

GERAÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS

Igor Alves de Carvalho¹, Ranulfo Pereira², João Vitor Penariol Leite ³, André Luis Bonaventura³.

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica/Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acacias - 12228-904 - São José dos Campos - SP, igoriac@ita.br.

²BRA Energy – Bioenergias e economia circular Ltda - startup incubada no NEXUS Hub de Inovação do PIT - Parque de Inovação Tecnológico de São José dos Campos – SP em 2021, Estrada Dr. Altino Bondensan, 500 - 12247-016 - Eugênio de Melo, São José dos Campos - SP, braspenenergy@gmail.com.

³Dirac Energia Ltda – startup incubada no UPLab-SENAI no Parque de Inovação Tecnológico de São José dos Campos-SP, Estrada Dr. Altino Bondensan, 500 - 12247-016 - Eugênio de Melo, São José dos Campos - SP, joaopenariol@diracenergia.com, andre@diracenergia.com.

Resumo

Neste Projeto de Revisão, investigamos as fontes renováveis que ganham força como alternativa às fontes fósseis e que contribuem para a emissão de gases de efeito estufa. No Brasil, fontes renováveis representam cerca de 45% da geração de energia, com destaque para os biocombustíveis. A geração de energia limpa é crucial, especialmente no setor automotivo, responsável por 20% das emissões globais de CO₂. Alternativas como o bioetanol, produzido pela gaseificação de resíduos vegetais, são promissoras. O bioetanol de primeira geração, feito a partir do caldo da cana-de-açúcar, tem tecnologias de processamento maduras. Já o etanol de segunda geração, produzido do bagaço e palha da cana, materiais antes utilizados apenas para cogeração de energia, vem ganhando interesse no setor sucroalcooleiro, pois possuem dois terços do potencial energético da planta. Este trabalho revisa a literatura sobre o potencial do etanol de segunda geração, descrevendo as etapas de seu processo produtivo, vantagens, desvantagens e desafios.

Palavras-chave: Descarbonização. Matriz Energética. Etanol Lignocelulósico. Bioetanol. Aproveitamento Energético.

Área do Conhecimento: Engenharia Química

Introdução

A queima de combustíveis, especialmente os de origem fóssil, como a gasolina ou óleo diesel emitem gases causadores do efeito estufa, em particular: dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Por esse motivo, o setor automotivo global é responsável por 20% de toda a emissão de CO₂ na atmosfera, tornando-se necessário desenvolver tecnologias que promovam a descarbonização, ou seja, que emitam menos gases nocivos ao meio ambiente. Considerando apenas o transporte rodoviário no Brasil, os sistemas de ônibus, que respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e mais de 95% dos deslocamentos intermunicipais, são responsáveis por apenas 7% das emissões totais de CO₂. Os automóveis e comerciais leves, com menos de 30% de participação no total de viagens realizadas, contribuem com metade das emissões desse poluente (IPEA 2020).

Visando à minimização dos impactos ambientais ocasionados pelos combustíveis de origem fóssil, os biocombustíveis apresentam duas importantes vantagens: sua aplicação permite reduzir as emissões de gás carbônico para a atmosfera, contribuindo diretamente para o não agravamento do efeito estufa, e são conhecidos por ser ecologicamente favoráveis, uma vez que liberam 50% menos material particulado e 98% menos enxofre, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (NUNES et al., 2013). Segundo as projeções da International Energy Agency (IEA), a demanda mundial por biocombustíveis deverá crescer de forma muito acentuada nas próximas décadas, representando, entre 4% a 8% do total consumido pelo transporte rodoviário em 2030 (ROSA; GARCIA, 2009).

No Brasil, a produção de etanol de cana de açúcar, porém, utilizando o bagaço de cana é denominado de Bioetanol, também conhecido como Etanol de Segunda Geração (E2G). O E2G é um combustível obtido através da fermentação controlada e da destilação de resíduos vegetais tem ganhado escala nas usinas de etanol. Além de tornar o processo mais eficiente, o coquetel impacta diretamente no custo do produto final (FINEP 2020). É importante frisar que o Brasil foi pioneiro no uso de biocombustíveis e tem um enorme potencial neste setor.

