

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DA FERMENTAÇÃO DA BETERRABA VERMELHA (*BETA VULGARIS L.*)

THALIA SILVA DE SOUZA¹; MAELE COSTA DOS SANTOS²; MARCOS PAULO MACHADO³; DAVI KUNDE LEMKE⁴; ROBERTO CALDEIRA⁵; WILLIAN CÉZAR NADALETI⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – thaliadepp@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – maeledossantoseq@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – marcos.machado@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – daviklemke@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – roberto_caldeira@live.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – williancezarnadaletti@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, impulsionadas pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), são um dos maiores desafios ambientais da atualidade (IPCC, 2021; SMITH et al., 2020). Essas emissões, principalmente derivadas do uso de combustíveis fósseis, trazem sérias consequências para o meio ambiente, a saúde humana e a economia (JONES & WILLIAMS, 2019; BROWN, 2018).

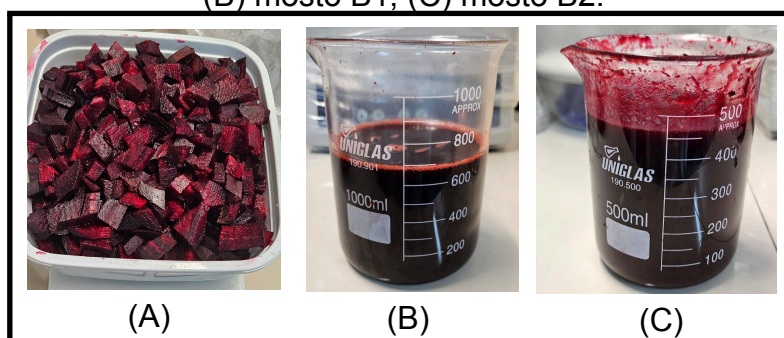
Para mitigar esses impactos, alternativas energéticas mais sustentáveis, como as energias renováveis, têm ganhado destaque, como é o caso do bioetanol, um biocombustível produzido a partir de biomassas como cana-de-açúcar e milho, além de outras matérias primas ricas em açúcares. Segundo GOLDEMBERG (2007), o bioetanol é uma fonte de energia limpa e renovável, emitindo menos dióxido de carbono durante sua queima em comparação aos combustíveis fósseis. Entre as diversas matérias-primas potenciais, a beterraba vermelha (*Beta vulgaris L.*) se destaca por seu alto teor de açúcares e facilidade de cultivo, sendo uma candidata promissora para a produção de etanol.

A produção de etanol a partir da beterraba vermelha também está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 7, que busca garantir o acesso à energia limpa e acessível, e o ODS 13, que trata da ação contra as mudanças climáticas. Desse modo, o estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da beterraba vermelha como matéria-prima para produção do bioetanol, comparando o rendimento de mostos preparados com beterraba crua e cozida e avaliando as diferenças no processo de produção.

2. METODOLOGIA

Realizou-se a preparação de dois mostos distintos, B1, utilizando a beterraba crua, e B2, utilizando beterraba cozida. Em ambos os preparos, foram utilizadas 500g de beterraba vermelha, previamente lavadas e cortadas em cubos (Figura 1(A)). As beterrabas foram trituradas com 400ml de água, formando uma mistura homogênea. No caso do mosto B1, a mistura foi coada após o processamento, separando o sumo das partículas sólidas. Já para o mosto B2, a beterraba foi cozida previamente por cerca 20 minutos antes de serem trituradas, formando uma pasta homogênea (Figura 1(B) e Figura 1(C)).

Figura 1. Preparação dos mostos: (A) beterrabas vermelhas cortadas em cubo; (B) mosto B1; (C) mosto B2.

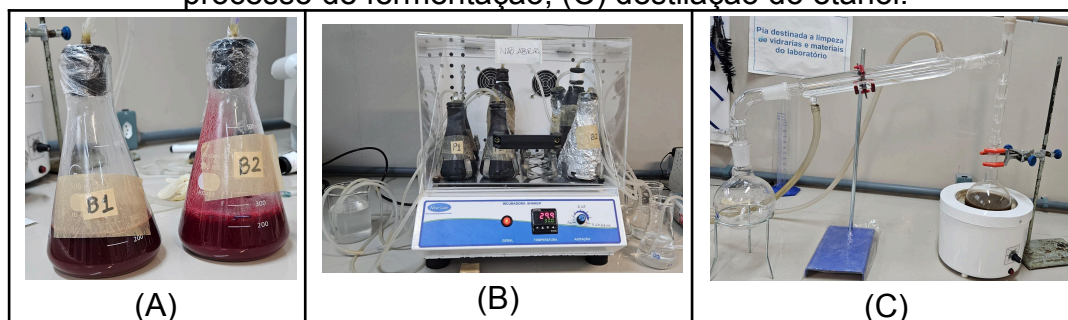


Ambos os mostos (B1 e B2) foram transferidos para reatores de vidro, revestidos por papel alumínio para evitar a passagem de luz. Nos dois reatores utilizados, contendo 220 ml de cada mosto, foi adicionado a levedura *Saccharomyces cerevisiae* na concentração de 30 g/L para promover a fermentação (Figura 2(A)). Os reatores foram adaptados com um sistema de mangueiras para expelir o CO₂ formado, sem que o mesmo entrasse em contato com o meio fermentativo. (TOCHETTO, 2021). Posteriormente, os reatores foram transferidos para a incubadora *shaker*, mantidos a 30°C, sob agitação constante por 14 dias (Figura 2(B)).

