



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

ELLEN VITÓRIA DE OLIVEIRA SANTOS

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA
CANA-DE-CANA-DE-AÇÚCAR**

PENEDO, AL
2022

ELLEN VITÓRIA DE OLIVEIRA SANTOS

PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO
DA CANA-DE-AÇÚCAR

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

Orientador (a): Taciana Nascimento dos Santos

PENEDO, AL
2022



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

S237p

Santos, Ellen Vitória de Oliveira.

Produção de etanol de segunda geração a partir do bagaço da
cana-de-açúcar / Ellen Vitória de Oliveira Santos. – 2022.

13f. : il.

Orientação: Prof.^a Taciana Nascimento dos Santos.

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

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Etanol 2G. 2. Cana-de-açúcar. 3. Etanol - Fabricação. I.
Santos, Ellen Vitória de Oliveira. II. Título.

CDD: 662

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

ELLEN VITÓRIA DE OLIVEIRA SANTOS

PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA
CANA-DE-CANA-DE-AÇÚCAR

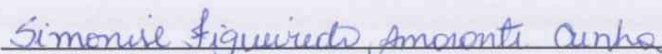
Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, campus Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

APROVADO(A) EM: 13/09/2022.

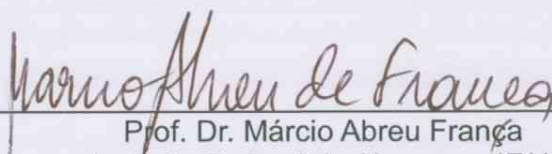
BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dra. Simonise Figueredo Amarante Cunha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Márcio Abreu França
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-CANA-DE-AÇÚCAR

PRODUCTION OF SECOND-GENERATION ETHANOL FROM SUGARCANE BAGASSE

ELLEN VITÓRIA DE OLIVEIRA SANTOS¹

RESUMO

O etanol é o biocombustível renovável mais utilizado no Brasil, sendo considerado o combustível mais limpo ao se comparar com a gasolina. Assim como a gasolina, o etanol emite gases, porém em uma proporção menor. De tal forma, reduzindo os impactos ambientais e consequências para vida humana. Na produção do etanol de primeira geração (E1G) e de segunda geração (E2G), as matérias-primas que mais se destacam no Brasil são, respectivamente, a cana-de-açúcar e seus resíduos, que são o bagaço e a palha da cana. Diferente do processo convencional (E1G), na produção do etanol de segunda geração se requer mais tecnologia, pois são implementadas etapas adicionais ao processo, como o pré-tratamento e a hidrólise da biomassa, para que se obtenha etanol com alta qualidade e produtividade. Portanto, pode-se concluir que o etanol é uma alternativa para redução dos impactos ambientais e contribuir para economia do país. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em descrever o processo produtivo do etanol de segunda geração (E2G) por meios de leituras de artigos científicos, monografias e sites confiáveis. Pode-se concluir que o bagaço é um resíduo de alto valor, que pode ser reaproveitado pelas indústrias sucroalcooleiras para gerar outros produtos, como o etanol de segunda geração (E2G) e energia elétrica, sem a necessidade de ampliar área de canaviais.

Palavras-chave: Etanol de segunda geração. Biomassa lignocelulósica. Bagaço da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Ethanol is the most used renewable biofuel in Brazil, being considered the cleanest fuel when compared to gasoline. Like gasoline, ethanol emits gases, but in a smaller proportion. In such a way, reducing environmental impacts and consequences for human life. However, in the production of first-generation (E1G) and second-generation (E2G) ethanol, the raw materials that stand out in Brazil are, respectively, sugarcane and its residues, which are bagasse and cane straw. Unlike the conventional process (E1G), the production of second-generation ethanol requires more technology, as additional steps are implemented in the process, such as pre-treatment and hydrolysis of biomass, in order to obtain ethanol with high quality and productivity. Therefore, it can be concluded that ethanol is an alternative to reduce environmental impacts and contribute to the country's economy. Thus, the objective of this work is to describe the production process of second-generation ethanol (E2G) by means of reading scientific articles, monographs and reliable websites. It can be concluded that bagasse is a high-value residue, which can be reused by the sugar-alcohol industries to generate other products, such as second-generation ethanol (E2G) and electricity, without the need to expand the area of sugarcane plantations.