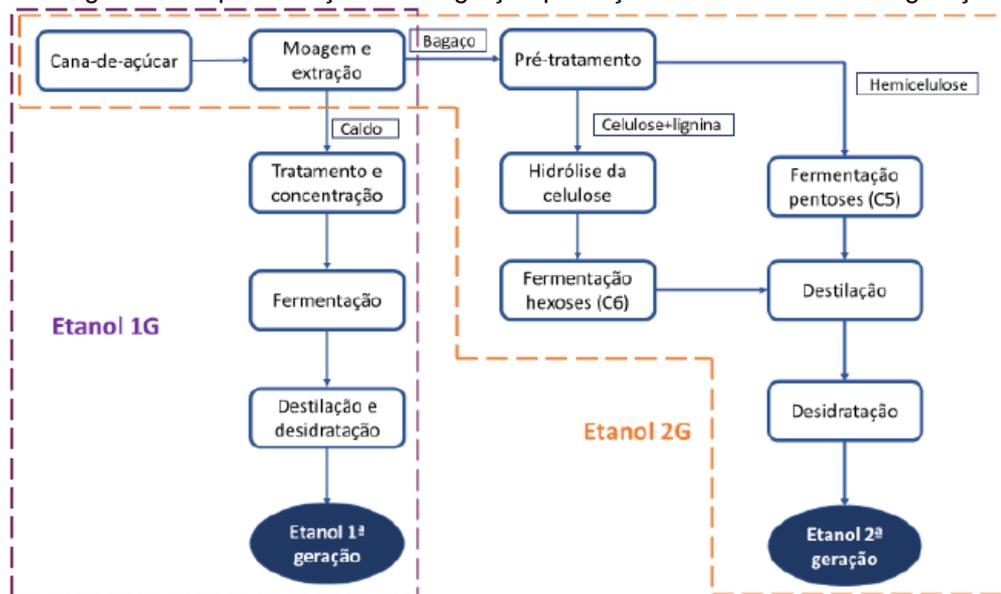
Metodologia

A abordagem metodológica deste trabalho é caracterizada como exploratória e descritiva. O trabalho foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico puramente teórico sobre o tema, buscando caracterizar de fato uma pesquisa. Contudo, a ênfase do projeto será a inovação de produção de E2G, ou seja, aquele biocombustível obtido a partir do reaproveitamento do bagaço de cana de açúcar, que antes, era dedicado para produção de energia (cogeração) ou adubo. A fonte de pesquisa para os artigos selecionados foi o Scopus, e o critério de seleção considerou os autores mais relevantes, além do ano de publicação, já que o tema investigado está na fronteira do conhecimento e no estado da arte.

Resultados

Segundo a literatura (MOTA; MONTEIRO, 2013; ANP, 2016a; MONTES, 2017; BNDES, 2016 e PITARELO et al., 2012) o E2G, também chamado de bioetanol, etanol verde ou etanol celulósico, é um biocombustível avançado, feito a partir dos resíduos restantes do processo de fabricação do etanol comum, isto é, Etanol de Primeira Geração (E1G) e do açúcar. A figura 1 representa o processo de produção do E2G a partir do E1G. O E2G utiliza biomassa vegetal lignocelulósica, reaproveitando resíduos vegetais, como palha, folhas, bagaço, cavaco, entre outros. Os processos de produção são diferentes, mas os usos são os mesmos (ANP, 2016b).

Figura 1 - Representação da integração produção do etanol de 1ª e 2ª geração



Fonte: adaptado de (ANP, 2016ab)

Dessa forma, a produção de E2G apresenta várias vantagens, a citar:

a) A baixa emissão de carbono (footprint): é uma medida que avalia quanto um processo produtivo emite de carbono (CO₂) ou outro gás equivalente na atmosfera. O E2G tem uma pegada de carbono 30% menor quando comparado ao E1G, e até 80% menor do que combustíveis fósseis, como a gasolina. Devido às recentes políticas que incentivam soluções energéticas sustentáveis, produtos com baixa pegada de carbono são valorizados e ganham um valor de mercado diferenciado, literalmente um prêmio monetário. No caso de empresas, o prêmio médio é de 70% sobre o valor do E1G - mas a companhia já chegou a registrar variações de 90% entre os tipos de etanol de 1ª e 2ª geração (RAIZEN, 2024).

b) Reaproveitamento de resíduos: Por utilizar os subprodutos do etanol comum e do açúcar, o E2G leva ao maior aproveitamento energético da planta (cana-de-açúcar), o que resulta em uma maior eficiência agrícola. Ainda, traz vantagem logística para a empresa fabricante e contribui com a economia circular.

c) Aumento da produtividade: Como o E2G possui a mesma composição química e usos que o E1G, é possível aumentar sua produtividade em até 50%, sem aumentar o tamanho da área plantada, já que não é preciso nenhuma cana-de-açúcar a mais para produzir o novo combustível.