As amostras de cada mosto foram submetidas a análises de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (TDS), pH e °Brix, antes e após a fermentação, para caracterizar as propriedades físico-químicas de cada mosto e entender a relação desses parâmetros com o rendimento de etanol.

Após a fermentação, o líquido fermentado foi submetido ao processo de destilação para a extração do etanol (Figura 2(C)). Durante a destilação, a temperatura do vapor foi monitorada utilizando um termômetro acoplado ao destilador, ajustando-se o aquecimento para manter a temperatura em 78,5°C, correspondente ao ponto de ebulição do etanol.

Figura 2. Processo de obtenção do etanol: (A) mostos antes da fermentação; (B) processo de fermentação; (C) destilação do etanol.



Ao final da destilação o rendimento do etanol foi calculado com base no volume de etanol produzido em relação ao volume total de mosto fermentado, conforme mostrado na Equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \left(\frac{\text{Volume de etanol produzido}}{\text{Volume total do mosto inicial}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

Volume de etanol produzido corresponde ao volume de etanol obtido após a destilação.
Volume total do mosto inicial refere-se ao volume de mosto utilizado na fermentação.

Como uma alternativa para confirmar a existência de etanol, o produto destilado passou por um teste de queima. Uma quantidade mínima de etanol foi disposta em uma superfície resistente ao fogo e uma fonte de ignição foi utilizada para início da combustão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as análises físico-químicas obteve-se a caracterização dos mostos de beterraba, conforme resultados expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físico-química dos mostos B1 e B2

	B1		B2	
	Pré fermentação	Pós fermentação	Pré fermentação	Pós fermentação
Açúcares (°Brix)	5°Brix	0°Brix	8°Brix	0°Brix
pH	5,7	4,4	5,6	4,8
Condutividade (µS/cm)	500	158	258	250
TDS (ppm)	250	77	133	126
Rendimento em etanol(%)	3,31		3,9	

Os resultados apresentados na tabela 1 indicam que 3,31 do mosto B1 (beterraba crua) e 3,9% do mosto B2 (beterraba cozida) foram convertidos em etanol. O mosto B2 apresentou um teor de açúcares maior (8°Brix), o que sugere que o cozimento facilitou a liberação de açúcares, essenciais para fermentação (OTEGBAYO; AKWA; TANIMOLA, 2020).

Além disso, RAGHAVENDRA et al. (2017) destaca que o pré-tratamento térmico, como o cozimento, pode romper as estruturas celulares das beterrabas, aumento a disponibilidade de açúcares para a levedura, o que melhora o rendimento do etanol.

A destilação também apresentou diferenças significativas: o mosto B2, destilado a uma temperatura estável de 78°, gerou uma chama azul, confirmando a presença do etanol. Em contraste, o mosto B1, embora com odor de álcool, não produziu chama significativa, indicando o possível excesso de água. Isso sugere que o cozimento e a destilação mais eficiente do mosto B2 resultaram em um maior rendimento alcoólico e menor diluição.

Os resultados deste estudo estão ligados a dois Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Primeiro, com a ODS 7, que trata de energia limpa, a produção de etanol de forma mais eficiente, como no caso do mosto B2, pode ajudar a criar biocombustíveis mais sustentáveis. Isso é importante para reduzir o uso de combustíveis fósseis.

Segundo, com a ODS 9, focada em inovação, o uso de técnicas como o cozimento da beterraba melhora o rendimento de etanol, mostrando como a inovação pode tornar a produção de bioenergia mais eficiente e acessível.

4. CONCLUSÕES

Este experimento preliminar demonstrou que a beterraba vermelha é viável como substrato na produção de etanol, embora o rendimento ainda possa ser otimizado. Como o objetivo inicial foi testar a funcionalidade do processo, não se

deu ênfase à maximização do rendimento, mas sim à confirmação da viabilidade da matéria-prima.

Os resultados servirão de base para estudos futuros, nos quais será possível explorar o uso de bagaço e cascas da beterraba vermelha para produzir etanol de segunda geração e buscar uma produção mais eficiente, adaptando e corrigindo os pontos a serem melhorados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOLDEMBERG, J. (2007). Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, 315(5813),808-810.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**.

JONES, C. D., & WILLIAMS, M. (2019). *Fossil fuel emissions and their long-term effects on climate*. **Environmental Research Letters**, 14(3), 031004.

RAGHAVENDRA S., SWAMY, M.V., & LOKESH, K.S. (2017). Influence of pretreatment methods on sugar release and ethanol production from different lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, 244, 1191-1197. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.025

OTEGBAYO, B.O.; AKWA, I. M.; TANIMOLA, A. R. Physico-chemical properties of beetroot (*Beta vulgaris* L.) wine produced at varying fermentation days. **Scientific African**, V.11, 2020.

SMITH, J., BROWN, L., & JOHNSON, M. (2020). Climate Change and Its Impacts on Global Ecosystems. **Oxford University Press**.

TOCHETTO, F. D. (2021). Estimativa da produção de bioetanol por fermentação de beterraba vermelha. **Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)**.