

ANÁLISE ABRANGENTE DE BIOMASSAS DE REGIÕES SEMIÁRIDAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Yuri Uriel Cerqueira Gil Braz Moreira¹; Lilian Lefol Nani Guarieiro²; Carine Tondo Alves³.

¹ Mestrando em Gestão e Tecnologia Industrial; Bolsista Mestrado PRH – ANP; yuri.gil@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador – BA; lilian.guarieiro@fieb.org.br

³ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; Feira de Santana – BA; carine.alves@ufrb.edu.br

RESUMO

Este estudo analisa o potencial de diferentes biomassas oriundas de regiões semiáridas para a produção de etanol de segunda geração (E2G), com foco no nordeste brasileiro. Utilizando uma abordagem bibliométrica, foram identificados padrões emergentes na pesquisa científica da última década. A análise revelou biomassas promissoras, como Sorgo sacarino, Agave, Alcachofra de Jerusalém, Algaroba, Cártamo e Nopal, com rendimentos significativos de etanol. Esses resultados contribuem para uma compreensão mais profunda das dinâmicas de pesquisa na produção de bioetanol em regiões semiáridas, fornecendo insights cruciais para o desenvolvimento de uma matriz energética mais sustentável e eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Energia sustentável; Resíduos lignocelulósicos; Biocombustíveis; Análise bibliométrica.

1. INTRODUÇÃO

A produção de etanol de segunda geração (E2G) a partir de biomassa diversificada, especialmente em regiões semiáridas, tem se tornado cada vez mais relevante. No Brasil, as características climáticas desempenham um papel crucial na produção de bioetanol, com a cana-de-açúcar e o milho emergindo como as principais fontes de matéria-prima. O país possui um clima variado, favorecendo o cultivo dessas culturas e possibilitando o desenvolvimento sustentável da indústria de biocombustíveis.

De acordo com o relatório da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), o Brasil tem apresentado indicadores positivos de produtividade do etanol nos últimos dez anos, principalmente devido à inclusão do milho como fonte de matéria-prima. A produção de etanol no Brasil é notável, destacando-se em comparação com outros países devido às condições climáticas favoráveis. Chuvas bem distribuídas e temperaturas moderadas nas regiões centro-sul e sudeste criam um ambiente ideal para o cultivo dessas culturas.¹

No entanto, quando consideramos a produção de bioetanol no Nordeste do Brasil, nos deparamos com um cenário singular e desafiador. Essa região é conhecida por seu clima semiárido, caracterizado por chuvas escassas e irregulares. Essas condições climáticas têm um impacto significativo na produção de bioetanol na região. A cana-de-açúcar, uma cultura predominante no Brasil para a produção de etanol, enfrenta desafios no Nordeste devido à escassez de chuvas. No entanto, as condições climáticas peculiares do Nordeste estimularam a pesquisa e o desenvolvimento de culturas mais resistentes à seca.²

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma avaliação dos tipos de biomassa gerados em regiões semiáridas, com foco na região nordestina do Brasil, visando à produção de etanol de segunda geração (2G). Essa abordagem busca explorar alternativas viáveis e sustentáveis para a produção de biocombustíveis, considerando as particularidades climáticas da região.

2. METODOLOGIA

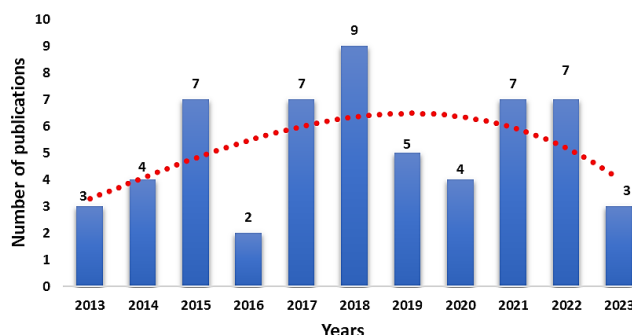
A pesquisa foi desenvolvida através de uma análise bibliométrica visando identificar tendências de áreas de colaboração e padrões emergentes da última década, até novembro de 2023, desse domínio científico. A base de dados utilizada foi a *Web of Science (WoS)*, atribuindo descritores, em quatro categorias, (I) Produto: “Etanol 2ª geração”, “Bagaço”, “Etanol”, (II) Clima: “Semiárido”, “Árido”, (III) Equipamento: “Biorreator” e “Fermentador”, (IV) Processo: “Pré-tratamento”, “Fermentação”, “Destilação”, “Hidrólise”, “Sacarificação”, “Adsorção”, com ênfase na produção de etanol e biocombustíveis de segunda geração (2G). Utilizando operadores booleanos “AND” e “OR” para a elaboração da frase de pesquisa, foram elaboradas múltiplas combinações entre as categorias.