d) Por fim, o E2G soluciona uma disputa presente no setor agroenergético sobre o uso da terra para produção de alimentos. Assim, a área de plantio utilizada traz resultados econômica e socialmente favoráveis.

d) Protagonismo e liderança brasileira: O Brasil está em posição de destaque na produção do biocombustível com relação a outras nações, o que contribui para o desenvolvimento do país e o coloca como um dos representantes do mercado mundial de E2G. O mercado internacional paga um “prêmio” pelo E2G, que pode chegar ao dobro do preço do E1G, por ter uma pegada de carbono menor, além de ser considerado como um produto que não compete com a produção de alimentos. Os empresários enxergam no E2G uma das maiores apostas para a transição para a economia de baixo carbono. Esse é o conceito da economia circular, que é aproveitar o resíduo para fazer um novo produto (RAIZEN, 2024).

Segundo a liderança de várias empresas do setor energético do Brasil para área de biocombustíveis, as companhias estão conversando “ativamente” com produtores de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) para fornecer o E2G como insumo, sobretudo na Europa, mas o setor não pode anunciar nenhuma parceria. O que se pode dizer é que esse é um mercado de curto prazo. Ao todo, o plano de negócios de empresa do setor sucroalcooleiro tem a previsão de 20 unidades de E2G até 2031. A capacidade de produção total do E2G será por volta de 1,6 bilhão de litros por ano. As empresas estão aumentando a produção de etanol sem diminuir a produção de alimentos (RAIZEN 2024).

Além das pesquisas em combustíveis sustentáveis, também estão em andamento estudos sobre motores a combustão que utilizam o Bioetanol como combustível alternativo para propulsão e também no ramo aeronáutico para a produção de SAF (ANP, 2016b).

Por fim, fazemos uma revisão em conceitos relevantes do Estado da Arte, sendo:

i) Material lignocelulósico: Biomassa é denominada como todo recurso renovável oriundo da matéria orgânica ou como qualquer matéria de origem vegetal que dispõe de bioenergia e que quando processada fornece formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para o uso final como no caso do bagaço de cana-de-açúcar (SILVA, 2010). Os lignocelulósicos são os materiais orgânicos mais abundantes da biosfera, compondo aproximadamente 60% da biomassa vegetal. Podem ser divididos em seis grupos principais: resíduos de colheitas (bagaço de cana e palha de milho), madeira de lei (álamo e álamo alpino), madeira de conífera (pinheiro e abeto), resíduos celulósicos (lodo de papel, papel reciclado e jornais), biomassas herbáceas (feno de alfafa e caníço-malhado) e resíduos sólidos municipais. Principal subproduto da indústria da cana, o bagaço é um resíduo lignocelulósico e que representa cerca de 28% do peso da cana-de-açúcar em base seca, e é composto de 44,6% de carbono, 44,5% de oxigênio, 5,8% de hidrogênio, 0,6% de nitrogênio, 0,1% de enxofre e 4,4% de outros elementos. Quando úmida, possui mais de 20% de hexoses e 10% de pentoses (MONTES, 2017).

ii) Pré-tratamento: Os principais objetivos do pré-tratamento têm a função de reduzir o grau de cristalinidade da celulose, dissociar o complexo celulose-lignina, aumentar a área superficial da biomassa, preservar as pentoses maximizando rendimentos em açúcares e evitar ou minimizar a formação de compostos inibidores do processo, tanto na etapa de hidrólise quanto na etapa de fermentação (RABELO, 2010).

iii) Hidrólise: As matérias-primas de origem lignocelulósica, discutidas anteriormente, contêm de 20 a 60% de celulose, que pode ser totalmente convertida à glicose, por ação enzimática. Esta molécula se caracteriza por ser um monossacarídeo utilizado pela maioria dos microrganismos, fazendo dela uma espécie de tijolo para a construção de uma variedade de moléculas, que vai de combustíveis a polímeros. Na primeira etapa do processo enzimático, a biomassa lignocelulósica é pré-tratada com o objetivo de tornar o material mais acessível ao ataque enzimático. Durante o pré-tratamento, a hemicelulose é hidrolisada em um processo semelhante ao primeiro passo da hidrólise com ácido diluído. No segundo passo, a hidrólise propriamente dita, a celulose é quebrada por ação das celulases, que permitem que o processo seja realizado em condições mais brandas do que a hidrólise ácida.

