAUANE BEATRIZ DA SILVA DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: INDICADORES
AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E BALANÇO ENERGÉTICO

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.

Orientadora: Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha.

PENEDO, AL
2022



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

O48p

Oliveira, Kauane Beatriz da Silva de.

Produção de bioetanol de segunda geração: indicadores ambientais, econômicos e balanço energético / Kauane Beatriz da Silva de Oliveira. – 2022.
16f. ; il.

Orientação: Prof.^a Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha.

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 - Produção. 2. Cana-de-açúcar. 3. Biocombustíveis I. Rocha, Martha Suzana Rodrigues dos Santos. II. Título.

CDD: 662

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

KAUANE BEATRIZ DA SILVA DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: INDICADORES
AMBIENTAIS, ECONÔMICAS E BALANÇO ENERGÉTICO

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.

APROVADA EM: 05/04/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dra. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha (orientadora)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^ª. Me. Ana Laura Oliveira de Sá Leitão
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^ª. Dra. Taciana do Nascimento Santos
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: INDICADORES AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E BALANÇO ENERGÉTICO

PRODUCTION OF SECOND-GENERATION BIOETHANOL: ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND ENERGY BALANCE INDICATORS

Oliveira, K. B. S.¹
Rocha, M. S. R. S.²

RESUMO

Com as constantes crises do petróleo, a alta dos preços e a possibilidade de seu esgotamento, somado a muitos efeitos negativos ao meio ambiente, aumentou-se o interesse por fontes alternativas de energia que são ambientalmente vantajosas. Assim, surge a possibilidade de produção de etanol de segunda geração (E2G) como alternativa aos combustíveis fósseis, uma vez que é produzido a partir da biomassa lignocelulósica (resíduos da cana-de-açúcar, milho, beterraba, entre outros). Além de ser muito atrativo para a diversificação da matriz energética e para a preservação do meio ambiente, apresenta soluções para problemas como a necessidade de aumentar a produção de combustíveis sem aumentar a área plantada e, também, diminui a competição com a indústria de alimentos. O uso de materiais lignocelulósicos exige um pré-tratamento com a finalidade de separar suas frações (celulose, hemicelulose e lignina) para obter uma maior recuperação dos açúcares, visando a eficiência e produtividade no processo de fermentação. Portanto, esse trabalho busca fazer uma análise, através de revisão bibliográfica, da sustentabilidade do E2G, que ainda, necessita de maior investimento em pesquisas para melhorar sua eficiência e produtividade, podendo-se concluir que o Brasil tem um grande potencial para produção desse biocombustível.

Palavras-chave: Biomassa lignocelulósica; Cana-de-açúcar; Etanol de Segunda Geração.

ABSTRACT

With the constant oil crises, the high prices and the possibility of its depletion, added to the many negative effects on the environment, the interest in alternative energy sources that are environmentally advantageous has increased. Thus, the possibility arises of producing second-generation ethanol as an alternative to fossil fuels, since it is produced from lignocellulosic biomass (sugarcane, corn and beet residues, among others). In addition to being very attractive for the diversification of the energy matrix and for the prevention of the environment, it presents solutions to problems such as the need to increase the fuels production without increase the planted area and also reduces competition with food production. The use of lignocellulosic materials requires a pre-treatment in order to separate their fractions (cellulose, hemicellulose and lignin) to obtain a greater recovery of sugars, aiming at efficiency and productivity in the fermentation process. Therefore, this work seeks to analyze, through a literature review, the sustainability of 2G ethanol, which still needs greater investment in research to improve its efficiency and productivity, it can be concluded that Brazil has great potential for the production of this biofuel.

Keywords: Lignocellulosic biomass; Sugar cane; Second Generation Ethanol.

¹ Kauane Beatriz da Silva de Oliveira, discente do curso Técnico Integrado em Açúcar e Álcool, kbsol@aluno.ifal.edu.br

² Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha, docente do curso Técnico Integrado em Açúcar e Álcool.

1 INTRODUÇÃO

O etanol é um álcool (C_2H_5OH), que apresenta alta miscibilidade com a água e com a maioria dos líquidos com baixo peso molecular, a composição em massa da molécula é de 52,24% de carbono, 13,13% de hidrogênio e 34,73% de oxigênio, possui ainda um baixo ponto de ebulição (78,4 °C), por esse motivo é pouco utilizado em países em que as temperaturas médias são menores, além disso é o mais leve dos combustíveis se comparado com a gasolina (NOVA CANA, 2021).