Quanto aos tipos de documentos, o foco limitou-se aos artigos, abrangendo pesquisas, conferências e resenhas, encontrados no WoS. Restringindo os critérios de pesquisa à títulos, palavras-chave de autores e palavras-chave permitiu uma seleção de resultados mais precisa e relevante. A análise dos resultados foi realizada por meio do software *VOSviewer*, o que facilitou a compreensão da segmentação dos grupos temáticos e a visualização dos *clusters* envolvidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

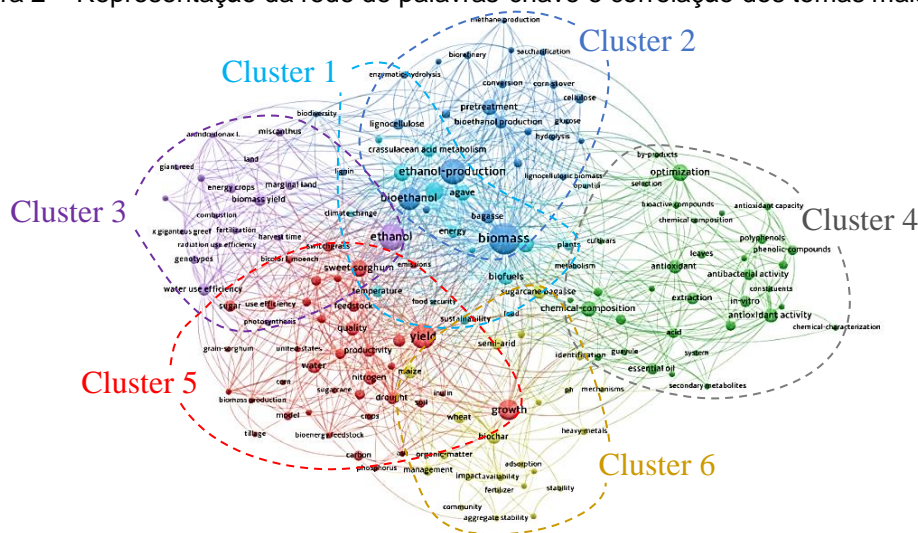
A pesquisa analisou 313 publicações da base de dados WoS, destacando 58 (18,65%) que cumpriram o critério de pelo menos três co-ocorrências temáticas. A Figura 1 ilustra um aumento nas publicações sobre biocombustíveis em 2017, possivelmente relacionado ao início do RenovaBio no Brasil. O interesse permaneceu alto em 2018, influenciado pelas metas renováveis da União Europeia e pela política de biocombustíveis da Índia. Em 2019, houve uma queda devido à pandemia. De 2021 a 2023, o interesse se estabilizou, embora a diminuição das publicações em 2023 possa indicar mudanças ou ajustes no setor de biocombustíveis.

Figura 1 - Distribuição quantitativa de publicações sobre etanol 2G de biomassas da região semiárida e árida.



Para examinar os focos temáticos e abordagens predominantes nas publicações, construiu-se uma rede de palavras-chave baseada em 223 artigos (representando 71% do total) selecionados do banco de dados WoS. Entretanto, somente 166 desses artigos apresentaram pelo menos três menções de palavras-chave, resultando em uma rede que permite uma visualização clara dos tópicos mais relevantes, conforme ilustrado na Figura 2. A rede foi organizada em seis *clusters* distintos.

Figura 2 – Representação da rede de palavras-chave e correlação dos temas mais pertinentes.



A pesquisa identifica várias biomassas como tendências promissoras na produção de etanol de segunda geração em regiões semiáridas. Apresentado em sua maioria pela pesquisa, fica evidente que o pré-tratamento eficaz é essencial para a hidrólise enzimática e a bioconversão de biomassas lignocelulósicas (LCB) em biocombustíveis e produtos bioquímicos.⁵ Existe uma enorme diversidade genética nas variedades de *Sorghum bicolor*, e foram relatadas algumas variedades de *Sweet Sorghum* (SS) que produzem rendimentos semelhantes aos da cana-de-açúcar.⁷ O plantio de SS do início de junho ao início de julho permite que mais matéria-prima seja colhida e, portanto, estende o período de operação da usina de açúcar em cerca de 1 mês, confirmando a viabilidade de inserção da cultura do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar.³ Para o Agave, o rendimento médio de etanol é de aproximadamente 43,7 g/L. *Saccharomyces cerevisiae* é o organismo metanogênico mais empregado. Tecnologias inovadoras de pré-tratamento, como a utilização de CO₂ e H₂O em alta pressão e líquidos iônicos, foram aplicadas com êxito em resíduos de agave.⁵ Os estudos indicaram que a Alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus*) tem potencial para produzir etanol a partir de sua biomassa aérea, com rendimento comparável a outras fontes celulósicas usadas na fabricação de bioetanol. A planta pode ser uma alternativa viável de matéria-prima para a produção de bioetanol, oferecendo uma colheita de custo eficiente em comparação ao seu tubérculo.⁶