Keywords: Second generation ethanol; lignocellulosic biomass; sugarcane bagasse

1 INTRODUÇÃO

O etanol é o biocombustível mais utilizado no Brasil, sendo uma alternativa para reduzir impactos ambientais, como o aquecimento global e a chuva ácida. Após a implementação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o setor sucroalcooleiro ganhou investimento para produção do etanol. O Proálcool foi desenvolvido em 1975 pelo governo brasileiro, após a crise do petróleo, afim de estimular a produção do etanol anidro e diminuir a dependência de combustível fóssil (SILVA, 2019). Em 1980, com a redução do preço do petróleo, o governo desmotivou o Proálcool, ocasionando o fim do programa. De acordo com a Lei 10.203/01, a qual obrigatoriamente a gasolina deve ser misturada com uma porcentagem entre 20% e 24% de álcool anidro, mantiveram o programa. Em 2003, com o lançamento de veículos flex, as indústrias sucroalcooleiras voltaram a produzir uma quantidade significativa de etanol (NOVACANA, 2014).

O Brasil tem grande potencial para produzir bioeletricidade uma energia limpa e renovável que pode ser utilizada pela própria indústria, na geração de calor para as caldeiras, utilizando apenas o bagaço da cana para obtenção da mesma, considerado o segundo maior produtor mundial de etanol, ficando somente atrás dos Estados Unidos da América. O etanol pode ser obtido através de diversas matérias-primas, como a cana-de-açúcar, beterraba, milho e trigo. Além disso, pode-se obter etanol através de resíduos lignocelulósicos, como o bagaço e a palha da cana de açúcar. No Brasil, a cana-de-açúcar destaca-se como a principal matéria-prima utilizada na produção do etanol de primeira geração, sendo possível o uso do subproduto da cana-de-açúcar, o bagaço, na produção do etanol de segunda geração e para gerar energia elétrica (LEMÕES, 2017).

De acordo com a (PROPEQ, 2020), o processo de obtenção do etanol de segunda geração é bastante semelhante ao processo do etanol de primeira geração, na qual a única diferença encontra-se na matéria-prima utilizadas e no processo, pois para produção do etanol de segunda geração são utilizados resíduos da cana-de-açúcar, sendo necessário implementar duas etapas, pré-tratamento e hidrólise. O pré-tratamento é essencial na produção desse biocombustível, na qual, visa a compatibilidade da biomassa lignocelulósica às etapas de hidrólise e fermentação para obter alto rendimento de etanol (LEMÕES, 2017).

O biocombustível produzido através de resíduos como o bagaço, apresenta grandes vantagens, não só para a indústria sucroalcooleira, mas também para o meio ambiente. A principal vantagem do etanol 2G está relacionada com o aumento da fabricação de etanol sem ampliar a área de cultivo, contribuindo assim para redução de emissão de gases que a queima da cana-de-açúcar libera. Além disso, tem máximo de aproveitamento do resíduo da cana-de-açúcar, sendo gerado outros produtos com o resíduo na qual antigamente era descartado assim como qualquer outro resíduo (MORAIS, 2017).