Ademais, é considerado o biocombustível com menor pegada de carbono – expressão que calcula a emissão de carbono equivalente na atmosfera pelos seres humanos e suas atividades habituais – do mundo, sendo obrigatória a sua adição na gasolina (no Brasil) desde o ano de 1938, além de ser uma fonte limpa e renovável, proporcionando geração de emprego, sustentabilidade e um melhor aproveitamento da terra (UNICA, 2020).

Hoje, os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e seus derivados) representam a maior parte do consumo de energia. Contudo, as suas reservas são limitadas e, com o seu uso, são liberados gases nocivos ao meio ambiente, provocando mudanças climáticas e aquecimento global. Dessa forma, com a crescente preocupação ambiental associada ao uso de combustíveis fósseis, novas alternativas sustentáveis estão sendo pesquisadas a fim de diversificar a matriz energética mundial, e nada mais coerente que usar uma fonte orgânica (SANTIAGO; RODRIGUES, 2017). Nesse sentido, uma dessas alternativas é o etanol de segunda geração (E2G), produzido a partir de biomassa lignocelulósica, porém essa técnica necessita ser melhorada, já que ainda existem fatores limitantes na produção desse biocombustível, como é o caso de dificuldades em relação as enzimas e também ao alto custo da tecnologia empregada.

No Brasil, o etanol já substitui metade do consumo de gasolina e o seu custo é competitivo no mercado, tendo em vista as oscilações recorrentes de preço da gasolina. Sua inserção no mercado foi facilitada com a criação do Programa Nacional do Álcool em 1975 pelo governo brasileiro, com o objetivo de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis. Esse interesse por biocombustíveis é algo do último século, por haver uma preocupação maior em desenvolver fontes de energia renovável, além da preocupação com a limitação das reservas de petróleo (BNDES; CGEE, 2008).

Outrossim, o Brasil domina a tecnologia de produção do etanol de primeira geração (E1G), sendo um líder na produção, em vista de sua história econômica baseada na fabricação de álcool e açúcar, desde o tempo da colonização, em que os portugueses extraíram o etanol

da cana-de-açúcar pela primeira vez em 1532 (SILVA, 2020). Assim, é mais fácil obter os resíduos dessa produção de E1G e reutilizar para fabricar o etanol de segunda geração, contudo, é necessário que mais pesquisas sejam desenvolvidas para aprimorar essa fabricação, a fim de proporcionar um maior rendimento e cuidado ambiental.

Portanto, este artigo tem o objetivo de agregar conhecimento sobre a sustentabilidade do etanol de segunda geração, bem como comentar sobre a matéria-prima, a questão econômica e o seu potencial energético.

2 MATÉRIA-PRIMA: BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

A biomassa lignocelulósica é um material orgânico de origem vegetal ou animal, rígido e fibroso, tem baixo custo e é encontrado em abundância, com um elevado potencial para produção de energia, tem sido utilizada atualmente como uma alternativa para a produção de bioetanol de segunda geração. Esta matéria-prima é favorável pois se mostra mais vantajosa em relação aos cuidados com o meio ambiente (SANTIAGO; RODRIGUES, 2017).

De acordo com Rueda (2010) a biomassa é uma fonte de energia renovável, contanto que seja usada de forma adequada seguindo os parâmetros ambientais. Assim, o etanol que é produzido utilizando a biomassa lignocelulósica é aceito como um substituto dos combustíveis fósseis, pois tem um baixo impacto ambiental.

Além disso, a biomassa lignocelulósica é composta principalmente por polissacarídeos, que em geral são convertidos em açúcar e posteriormente em etanol. Fazem parte desse material a celulose (polímero de glicose) com uma média de 40-50%, 18-27% de hemicelulose (heteropolímero complexo, formado por pentose e hexose) e de lignina (material estrutural da planta) com média, também, de 18-27%. A celulose e a hemicelulose podem ser convertidas em açúcares, enquanto a lignina deseja-se retirar do processo por não apresentar açúcares na sua composição (BASTOS, 2007). A Tabela 1 a seguir apresenta a composição química de algumas biomassas lignocelulósicas que podem ser usadas na fabricação do etanol de segunda geração.