Além disso, a Algaroba (*Prosopis Juliflora*), Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Nopal (*Opuntia ficus-indica*) estão emergindo como novas tendências na produção de etanol. Duas espécies de *S. cerevisiae* e uma de *Pichia* foram capazes de usar hidrolisados de *Prosopis juliflora* para produzir etanol, tanto em monoculturas quanto em co-culturas.⁸ A combinação de hidrolisados ácidos e enzimáticos, suplementados com nutrientes, se mostrou eficaz como substrato para a produção de etanol.⁴ Estudos indicam que a viabilidade econômica para o Cártamo se torna mais rentável ao fermentar açúcares de pentoses e hexoses usando *Zymomonas mobilis* produzido na região, em contrapartida, a fermentação exclusiva de hexoses empregando *S. cerevisiae* não se mostra igualmente rentável.⁴ Identificado um método de hidrólise ácida aprimorado para extrair açúcares de cladódios do cacto *Opuntia ficus-indica*. A otimização conduziu à eficiente obtenção de açúcares redutores, destacando-se a galactose, arabinose, glicose e xilose, e beneficiou-se das propriedades vantajosas da planta como alta umidade e baixo teor de lignina.⁹

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa salienta a importância de expandir o leque de matérias-primas para biocombustíveis, especialmente em regiões com limitações hídricas, onde culturas tradicionais podem não ser tão viáveis. O pré-tratamento eficiente de biomassas lignocelulósicas é um pilar central para liberar açúcares fermentescíveis, essenciais na produção de etanol. A diversidade genética do sorgo sacarino, com sua capacidade de se adaptar a diferentes condições climáticas e de solo, surge como uma alternativa robusta que pode alavancar a indústria de biocombustíveis, ao mesmo tempo em que oferece a possibilidade de prolongar o ciclo produtivo das usinas. As inovações tecnológicas no pré-tratamento de resíduos de agave representam um avanço significativo, mostrando que a aplicação de métodos inovadores pode melhorar a eficiência dos processos de bioconversão, entretanto, não muito sustentáveis.

Além disso, a Alcachofra de Jerusalém é identificada como uma cultura com grande potencial para produção de etanol, devido ao seu baixo custo de cultivo e à possibilidade de aproveitamento da biomassa aérea, o que pode representar uma alternativa interessante para áreas onde o cultivo de alimentos é prioritário. As novas fontes de biomassa, como Algaroba, Cártamo e Nopal, não apenas demonstram potencial econômico, mas também trazem benefícios ambientais, como a necessidade de menos água e a capacidade de crescer em solos menos férteis. Essas descobertas evidenciam que o futuro da produção de biocombustíveis de segunda geração é promissor e que a diversificação de matérias-primas, aliada a avanços tecnológicos e estratégias de cultivo adaptativas, pode desempenhar um papel crucial na transição energética para fontes mais sustentáveis.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para o sucesso deste trabalho. Meu reconhecimento vai para o Centro Universitário SENAI CIMATEC e para a FINEP, por meio do programa PRH 27.1 da ANP, pelo apoio financeiro fornecido.

5. REFERÊNCIAS

- ¹Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2022 / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2024.
- ²AGUIAR, C. D. J.; SOUZA, P. M. D. **Impactos do crescimento da produção de cana-de-açúcar na agricultura dos oito maiores estados produtores.** Revista Ceres, v. 61, n. 4, p. 482–493, ago. 2014.
- ³DA SILVA, T. M. et al. **Potential of Sweet Sorghum Juice as a Source of Ethanol for Semi-arid Regions: Cultivars and Spacing Arrangement Effects.** Sugar Tech, v. 21, n. 1, p. 145–152, fev. 2019.
- ⁴KHOUNANI, Z. et al. **Techno-economic aspects of a safflower-based biorefinery plant co-producing bioethanol and biodiesel.** Energy Conversion and Management, v. 201, p. 112184, dez. 2019.
- ⁵KUMAR, A.; RAM, C. **Agave biomass: a potential resource for production of value-added products.** Environmental Sustainability, v. 4, n. 2, p. 245–259, jun. 2021.
- ⁶LIU, Z. X. et al. **Chemical composition and potential ethanol yield of Jerusalem artichoke in a semi-arid region of China.** Italian Journal of Agronomy, v. 10, n. 1, p. 34–43, 17 mar. 2015.
- ⁷RATNAVATHI, C. V. et al. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 7, p. 947–952, jul. 2010.
- ⁸NASEERUDDIN, S.; DESAI, S.; VENKATESWAR RAO, L. **Co-culture of *Saccharomyces cerevisiae* (VS3) and *Pichia stipitis* (NCIM 3498) enhances bioethanol yield from concentrated *Prosopis juliflora* hydrolysate.** 3 BIOTECH, v. 11, n. 1, p. 21, jan. 2021.
- ⁹TEXCO, A. et al., 2018. **Optimization of the acid hydrolysis of cladodes of *Opuntia ficus-indica* by response surface methodology.** Revista Mexicana de Ingeniería Química, 17(3). Disponível em: <<https://10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n3/texco>>. Acesso em: 04 de março de 2024.