Segundo (LORENZI, 2019), o etanol de segunda geração já é produzido em escala comercial em diferentes regiões do mundo, são eles: Estados Unidos, China e Canadá. Atualmente, no Brasil, existem duas grandes empresas de biotecnologia industrial, são elas: GranBio, localizada na Usina Caeté em Alagoas, e a Raízen, unidade Costa Pinto, localizada no interior de São Paulo (BUORO, 2021). A GranBio é a empresa que mais se destaca, em virtude de ser considerada a empresa mais inovadora do Brasil, a qual, foi fundada em 2011, mas só em 2014 iniciou a todo vapor a produção do etanol de segunda geração. Ambas as empresas têm capacidade de

gerar anualmente 82/41 milhões de litros de etanol, respectivamente, utilizando biomassa lignocelulósica (bagaço e a palha-da-cana de açúcar) (BUORO, 2021).

O Brasil possui tecnologias necessárias para melhorar o desempenho de produção do etanol de primeira geração e de segunda geração, aperfeiçoando o processo produtivo e gerando maior capacidade de etanol no país (PACHECO, 2011).

Logo, o objetivo deste trabalho consiste em descrever o processo produtivo do etanol de segunda geração, conhecido como etanol 2G, produzido através do bagaço da cana-de-açúcar. Com base em artigos científicos, monografias, trabalhos de conclusão de curso e sites confiáveis realizou-se este trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

A indústria sucroalcooleira é responsável por gerar uma quantidade significativa de resíduos e subprodutos, devido sua alta produção de etanol e açúcar diariamente. No entanto, o bagaço, por exemplo, é um dos principais subprodutos utilizados na indústria sucroalcooleira como fonte de calor para as caldeiras, assim como a palha da cana-de-açúcar, porém o bagaço tem mais aproveitamento pois é mais de extrair açúcares. Além disso, o bagaço também pode ser usado para adubação dos canaviais em médias proporções (UNIFESP, 2013). Segundo AGROMOVE (2022), a vinhaça é um composto químico líquido a qual é obtida após a produção de açúcar e álcool, líquido rico em nutrientes como o potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) que servem para fertilizar o solo dos canaviais, contribuindo para melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar.

2.2 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

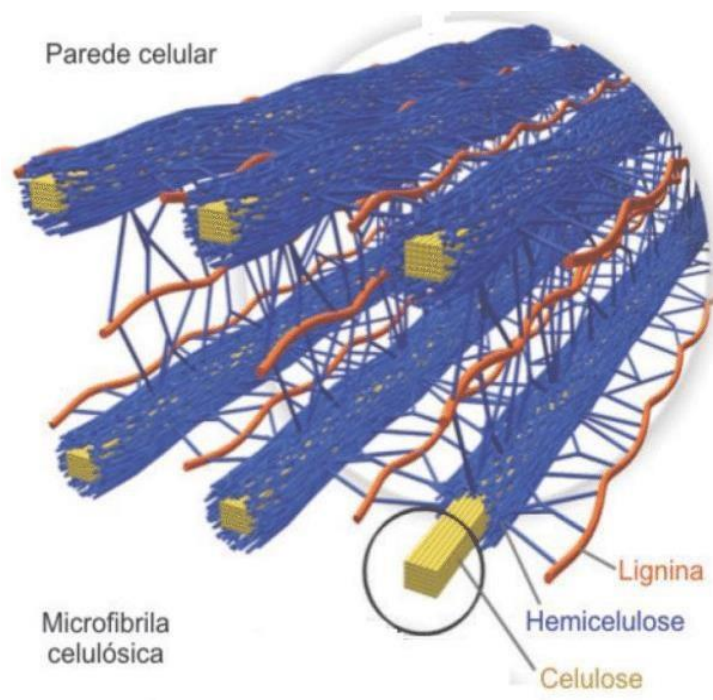
Biomassa lignocelulósica é a matéria-prima mais abundante na terra para produção de compostos a base de carbono, como o etanol. Pode-se aproveitar da biomassa para gerar etanol e energia limpa, de tal forma, gerando economia para o país, pois são resíduos descartados que podem ser reutilizados. A biomassa lignocelulósica vem sendo umas das principais fontes de açúcares fermentáveis para processo de produção do etanol. A biomassa lignocelulósica é composta por basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. (SANTOS, 2012). A Figura 1 representa a estrutura lignocelulósica de uma biomassa vegetal evidenciando um esqueleto de celulose circundado por hemicelulose e lignina. O bagaço da cana-de-açúcar possui aproximadamente 45% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina (BUORO, 2021).