Tabela 1: Composição química de algumas biomassas lignocelulósicas que podem ser usadas na fabricação do E2G.

Biomassa lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
---------------------------------	-------------------	-----------------------	------------------

Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Espiga de milho	45	35	15
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Fibra de coco	36-43	15-0,25	41-45
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19
Palha de milho	38	26	23

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

Como pode ser visto na Tabela 1, existe uma grande variabilidade de biomassas, sendo que no contexto brasileiro, os melhores resíduos são provenientes da cana-de-açúcar devido à grande abundância e aliado ao baixo custo. Comparando os resíduos da cana, tanto o bagaço, como a palha, apresenta quantidades de açúcares favoráveis, ainda assim, fica evidente que a palha tem uma quantidade superior de açúcares fermentescíveis – por apresentar uma maior concentração de celulose e hemicelulose – e também uma menor quantidade de lignina, apresentando um rendimento superior ao bagaço. Contudo, ambos têm uma boa conversão em açúcar e posteriormente em etanol. Assim, em relação a produção de etanol de segunda geração a biomassa lignocelulósica está se destacando pelo seu potencial fermentativo, como exemplo pode-se citar a espiga do milho que com visto, tem uma grande quantidade de celulose e hemicelulose disponíveis.

2.1 RESÍDUOS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (Figura 1) é uma planta herbácea, pertencente à família Poaceae, seu nome científico é *Saccharum officinarum* L. Esta importante planta, desde o tempo do Brasil colonial, serviu como fonte econômica na produção de açúcar e mais tarde na produção de etanol. Segundo a Nova Cana (2013), a planta chegou ao Brasil no início do século XVI e mesmo não sendo uma planta nativa, se adaptou bem aos solos e climas brasileiros, participando ativamente da sua economia. Atualmente, o país é o principal exportador de etanol do mundo, sendo que no ano de 2020 superou o seu *record* de exportação, quando teve um crescimento 40,2% comparado com o ano anterior, onde os principais países destinatários

desse etanol brasileiro são os Estados Unidos, países baixos, Reino Unido e Turquia (NOVA CANA, 2021).

Figura 1: Plantação de cana-de-açúcar.



Fonte: Brasil escola, 2018.

Nas usinas onde se trabalha com a cana quase tudo é aproveitado, e o que interessa para este trabalho é em maior parte o bagaço, porém a palha da cana-de-açúcar também pode ser utilizada para fabricar E2G. O bagaço é um resíduo da moagem da cana, material fibroso e com cerca de 50% de umidade, que pode ser usado como matéria-prima para a produção do etanol de segunda geração, uma vez que apresenta alta concentração de carboidratos em sua composição. Além de que, o bagaço, ao contrário da cana (que deve ser utilizada logo após a colheita), pode ser armazenado e usado no período entressafra para produzir o E2G, quando as usinas, normalmente, estão sem funcionar (BNDES, 2016).

3 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Com a demanda crescente por fontes renováveis de energia, considerando a conjuntura ambiental e tecnológica, o etanol 2G vem ganhando destaque, especialmente em locais com climas pouco propícios para o cultivo da matéria-prima ou sem grande área para o manejo, fazendo-se necessário que formas alternativas sejam buscadas. Assim, começou-se o investimento para desenvolver novas tecnologias que permitam obter o produto final, por meio de outros processos (FERREIRA, 2015). Além disso, o etanol de segunda geração vem apresentando ser bastante vantajoso por ser independente de combustíveis fósseis, apresentar uma menor emissão de poluentes na atmosfera e, ainda, fazer uso de subprodutos da cana-de-açúcar para ser produzido.

Além disso, em 2007 foi dado um grande passo em relação a fabricação do E2G quando o Laboratório de Tecnologia Enzimática do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro conseguiu encontrar uma mistura de enzimas capazes de realizar a hidrólise da celulose de forma tão eficiente quanto as enzimas produzidas por fornecedores internacionais, sendo que o alto custo da importação dessas enzimas era um fator limitante na produção do bioetanol (CATOLICO *et. al.*, 2015).

Primeiramente, a cana-de-açúcar é colhida – para a produção do E2G, deve-se realizar a colheita de forma mecanizada – e levada para a usina, onde irá passar por uma limpeza antes de entrar no processo de extração do caldo. Após a limpeza a matéria-prima segue pelas mesas alimentadoras para os ternos de moenda para poder extrair o caldo, esse caldo pode entrar na escala produtiva do açúcar e do etanol 1G, já o bagaço, pode seguir dois caminhos: seguir para os ternos de moenda, onde será queimado a fim de gerar energia elétrica para a indústria ou seguir para a escala produtiva do etanol 2G (SOUSA, 2019).