Conseqüentemente, uma menor quantidade de subprodutos é liberada, o que oferece a vantagem de obter altos rendimentos de açúcares, com pouca degradação. Porém, para atingir uma alta conversão da celulose, é necessário ter altas concentrações de enzimas, o que aumenta o custo (RABELLO, 2010).

iv) Fermentação dos hidrolisados lignocelulósicos: A fermentação é um processo de obtenção de energia utilizado por algumas bactérias e leveduras. Se inicia com a glicólise - ruptura da molécula de glicose - em piruvato, que em seguida é transformado em algum outro produto, como o álcool etílico ou lactato, definindo fermentação alcoólica ou láctica, respectivamente. Na primeira reação, o piruvato sofre a descarboxilação em uma reação irreversível catalisada pela enzima piruvato descarboxilase. Na segunda reação, devido a ação da enzima álcool desidrogenase, o acetaldeído é reduzido a etanol, na presença do NADH - transportador de elétrons hidrossolúveis. Portanto, a levedura transforma glicose em etanol e gás carbônico, e não em lactato.

O processo de fermentação alcoólica é a via mais importante de obtenção de etanol, tanto para a produção de E1G quanto E2G. A seguir, a Tabela 1, apresenta um comparativo entre as fermentações dos processos de primeira e segunda geração.

Tabela 1: Comparativo entre fermentações de 1ª e 2ª gerações. Fonte: o autor.

	Fermentação 1G	Fermentação 2G
Matéria-prima	Caldo da cana	Bagaço e palha
Açúcares fermentados	Hexoses	Hexoses e pentoses
Tecnologias	Convencional	Avançada
Inibição	Baixa	Média
Tempo de reação	Baixo	Médio
Enzimas	Ausentes	Presentes
Consumo de energia	Baixo (autossuficiente)	Baixo (autossuficiente)

Fonte: adaptado de (RAIZEN, 2024)

Discussão

A cada ano, surgem novas pesquisas e investimentos em tecnologias para alavancar os biocombustíveis, em especial E1G e E2G, que são produtos importantes para o setor sucroenergético e para a economia brasileira. Projeções apontam que o E2G poderá ser mais viável economicamente a partir de 2025 e se igualar a produção de E1G em 2030. É esperada uma ampliação do consumo mundial de etanol, sendo que o nível de aceitação de bioetanol está crescendo em diversos países. O E2G tem grande potencial competitivo, não é apenas uma solução para reduzir o volume de gasolina importada pelo Brasil, mas também uma alavanca de exportações, além de impulsionar um ciclo de investimentos na química renovável. Nesse sentido, o Brasil é uma grande porta de entrada para o consumo de E2G pelo mercado global.

Conclusão

A diversificação da matriz energética mundial tornou-se fundamental em virtude da crescente demanda por energia. Sendo assim, o desenvolvimento econômico dos países que possuem a agroindústria do etanol consolidada, tem sido voltado para a obtenção de biocombustíveis sem aumento da área plantada. Isso é possível quando subprodutos do agronegócio em geral, passam a ter aplicação como insumos industriais, a chamada biorrefinaria ou mesmo produção de E2G.

Referências

ANP. Biocombustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>

ANP. Biocombustíveis de Aviação. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biocombustiveis-de-aviacao>.

BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. 2011.

BNDES. Etanol 2G: inovação em biocombustíveis. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol-2g-inovacao-biocombustiveis>.

EMBRAPA. Contextualização, mercado e gargalos de P&D do etanol lignocelulósico. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 35, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1054229/contextualizacao-mercado-e-gargalos-de-pd-do-etanol-lignocelulosico>.

FINEP. Termos e conceitos em ciência e tecnologia. Disponível em: http://www.finep.gov.br/empresa/conceitos_ct.asp. Acessado em: ago 2024.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Relatório econômico. Brasília: Ipea; IBGE, 2020.

MONTES, A. C. R. Avaliação do processo de obtenção de etanol de 2ª geração utilizando bagaço de cana. 2017. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MOTA, C. J. A.; MONTEIRO, R. S. Química e Sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. Química Nova, v. 36, n. 10, p. 1483–1490, 2013.

NUNES, R. DE M. et al. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. Revista Liberato, v. 14, n. 22, p. 135–150, 2013.

PITARELO, A. P. Produção de etanol celulósico a partir do bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor. 2013. Tese (doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RABELO, S. C. Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração. 2010. Tese (doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

RAIZEN. Etanol de segunda geração: potencial e oportunidades. RAIZEN. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol-de-segunda-geracao>. Acesso em: 13 set. 2024.

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

SILVA, N. L. C. Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose. 2010. Tese (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Agradecimentos

A startup Dirac Energia agrade à FAPESP pelo apoio à PD&I via projeto PIPE-FAPESP, ao UpLab-SENAI, Parque Tecnológico de São José dos Campos e CPqD-Campinas e ITA.