

USO DE RESÍDUOS DE FRUTAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL EM BIORREATOR VISANDO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO COM APLICAÇÃO INDUSTRIAL

VITÓRIA DASSOLER LONGO^{1,2*}, HELEN TREICHEL^{2,3}

1 Introdução

A valorização de resíduos agroalimentares tem se destacado como uma estratégia promissora para reduzir os impactos ambientais do descarte e ampliar o aproveitamento de biomassa residual na obtenção de bioprodutos de valor agregado. Nesse contexto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU estabeleceram a meta de reduzir em 50% o desperdício alimentar per capita até 2030, incluindo as perdas pós-colheita e ao longo da cadeia de suprimentos (Bergström et al., 2020). O descarte inadequado desses resíduos sobrecarrega aterros e sistemas de tratamento, favorecendo a proliferação de patógenos e causando impactos ambientais e à saúde pública. Resíduos de frutas representam uma fração expressiva desse problema, com estimativas globais de 25 a 57 milhões de toneladas anuais (Solangi et al., 2021). Quando adequadamente valorizados, esses resíduos podem ser convertidos em bioprodutos de alto valor agregado, alinhando-se aos princípios da economia circular.

A fermentação anaeróbia destaca-se como alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, com vantagens operacionais, como menor demanda energética, configurações simplificadas de reatores e maior tolerância a oscilações do processo (Georgiou et al., 2024). O aproveitamento de resíduos agroindustriais como substratos reduz os custos com matéria-prima e contribui para a viabilidade econômica dos bioprocessos. Os resíduos de frutas apresentam composição rica em carboidratos fermentescíveis e em diversos compostos de interesse biotecnológico, tornando-se matérias-primas promissoras para a produção de metabólitos com potencial de aplicação industrial.

1 Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim, contato: vitorialongo22@gmail.com

2 Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos (LAMIBI)

3 Doutora em Engenharia de Alimentos, UFFS, campus Erechim, **ORIENTADORA**

Nesse contexto, o presente estudo avaliou a produção de bioetanol, a formação de metabólitos e as atividades enzimáticas durante a fermentação anaeróbia de resíduos mistos de frutas em biorreator de tanque agitado, utilizando *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2.

2 Objetivo

Avaliar a produção de bioetanol e as atividades enzimáticas durante a fermentação anaeróbia de resíduos mistos de frutas em biorreator de tanque agitado (STR), utilizando *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2.

3 Metodologia

As cascas de laranja, banana, manga, abacaxi e limão foram coletadas do restaurante universitário e armazenadas separadamente a -60°C . Posteriormente, o material foi seco em estufa com circulação de ar a 40°C por 48 horas e moído em moinho de facas até a granulometria de 20 mesh. O teor de umidade foi determinado por um analisador específico (Ohaus, modelo MB27), para padronização prévia dos ensaios (Treichel et al., 2020).

Os açúcares solúveis foram extraídos lavando 46,2 g de cascas mistas secas (9,24 g de cada fruta) com 500 mL de tampão citrato de sódio 0,05 M (pH 4,8), conforme protocolo previamente otimizado (Saldanha et al., 2025). A etapa visou recuperar açúcares solúveis com mínima presença de sólidos insolúveis, favorecendo o controle das condições fermentativas.

A cepa *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2 foi reativada em meio sólido YPD (extrato de levedura 1% m/v, peptona 2% m/v, glicose 2% m/v, ágar 2% m/v) por 72 horas, seguida de cultivo em meio líquido YPD por 24 horas em incubadora DBO. O inóculo foi padronizado para aproximadamente 1×10^6 UFC mL⁻¹ (Zanivan et al., 2022).

A fração líquida obtida foi transferida para um biorreator mecanicamente agitado, com volume de trabalho de 1,2 L, e esterilizado a 121°C por 20 minutos. Após estabilizar a temperatura em 30°C , o meio foi inoculado a 10% (v/v). A fermentação foi conduzida a 30°C e 150 rpm, sem aeração, após o estabelecimento das condições anaeróbias. Amostras foram coletadas em 0, 18, 24, 48 e 72 horas.

Foram determinadas as atividades das enzimas amilase e celulase (Miller, 1959); lacase

(Hou et al., 2004); lipase (Treichel et al., 2017); protease (Nakano & Asada, 1981); peroxidase (Khan et al., 1994); catalase (Havir et al., 1987; Hasan et al., 2022); ascorbato peroxidase (Nakano & Asada, 1981) e superóxido dismutase (Hasan et al., 2022).

Os açúcares (glicose, celobiose, arabinose e frutose), etanol, ácido cítrico e ácido acético foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). O sistema utilizou um detector de índice de refração e uma coluna Aminex HPX-87H, operando a 45 °C, com vazão de 0,6 mL min⁻¹ (Bazoti et al., 2017).

4 Resultados e Discussão

O ácido cítrico foi o principal metabólito, aumentando de 3,18 para 7,65 g L⁻¹, comportamento consistente com estudos que relatam acúmulo de ácidos orgânicos em detrimento da produção de etanol sob condições de estresse (Ajala et al., 2020). Ácido acético, glicerol e etanol atingiram concentrações máximas de 0,37, 0,53 e 3,77 g L⁻¹, respectivamente. Comparado a experimentos anteriores em frascos com o mesmo substrato, a produção de etanol no biorreator foi inferior (7,14 g L⁻¹, conforme estudo de Saldanha et al., 2025), sugerindo efeito de escala na distribuição do fluxo de carbono, possivelmente associado a gradientes de nutrientes e ao acúmulo de ácido acético não dissociado, que pode prejudicar a absorção de açúcar e reduzir a eficiência fermentativa (Bu et al., 2025). Embora a produção de etanol tenha sido inferior à observada em estudos anteriores conduzidos em frascos, os resultados demonstram a viabilidade da fermentação em biorreator utilizando resíduos de frutas como substrato, fornecendo informações relevantes para futuras estratégias de otimização do processo.