Antes da obtenção do etanol propriamente dito, a biomassa lignocelulósica passa por pré-tratamentos, que podem ser físicos, químicos, físico-químico e biológicos, com o objetivo de limpar e expor as fibras, remover principalmente a lignina, diminuir a cristalinidade da celulose, evitar ou diminuir a formação de compostos inibidores, para conseguir uma boa eficiência durante a hidrólise (ANDRADE; LORENZI, 2019). Logo, é uma etapa muito importante durante todo o processo, já que apresenta forte impacto em todas as outras etapas se não for bem executada, em especial a etapa de hidrólise enzimática (FERREIRA, 2015).

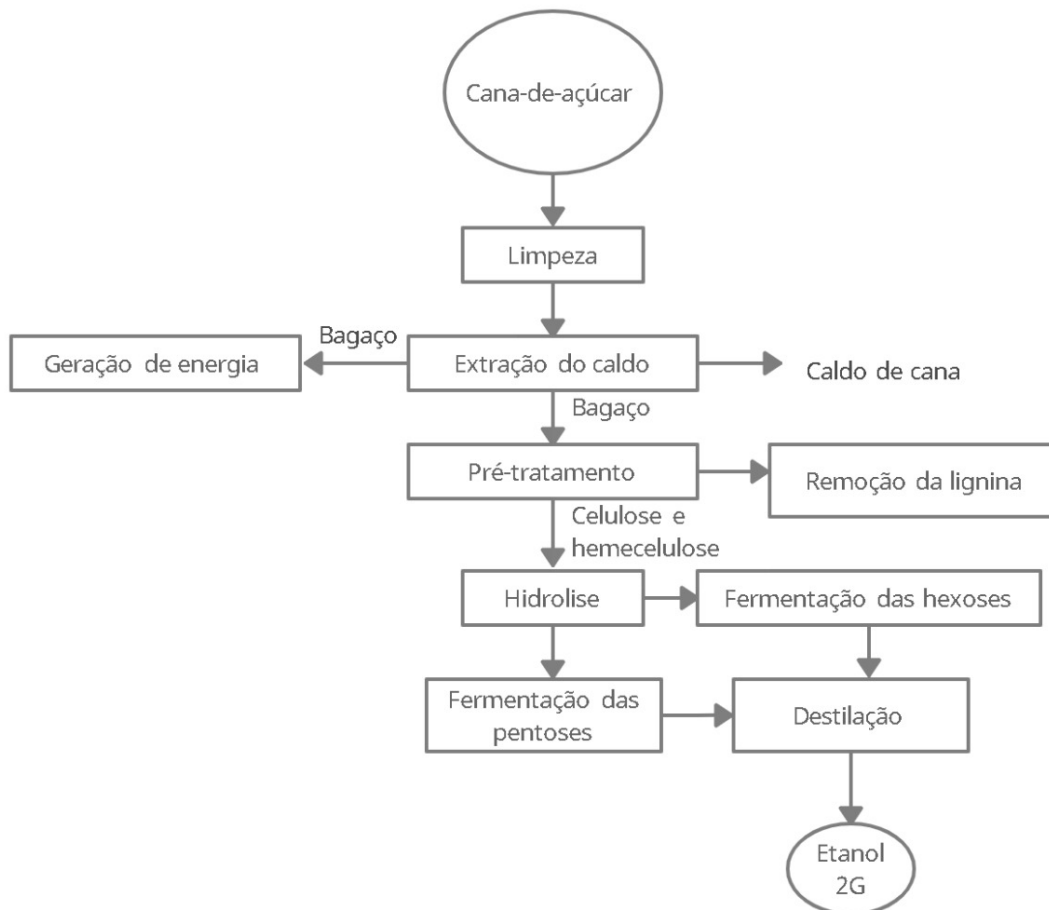
Por conseguinte, a etapa de hidrólise pode ser ácida ou enzimática, que de maneira simples, tem o objetivo de decompor as fibras do material sólido, transformando-o em caldo (ANDRADE; LORENZI, 2019). Segundo Ferreira (2015), a hidrólise ácida, pode liberar até 90% dos açúcares contido na biomassa, mas com risco de corrosão de equipamentos por causa do baixo pH, já a eficiência da hidrólise enzimática está condicionada ao sucesso do pré-tratamento, pois facilita a ação das enzimas. O produto da hidrólise é uma mistura de açúcares, sendo que o principal é a glicose ($C_6H_{12}O_6$). Finalizada a etapa de hidrólise, o produto está pronto para a fermentação.