A celulose ($C_6H_{10}O_5$)_n é o principal componente da parede celular das plantas, sendo um polímero, também conhecido como polissacarídeo ou carboidrato, formado por uma cadeia linear de D-glicose, unidas por ligação glicosídica (PACHECO, 2011).

Assim como a celulose, a hemicelulose ($C_5H_8O_4$) é um polímero, mas com uma estrutura mais complexa, pois possui uma variedade de ligações e ramificações. Sendo responsável pela ligação da celulose entre lignina. A hemicelulose é formada por açúcares do grupo das pentoses (xilose e arabinose), hexoses (manose, glicose e galactose) e ácidos urônicos (SANTOS, 2012).

A lignina é um polímero amorfo formado por monômero de unidade aromáticas que está associada a parede celular. É considerado o segundo composto orgânico mais abundante na terra, depois da celulose. Sua estrutura é polifenólica complexa, sendo assim, responsável pela rigidez das plantas e composta de fenilpropano que formam uma macromolécula tridimensional (CUNHA, 2020). Dessa forma, para que a biomassa possa ser utilizada como matéria-prima, é essencial passar pela etapa de pré-tratamento, na qual é realizada a quebra dos polissacarídeos (celulose e hemicelulose) presente na biomassa (MARTINS, 2018).

Figura 1: Estrutura lignocelulósica de uma biomassa vegetal evidenciando um esqueleto de celulose circundando por hemicelulose e lignina.

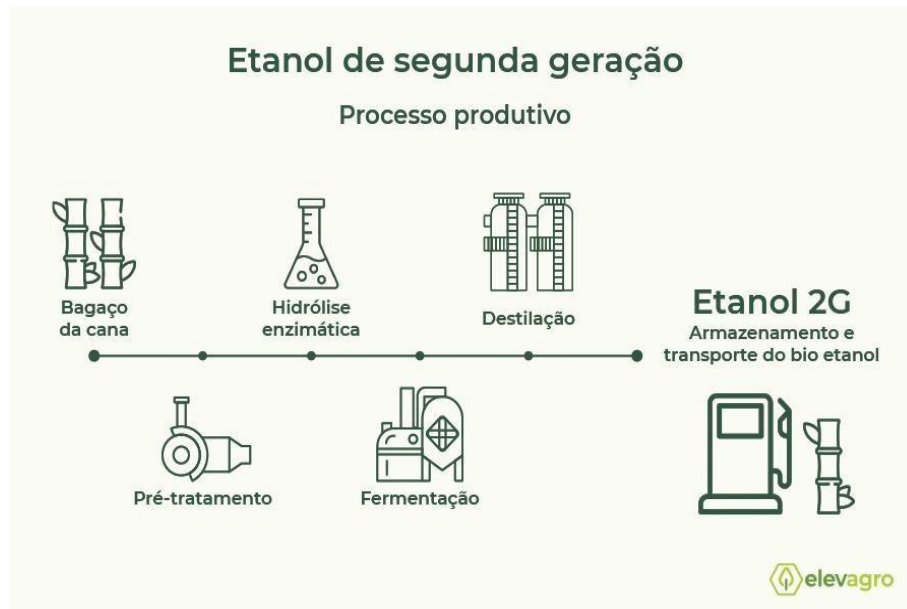


Fonte: MACHADO, 2016.

2.3 ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO DO ETANOL SEGUNDA GERAÇÃO

A produção do etanol através da biomassa lignocelulósica consiste nas seguintes etapas: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação. Assim, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo do etanol de segunda geração.



Fonte: Elevagro, 2022.