O acúmulo progressivo de ácidos orgânicos provavelmente contribuiu para a acidificação do meio, criando condições de estresse que influenciaram o perfil enzimático do extrato obtido. O perfil enzimático obtido caracterizou-se pelo predomínio de enzimas associadas à resposta ao estresse oxidativo, em detrimento das enzimas hidrolíticas avaliadas. A lipase apresentou o aumento mais expressivo, atingindo 185,63 U mL⁻¹ às 48 horas, valor superior ao relatado para leveduras cultivadas em meios definidos (Shirazi et al., 1998) e em substratos lipídicos (Duarte et al., 2021), evidenciando o potencial dos resíduos de frutas como substrato de baixo custo para a produção de lipases.

A catalase atingiu $520,97 \text{ U mL}^{-1}$ às 72 horas, e a superóxido dismutase manteve atividade estável em torno de 50 U mL^{-1} , sugerindo a ativação de um sistema de defesa antioxidante (Ighodaro et al., 2018). Em contraste, as demais enzimas apresentaram declínio ou não foram detectadas.

5 Conclusão

A fermentação anaeróbia conduzida em biorreator de tanque agitado utilizando *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2 possibilitou a conversão de resíduos de frutas em diferentes bioprodutos, incluindo ácidos orgânicos, etanol e enzimas de interesse biotecnológico, sem a necessidade de suplementação do meio sintético. Os resultados demonstram o potencial de aproveitamento desses resíduos como matéria-prima para processos fermentativos sustentáveis e contribuem para o desenvolvimento de estratégias voltadas à valorização biotecnológica de resíduos agroindustriais e à produção de bioprodutos de valor agregado. Além disso, os resultados fornecem subsídios para futuras estratégias de otimização e de escalonamento do processo, visando ampliar sua eficiência e seu potencial de aplicação industrial.

Referências Bibliográficas

- AJALA, A.S. *et al.* A study on effect of fermentation conditions on citric acid production from cassava peels. *Scientific African*, v. 8, p. e00396, Jul 2020.
- BAZOTI, Suzana F. *et al.* Second-generation ethanol from non-detoxified sugarcane hydrolysate by a rotting wood isolated yeast strain. *Bioresource Technology*, v. 244, p. 582–587, Nov 2017.
- BERGSTRÖM, Pauline *et al.* Sustainability Assessment of Food Redistribution Initiatives in Sweden. *Resources*, v. 9, n. 3, p. 27, 9 Mar 2020.
- BU, Yifan *et al.* A pilot airlift reactor integrated a low-shear swirl microbubble generator for yeast production using straw as substrate. *Bioresource Technology*, v. 424, p. 132251, Maio 2025.
- DUARTE, Alysson Wagner Fernandes *et al.* Statistical experimental design applied to extracellular lipase production by the marine Antarctic yeast *Leucosporidium scottii* CRM 728. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 32, p. 101954, Mar 2021.
- GEORGIU, Dimitrios e DIAMANTIS, Vasileios e AIVASIDIS, Alexander. Scale-up of plug-flow reactors in anaerobic treatment of agro-industrial wastes. *Biochemical Engineering Journal*, v. 210, p. 109437, Out 2024.
- HASAN, Mahmudul *et al.* Physiological and biochemical responses of selected weed and crop species to the plant-based bioherbicide WeedLock. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 19602, 15 Nov 2022.

HAVIR, Evelyn A. e MCHALE, Neil A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. *Plant Physiology*, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1 Jun 1987.

HOU, Hongman *et al.* Enhancement of laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its use for the decolorization of anthraquinone dye. *Process Biochemistry*, v. 39, n. 11, p. 1415–1419, Jul 2004.

IGHODARO, O.M. e AKINLOYE, O.A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, v. 54, n. 4, p. 287–293, 1 Dez 2018.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1 Mar 1959.

NAKANO, Yoshiyuki e ASADA, Kozi. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, v. 22, n. 5, p. 867–880, 1 Ago 1981.

SALDANHA, Loisleini Fontoura *et al.* Use of Mixed Fruit Waste Aimed at Producing Bioethanol and Extracting D-Limonene. *Waste and Biomass Valorization*, v. 16, n. 2, p. 871–879, 9 Feb 2025.

SHIRAZI, S.H. e RAHMAN, S.R. e RAHMAN, M.M. Production of Extracellular lipases by *Saccharomyces cerevisiae*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 14, n. 4, p. 595–597, Jul 1998.

SOLANGI, Nadeem Hussain *et al.* Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 416, p. 125848, Ago 2021.

TREICHEL, Helen *et al.* Lipase Production from a Newly Isolated *Aspergillus niger* by Solid State Fermentation Using Canola Cake as Substrate. *Current Biotechnology*, v. 6, n. 4, 10 Nov 2017.

TREICHEL, Helen *et al.* *Utilising Biomass in Biotechnology*. Cham: Springer International Publishing, 2020.

ZANIVAN, Jessica *et al.* Evaluation of Bioethanol Production from a Mixed Fruit Waste by *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2. *BioEnergy Research*, v. 15, n. 1, p. 175–182, 7 Mar 2022.

Palavras-chave: Fermentação anaeróbia; *Wickerhamomyces*; Resíduos de frutas; Bioetanol; Enzimas.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2025-0098

Financiamento: FAPERGS