Na fermentação, há a conversão de açúcar em gás carbônico e etanol, pela ação de leveduras como a *Sacharomyces cerevisiae* (para fermentar a celulose), que também é utilizada na fermentação alcoólica do etanol 1G, em condições anaeróbicas, com temperatura e pH sendo controlados para uma boa eficiência das leveduras (FERREIRA, 2015). Já para a fermentação das pentoses (derivadas da hemicelulose) ainda não tem uma levedura consolidada industrialmente – pois não há uma levedura capaz de obter boa eficiência até o

presente momento –, em que essa é uma barreira a ser superada para a produção do E2G (MELO, 2020).

Por fim, tem-se a etapa de destilação – comum ao processo produtivo do E1G e do E2G – que consiste em um processo de separação de mistura baseado na diferença do ponto de ebulição entre os componentes, e tem como objetivo obter o etanol, produto final desejado. No fluxograma a seguir, apresentado na Figura 2, pode-se observar um resumo de todo o processo produtivo do E2G.

Figura 2: Fluxograma do E2G.



Fonte: Próprio, 2021.

Embora o E2G seja um produto altamente benéfico no quesito ambiental, um dos maiores desafios enfrentados para a sua produção é atingir a escala produtiva necessária. Além de que o custo ainda é muito elevado, tanto o custo do produto final, como o custo em investimentos tecnológicos. É necessário também uma maior mão de obra especializada, pois há necessidade em utilizar novas tecnologias e garantir a qualidade durante o processo de fabricação (SENNÁ, 2016).

4 ANÁLISE AMBIENTAL

As atividades humanas demandam cada vez mais consumo de energia, assim, faz-se necessária a ampliação do uso do etanol como fonte de energia renovável e também como uma alternativa aos combustíveis fósseis e, ainda, para a diversificação da matriz energética brasileira e mundial. Além de que os principais Gases do Efeito Estufa (GEE) são dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, sendo que o CO₂ é liberado, principalmente, da queima dos combustíveis fósseis, o que acaba sendo muito prejudicial a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (SIGNOR, 2014). Contudo, apesar de ser considerado uma fonte de energia limpa, o E2G tem seus impactos, mesmo que pequenos, um exemplo disso é a queima do etanol de segunda geração combustível, liberando alguns dos GEE, como o dióxido de carbono, porém esse gás é quase totalmente consumido durante a fase de crescimento da planta, pela fotossíntese.

Outrossim, com a crescente preocupação com as mudanças climáticas, a grande dependência de derivados do petróleo, a variação de preço e as incertezas em relação ao abastecimento contribuem para buscar uma fonte de dinamização da matriz energética brasileira (RUOSO, 2017).

O E2G apresenta melhor rendimento, melhor aproveitamento da terra (já que é utilizado subprodutos da fabricação do E1G) podendo elevar a produção de etanol em 30-40% para a mesma área plantada (MELO, 2020), impactos ambientais menores se comparados as fontes fósseis e variabilidade da biomassa (podendo ser produzido a partir de subproduto da cana-de-açúcar, do milho, da beterraba, entre outros) e, também, uma redução considerável na emissão de GEE, pois com o uso das tecnologias atuais, para cada 100 milhões de toneladas de cana, pode-se poupar 12,6 toneladas de CO₂ emitidos na atmosfera (MANOCHIO, 2014). Bem como, segundo Melo (2020) os biocombustíveis reduzem a emissão de material particulado e até 98% de enxofre, além de que são biodegradáveis e não são tóxicos.

Ademais, de acordo com Catolico *et. al.*, (2015), como a matéria-prima seria um coproduto da fabricação do etanol de primeira geração, evitaria a degradação do solo, perda de terras pelo uso extensivo do cultivo da cana-de-açúcar sobre as áreas de preservação permanente e sobre áreas que poderiam ser utilizadas para a produção de alimentos, redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos, redução da destruição de ecossistemas e da biodiversidade.