2.3.1 Pré-tratamento

O pré-tratamento é uma etapa indispensável, visto que, para ser eficaz a etapa de hidrólise enzimática, é necessário que a biomassa não apresente material inerte como areia e vidro, por exemplo (MURAKAMI *et.al.*, 2016). No entanto, o pré-tratamento tem a função de remover a hemicelulose e a lignina, contribuindo para redução da cristalinidade da celulose e de tal forma, aumentando a porosidade dos materiais; além disso, evitando a degradação ou perda de carboidratos e a formação de bioprodutos que possam inibir os microrganismos fermentadores (MARTINS *et. al.*, 2014). Diferentes tipos de pré-tratamento podem ser utilizados para o preparo da biomassa, os quais podem ser classificados como físicos, químicos ou biológicos.

No pré-tratamento físico podem ser realizados métodos utilizando a temperatura, pressão, radiação, congelamento e moagem. Portanto, o pré-tratamento físico tem o propósito de reduzir o tamanho das partículas, sendo comum de ser realizado através da moagem, aumentando sua área superficial e, em alguns casos, reduzindo o grau de polimerização e cristalinidade da biomassa (LEMÕES, 2017).

Para realizar o pré-tratamento químico são utilizados bases, solventes orgânicos, líquidos iônicos e ácidos, como por exemplo, o ácido sulfúrico e clorídrico. Na quais, são utilizados para separar as frações da biomassa (LEMÕES, 2017).

Segundo Hartmann (2017), os pré-tratamentos biológicos consistem na degradação da biomassa lignocelulósica que normalmente utilizam enzimas geradas por micro-organismos (fungos e bactérias) que contribuem para melhor extração de açúcares quando realizadas as etapas de hidrólise e fermentação. O pré-tratamento biológico possui grandes vantagens, como a baixa necessidade gastos energéticos e

produtos químicos que geralmente poluem o meio ambiente. Além disso, o pré-tratamento pode ocorrer com a junção de dois pré-tratamento, como por exemplo: pré-tratamento físico-químico.

2.3.2 Hidrólise

A hidrólise é etapa essencial para conversão da celulose em açúcares, sendo considerada o coração do processo, sem a implementação da etapa de hidrólise, dificultaria a extração da glicose presente na biomassa lignocelulósica. Na produção do etanol de segunda geração, a hidrólise serve para quebrar a celulose e a hemicelulose, onde ambas atuam como polissacarídeos na biomassa lignocelulósica, o que pode ser realizado com o emprego de ácidos ou enzimas celulases para que haja liberação de açúcares fermentescíveis, obtendo açúcares mais simples e solúveis. A hidrólise acontece logo após a etapa de pré-tratamento da biomassa, para que assim, a etapa de hidrólise seja eficiente (LUCARINI *et. al*, 2017).

No entanto, a hidrólise pode ser realizada através de enzimas, também pode ser realizada através de ácidos concentrados ou diluídos. Segundo (MELO, 2020), no processo de hidrólise com ácido concentrado, a hemicelulose e a celulose são rompidas através de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl), utilizando baixas temperaturas. Nesse caso, a hidrólise ácida apresenta grandes desvantagens, pois necessariamente requer equipamentos altamente resistentes a corrosão e manutenção preventivas nos equipamentos, aumentando o custo benefício.

No processo de hidrólise enzimática, são utilizadas enzimas celulases pois servem para catalisar a hidrólise de celulose, sendo assim, a biomassa precisa passar por um pré-tratamento para que se torne mais acessível ao ataque enzimático. Após esse processo, a celulose é rompida pela ação da celulose facilmente (MELO, 2020). De acordo com a (Vásquez, 2007), existem alguns fatores que contribuem para o rendimento da hidrólise enzimática, são eles: temperatura, ph, teor de sólidos dentre outros.

2.3.3 Fermentação

A fermentação é um processo usado há muito tempo, desde pré-história, foi descoberta por acaso e desde então esse processo vem sendo usado em indústrias sucroalcooleiras e alimentícias, por exemplo.