Outro importante fator ambiental que seria diminuído é a queima da cana-de-açúcar, visto que para a produção do E2G é necessário que a colheita não seja feita de forma

tradicional, e sim pelo uso da colheita mecanizada, para que a palha seja aproveitada. Dessa forma, essa prática que afeta o solo de forma negativa - proporcionando mudanças nas características físicas, redução da fertilidade e da umidade, expondo-o ao fenômeno de erosão e diminuindo a concentração de nutrientes que porventura sejam mais voláteis - tende a ser reduzida. Além disso, não realizar a queimada dos canaviais faz com que a palha residual se deposite no solo, diminuindo a erosão e possibilitando a formação de uma comunidade biológica que irá atuar na decomposição da palha e dificultar o crescimento de plantas oportunistas (CATOLICO *et. al.*, 2015).

Ademais, o E2G apresenta um impacto ambiental reduzido em relação aos resíduos sólidos, haja vista que o rendimento da taxa de conversão de resíduos em glicose é de aproximadamente 90% e o rendimento do processo é de aproximadamente 85%. Em relação ao impacto nos recursos hídricos, o etanol 2G apresenta um menor consumo, e também, um maior reuso da água, com média de 84,5% (SENNÁ, 2017). Em geral, o E2G pode ser considerado como sendo menos ofensivo ao meio ambiente, já que emprega na sua produção um resíduo que muitas vezes seria descartado ou queimado, e o reutiliza, transformando em um produto com valor agregado.

5 ANÁLISE ECONÔMICA

O fator econômico é extremamente importante para que o etanol de segunda geração seja produzido e comercializado. Dessa forma, no Brasil, há várias vantagens, pois a biomassa tem baixo custo, o cultivo da cana já é uma prática dominada no país e também os veículos já estão adaptados, além de existir uma ampla rede de distribuição do etanol.

O preço final do combustível pode variar bastante, principalmente porque alguns dos grandes problemas é o alto custo operacional das enzimas – importantes na etapa de fermentação e hidrólise –, custo para integração dos processos e de catalisadores, além da dificuldade de produção em grande escala, e também uma questão para definir a quantidade de bagaço utilizado na cogeração de energia e na fabricação do etanol 2G, pois há um dilema para saber qual proporcionará um maior lucro e vantagem frente a competitividade do mercado e também à produção (CATOLICO *et. al.*, 2015).

Segundo uma pesquisa da Nova Cana (2015) o custo da produção do E2G será menor futuramente se comparado ao custo para a produção do E1G. Em 2015, o custo de produção do E1G era de R\$ 1,10 por cada litro, já o do E2G custava R\$ 1,50 por litro. A projeção para o ano de 2025 é que esse valor diminua e fique em torno de R\$ 0,90 e R\$ 0,70 para o etanol

de primeira geração, enquanto que para o etanol de segunda geração esse valor caia para algo entre R\$ 0,70 e R\$ 0,50. Para eles, o etanol 2G já é realidade no Brasil – mesmo que em escala reduzida –, e essa redução será devido ao avanço tecnológico e biotecnológico que o setor vem passando. Por fim, segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) o rendimento do etanol de segunda geração pode chegar a 17 mil litros por hectare de cana, enquanto o etanol de primeira geração tem rendimento de 6,9 mil litros por hectare de cana plantada.

De acordo com Xavier (apud Manochio, 2014) o etanol de segunda geração combustível tem um valor energético menor se comparado a gasolina, dessa forma, o preço do E2G só será viável e vantajoso se o custo for menor do que 70% do preço da gasolina e, também, se os centros de consumo forem próximo ao lugar de produção. Por conseguinte, há uma especulação de que o custo do etanol 2G caia até 2025, com isso ele se tornaria competitivo mesmo que o preço internacional do barril de petróleo atingisse US\$ 44 por litro (OVALE, 2021).

6 BALANÇO ENERGÉTICO

Diante da crescente necessidade para diversificar a matriz energética brasileira, os resíduos como bagaço e palha da cana-de-açúcar são interessantes e precisam de uma maior atenção e desenvolvimento de pesquisas e tecnologia, a fim de transformarem-se em fontes energéticas viáveis e lucrativas. Para o BNDES (2016) a palha e o bagaço representam 2/3 do potencial enérgico da cana, sendo assim a utilização desses subprodutos na fabricação do E2G permite explorar todo potencial energético dessas biomassas, que também podem ser usadas em outros produtos da indústria química, além do etanol (BES *et al*, 2019).

Sabe-se que a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil é de 85 toneladas por hectare, e que para cada tonelada de cana processada, é gerado 140 kg de bagaço e a mesma quantidade de palha, apresentando um alto potencial energético. Com a utilização desses subprodutos para a fabricação do etanol é possível aumentar em aproximadamente 50% a produtividade de litros de etanol por hectare de cana plantada, sem ter a necessidade de haver expansão de área cultivada e também pode diminuir o custo da produção (SANTOS *et al*, 2014).

De acordo com Rocha *et. al.* (2017) o poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de energia liberada na forma de calor pela combustão de uma unidade de massa de algum material. Dessa maneira, o PCS do bagaço da cana-de-açúcar é de 41,57 Mtep (mega tonelada

equivalente de petróleo), enquanto que o PCS do sabugo do milho é de 6,6 Mtep e o da casca de arroz é 0,89 Mtep, sendo assim, é evidente que os resíduos da cana-de-açúcar são os melhores já que apresenta um valor bem superior aos demais.

Diante do exposto é possível confirmar o potencial da biomassa em diversificar as fontes de energia em relação a matriz energética brasileira, porém mais pesquisas são necessárias para se obter melhorias no processo, redução de custos – visto que um dos desafios para produção do E2G é o alto custo de produção – e também para continuar expandindo esse setor que trará muito benefício no quesito ambiental, social e econômico. Além disso, para cada unidade de energia fóssil utilizada para a produção do E2G, cerca de nove unidades de energia renovável são produzidas, permitindo que a indústria da cana-de-açúcar se mantenha como a principal forma eficiente de produção de biocombustíveis e bioeletricidade (CATOLICO *et. al.*, 2015).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade, tem-se intensificado a procura por formas alternativas de energia, devido a uma maior preocupação em relação à poluição ambiental e, ainda, aos possíveis esgotamentos das fontes fósseis e preços instáveis. Além disso, esses resíduos provenientes da biomassa lignocelulósica, muitas vezes, seriam descartados ou usados para algo que não agrega muito valor econômico, como o bagaço do coco que poluí as prais. Dessa forma, é extremamente benéfica a conversão dessas biomassas em E2G, não apenas no quesito ambiental, mas também na questão econômica e social.

A partir das análises produtivas, ambientais e econômicas, fica evidente que o Brasil tem um alto potencial para a produção em larga escala de biocombustíveis, em especial o etanol de segunda geração. Uma vez que há disponibilidade da biomassa em abundância aliada ao baixo custo (já que seriam aproveitados os subprodutos da fabricação do E1G). Somado a isso, proporciona uma maior produção de etanol e, também, diversificação da matriz energética, sem haver competitividade pelo uso de uma maior área agricultável.

Portanto, faz-se necessário que haja um maior incentivo às pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias, a fim de desenvolver melhorias nas tecnologias já existentes para a fabricação do etanol de segunda geração, já que o futuro do setor sucroalcooleiro depende diretamente desse aprimoramento.

REFERÊNCIAS

BASTOS, V. D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias. **Revista BNDS**, Rio de Janeiro, p. 22, 2007. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2527>. Acesso em 10 de maio de 2021.

BES, K.; LEMÕES, J. S.; SILVA, C. F. L.; SILVA, S. D. A. Extração e caracterização da lignina proveniente do pré-tratamento de biomassa para produção de etanol de 2ª geração. **Eng Sanit Ambient**, v.24, n.1, 2019.

BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: Energia para o desenvolvimento sustentável. 317p. Rio de Janeiro: BNDES E CGEE, 2018. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2002>. Acesso em 04 de out de 2021.

BNDES: Custo de produção do etanol 2G será menor que de 1G até 2020. **Nova cana.** Disponível em <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/bndes-custo-producao-etanol-2g-menor-1g-2020-240315>. Acesso 21 de out de 2021.

BNDES. **Etanol 2G: inovação em biocombustíveis.** Disponível em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol-2g-inovacao-biocombustiveis>. Acesso em 14 de out de 2021.

CANA-DE-AÇÚCAR — Tudo sobre essa versátil planta. **Nova cana**, Curitiba, [20- -?]. Disponível em <https://www.novacana.com/cana-de-acucar>. Acesso em 20 de maio de 2021.