A fermentação alcoólica é um processo caracterizado pela ausência de oxigênio em seu processo bioquímico em meios de micro-organismos, esse processo se divide em etapas aeróbicas e anaeróbicas onde ocorre a conversão da sacarose em frutose e glicose em álcool e dióxido de carbono (CO_2), utilizando fungos microscópicos conhecidos como leveduras (ALMEIDA, 2020). A fermentação ocorre somente na etapa a de glicólise, no citosol. Dessa forma, são usadas leveduras como a *Saccharomyces cerevisiae*, que são eficientes no processo de fermentação industrial de açúcares. Após o líquido açucarado, conhecido como mosto, está apto para receber a levedura, são levados para dornas agitadas onde irá ocorrer o processo de fermentação, na qual, é considerado um processo duradouro. Após a fermentação, o mosto transforma-se em vinho, chamado também de vinho fermentado. (NOVACANA, 2012).

2.3.4 Destilação

A destilação do etanol, é uma etapa importante a qual refere-se ao um processo que visa separar o etanol de substâncias líquidas por diferença de volatilidade, empregando o calor como agem de separação (SILVA, 2019). Esse tipo de destilação é denominado como destilação fracionada, comum em processos industriais importantes como no refino do petróleo, produção de bebidas alcoólicas destiladas, além da produção do etanol.

Após a etapa de fermentação, obtém-se um vinho fermentado, onde necessariamente precisa passar pela etapa de destilação, pois apresenta aproximadamente 10% de etanol em sua composição. Segundo a (NOVACANA, 2012), nesse processo, o líquido é colocado em colunas de destilação, nas quais ele é aquecido até evaporar. No entanto, esse vapor passa pela a etapa de condensação, assim, voltando ao seu estado líquido obtendo o etanol. Com isso, é produzido o etanol hidratado.

CONCLUSÃO

O biocombustível produzido a partir da cana-de-açúcar e seus resíduos (biomassa lignocelulósica), é uma alternativa para reduzir impactos ambientais por consequência do consumo de combustível fóssil, sendo fundamental para indústrias sucroalcooleiras, na qual, tem a possibilidade de aumentar a capacidade de produção do etanol sem a necessidade de expandir área do canavial.

Em vista dos argumentos apresentados, pode-se concluir que com o desenvolvimento de novas tecnologias, o etanol de segunda geração (E2G) surgiu para complementar o etanol que já é produzido através cana-de-açúcar, assim, mostrando que é possível produzir não só energia elétrica com o bagaço da cana-de-açúcar, mas também, um biocombustível sustentável.

REFERÊNCIAS

- AGROMOVE, **Subprodutos da indústria sucroenergética na adubação da cana de açúcar**. [S. l.], 13 de jul. de 2022. Disponível em: <https://blog.agromove.com.br/subprodutos-industria-sucroenergetica-adubacao-cana/>. Acesso em: 10 de ago. 2022.
- ALMEIDA, Henac. Vídeo (11min 5s). **Fermentação Alcoólica**. Publicado pelo canal Henac Almeida. 11 mai. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Y0PxnuyQKAU&t=17s>> . Acesso em: 20 ago. 2022.
- BUORO, Rafael. **Processo Produtivo de Etanol de Segunda Geração e seus Aspectos**. Orientador: Prof. Dr. Ricardo Samuel Schwab. 2021. 25 p. Conclusão de curso (Pós-graduação em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.
- CUNHA, Izabel Figueredo. **Análise Térmica e Pirólise Analítica de Sabugo de Milho**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Ataíde. 2020. Conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2020.
- ELEVAGRO, **A poderosa diversidade microbiana do rúmen pode ser a chave para a produção de biocombustível**. [S. l.], 8 jun. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/component/content/article/2612>>. Acesso em: 28 ago. 2022.
- HARTMANN, Carolina. **pré-tratamento de biomassa lignocelulósica por macrofungos regionais para posterior produção de etanol de segunda geração**. Orientador: Dra. Marli Camassola. 2017. Mestrado (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) - Universidade de Caxias do Sul, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/handle/11338/3334>. Acesso em: 8 set. 2022.
- LEMÕES, Juliana Silva. **Produção de etanol de segunda geração a partir de *Arundo donax* L**. Orientador: Profa. Dra. Maria do Carmo Ruaro Peralba. 2017. 120 p. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Química) - Universidade do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Porto Alegre, 2017.
- LORENZI, Bruno Rossi *et al.* **O etanol de segunda geração no Brasil**. Políticas e redes sociotécnicas, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/3410014/2019>. Acesso em: 8 set. 2022.
- LUCARINI, A. C.; DELQUIARO, A. C. T.; VIDOCA, L. C. P. T.; BRAZ, R.; MARTINS, R. M.; ALVES, T. P. ESTUDO DA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA PALHA DA CANA DE AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa/MG, BR, v. 3, n. 2, p. 242–253, 2017. DOI: 10.18540/jcecvl3iss2pp242-253. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2446941603022017242>>. Acesso em: 2 set. 2022.

MACHADO, Nélio & Cordeiro, Marcio. (2016). ESTUDO DA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO CAROÇO DE AÇAÍ (*Euterpe oleraceae* Mart) PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL.

MARTINS, Camila Zanetoni. **Avaliação Da Produção de Etanol de Segunda Geração**. Orientador: Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro. 2018. Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2018.

MARTINS, Fernanda de Araújo; MARTIM, Thamara; CORRÊA, Andressa Maria; OLIVEIRA, Faberson Ferreira. 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. 10-1, jul-dez. 2014.

MELO, Nicholas Rocha. **Etanol 2G: Processo Produtivo e Contexto Atual no Brasil**. 2020. Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, [s. l.], 2020.

Morais, P. P; Pascoal, P. V; Rocha, E. de Sá; Martins, E. C. A. **Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas**. bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p. 45-57, jan./jun. 2017.

MORO, Mariana Kuster. **Pré-tratamento da Biomassa de Cana-de-Açúcar por Extrusão com Dupla-roscas**. 2015. 119 p. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MURAKAMI, L. S. N. A.; BOMBANA, G. A.; AFFONSO, G. S. Processo produtivo do etanol de segunda geração usando bagaço de cana-de-açúcar. In: X EEPa – Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, **Anais**. 2016. p. 3-1

NOVACANA, **Contextualização histórica do etanol**. [S. l.], 16 ago. 2014. Disponível em: <<https://www.novacana.com/estudos/contextualizacao-historica-do-etanol-120913>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

NOVACANA, **Processos de fabricação do etanol**. [S. l.], 12 dez. 2012. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao>>. Acesso em 20 ago. 2022.

PACHECO, T. F. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?** 1. ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2011. p. 2

PROPEQ, **Etanol de segunda geração: o combustível do futuro?** [S. l.], 23 jul. 2020. Disponível em: <<https://propeq.com/etanol-de-segunda-geracao/>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SANTOS, Fernando A. *et al.* **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025> . Acesso em: 09 de set. de 2022.

SILVA, Milene Pedro. **Produção de etanol na usina caeté s/a - unidade Marituba.** Orientador: Prof.^a Ma. Cleyla Janey Peixoto Calheiros. 2019. 53 p. Conclusão de Curso (Técnico em Açúcar e Álcool) - Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, IFAL, 2019.

UNIFESP, **Uso de bagaço da cana abre novas possibilidades**, 2013. Disponível em <<https://www.unifesp.br/edicoes-antiores-entreteses/item/2280-uso-de-bagaco-da-cana-abre-novas-possibilidades>>. Acesso em: 10 de ago. de 2022.

VÁSQUEZ, M. P. **Desenvolvimento de processo de hidrólise enzimática e fermentação simultâneas para a produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar.** 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.