Cana-de-açúcar em São Paulo. **Brasil Escola.** Disponível em <https://brasilestela.uol.com.br/brasil/a-canadeacucar-sao-paulo.htm>. Acesso em 23 de jan 2022.

CATOLICO, A. C.; OLIVEIRA, R.; CRIVELARE, L.; OLIVEIRA, A. **Análise de sustentabilidade do etanol 2G e Bioenergia da cana.** XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, São Paulo, 2015.

Com 2,67 bilhões de litros, Brasil exportou maior volume de etanol em sete anos. **Nova cana**, Curitiba, [2020]. Disponível em <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/exportacao/2-67-bilhoes-litros-brasil-exportou-maior-volume-etanol-sete-anos-120121>. Acesso em 25 de mar 2022.

ETANOL – Energia Sustentável. **Unica – União da Indústria de Cana-de-açúcar.** Disponível em <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/>. Acesso em 05 nov de 2021.

Etanol de segunda geração pode reduzir dependência da gasolina. **Ovale.** Disponível em <https://www.ovale.com.br/nossaregiao/economia/etanol-de-segunda-geracao-o-pode-reduzir-dependencia-de-gasolina-1.68126>. Acesso em 22 de out de 2021.

FERREIRA, J. Etanol de segunda geração: definição e perspectiva. **Rev. Conexão eletrônica**, Campo Grande, v. 12, n. 1, p. 4-5, 2015. Disponível em <https://silo.tips/download/etanol-de-segunda-geracao-definicao-e-perspectivas>. Acesso em 31 maio 2021.

História da Legislação sobre o etanol. **Nova cana.** Disponível em <https://www.novacana.com/etanol/historia-legislacao>. Acesso em 14 de out 2021.

LORENZI, B. R.; ANDRADE; T. H. N. O etanol de segunda geração no Brasil: políticas e redes sociotécnicas. *Rev. brasileira de ciências sociais*, São Paulo, V. 34, n. 100, p. 4, 2019. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/j5wbmgNHJcNh8YDM7L98Gzx/?lang=pt>. Acesso em 31 de maio 2021.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: Uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. Universidade Federal de Alfenas, Trabalho de Conclusão de Curso, 2014.

MELO, N. R. **Etanol 2G: Processo produtivo e seu contexto atual no Brasil**. Universidade Federal de Uberlândia, p. 19-20, 2020.

Propriedades Físico-Químico do etanol. **Nova Cana**. Disponível em <https://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas>. Acesso em 05 de nov de 2021.

ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; CRUZ, A. J. G. **Avaliação do potencial energético de resíduos agroindustriais provenientes de diferentes regiões brasileiras**. *Engevista*, V. 19, n. 1, p. 217-235, 2017.

RUEDA, S. M. G. **Pré-tratamento e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

RUOSO, A. C. **Análise econômica, energética, ambiental e de segurança da utilização do etanol hidratado**. Repositório Digital da UFSM, Rio Grande do Sul, p. 4, 2017. Disponível em <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12427>. Acesso em 07 de set de 2021.

SANTIAGO, B. L. S.; RODRIGUES, F. A. **Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão**. *The Journal of Engineering and exact Sciences*, V. 3, n. 7, p. 2, 2017.

SANTOS, A. M. **Caracterização química da biomassa: Potencial da palha da cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. Universidade Federal de Alagoas, 2018.

SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; MANFREDI, M; QUEIROZ, M. E. L. R.; CALDAS, C. S.; SOARES, F. E. F. **Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico**. *Química Nova*, V. 37, n. 1, 2014.

SENN, P. P. **Etanol de primeira ou segunda geração? Uma comparação entre os ciclos produtivos**. p. 14, 2016.

SENN, P. P. **Uma análise comparativa sobre os processos produtivos do etanol de primeira geração e de segunda geração**. Universidade Estadual Paulista, p. 48, 2017.

SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. **Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo**. *Bragantia*, Campinas, V. 73, n. 2, 2014.

SILVA, F. A. Comparação entre a palha do milho e a palha da cana-de-açúcar para obtenção de etanol de segunda geração (E2G). Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Alagoas; Penedo-AL, 2020.

SOUSA, P. A. S. Análise exergética da produção de etanol de primeira geração a partir da cana-de-açúcar. Trabalho de conclusão de curso, Piauí, 2019.