

PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE FRUTAS

VITÓRIA DASSOLER LONGO ^{1,2*}, LARISSA CAPELETTI ROMANI ³, GABRIEL HENRIQUE KLEIN ⁴, ALINE FRUMI CAMARGO ⁵, LOISLEINI FONTOURA SALDANHA ⁵, HELEN TREICHEL ^{2,6}

1 Introdução

Os resíduos de frutas são uma biomassa de baixo custo, gerada em elevadas quantidades e possuem açúcares que podem ser convertidos em bioetanol através de processos simplificados (SARKAR et al., 2019). Se estima que 15 milhões de toneladas sejam gerados anualmente, provenientes somente de resíduos de frutas cítricas.(CHAUDHARY et al., 2023)

Logo, as Nações Unidas estabeleceram objetivos para proporcionar o crescimento da economia, proteções ambientais e sociais, de modo que o Sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável se refira a energia verde e barata, facilitando essa utilização para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) gerados por combustíveis fósseis (ONU, 2022) que alavancam o aquecimento global. Deste modo, destaca-se os biocombustíveis, que são obtidos de fermentações de matérias primas biológicas, como as cascas de frutas.

Este trabalho analisa o potencial de resíduos de manga, abacaxi, limão, banana e laranja como matéria prima para obtenção de bioetanol e óleo essencial D-limoneno, promovendo um sistema integrado e de baixo impacto ambiental.

2 Objetivos

Avaliar a integração do processo de recuperação de D-limoneno e produção de etanol de segunda geração utilizando resíduos de frutas cítricas e não-cítricas como matéria-prima.

3 Metodologia

As cascas de manga, banana, laranja, limão e abacaxi foram coletadas no restaurante universitário da Universidade Federal da Fronteira Sul e posteriormente armazenadas

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

² Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos (LAMIBI). Grupo de Pesquisa: Agroenergia

³Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, campus Erechim

⁴Acadêmico do curso de Ciências Biológicas, UFFS, campus Erechim

⁵Doutoranda em Biotecnologia e Biociências, UFSC, campus Florianópolis

⁶Doutora em Engenharia de Alimentos, UFFS, campus Erechim, ORIENTADORA

separadamente a -60°C até utilização. As mesmas foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar, à 40°C por 48 horas. Como pré-tratamento as cascas passaram pelo processo de moagem em moinho de facas (granulometria 20 mesh). Essa biomassa foi lavada para a remoção dos açúcares solúveis, utilizando 2g de cada fruta, e 100mL de água destilada mantidos em banho Dubnoff sob agitação mecânica por 5 minutos a 30°C , filtradas e a fração sólida foi seca novamente em estufa com circulação de ar e armazenada para posterior uso.

A hidrólise enzimática foi otimizada utilizando Delineamento Composto Rotacional Central (CCRD) por meio do software *Protimiza Experimental Design*, com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$), sendo as variáveis independentes, a massa da mistura de cascas de frutas e a concentração enzimática de celulase comercial (Tabela 1). Esses ensaios foram realizados conforme as quantidades descritas, além de 100mL de tampão citrato de sódio 0,05 M e pH 4,8, colocados a 50°C e 150 rpm por 120 horas em agitador orbital, ao final da hidrólise foram quantificados os açúcares redutores totais liberados durante o processo, por colorimetria pela metodologia do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (MILLER, 1959), sendo essa a resposta da otimização.

O mosto hidrolisado obtido na etapa de hidrólise enzimática foi submetido a fermentação alcoólica com a levedura *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2 em agitador orbital a 30°C e 120 rpm durante 48 horas. Aliquotas dos ensaios foram retiradas para quantificar a produção de açúcares, ácidos e etanol, sendo determinados por meio de Cromatografia de Líquida de Alta Eficiência (HPLC).

A recuperação do D-Limoneno seguiu a metodologia de extração convencional Soxhlet. Onde, 8g da mistura do mix de frutas foram submetidos à extração com 200 mL de hexano, correspondendo à proporção matriz/solvente 1:25, por 4 horas (LOPRESTO et al, 2014). Em sequência, a fração coletada na extração foi purificada em evaporador rotativo a 100°C e 120 rpm até completa evaporação do solvente e ressuspensão em 50 mL de hexano para ser armazenado a -80°C até a quantificação do teor de D-limoneno. A concentração de D-limoneno ocorreu em GC-MS, onde as amostras foram diluídas usando P.A. hexano de grau e filtrado com membrana Millipore® de $0,45\ \mu\text{m}$.

4 Resultados e Discussão

Durante a hidrólise enzimática, a quantidade de enzima não demonstrou efeito significativo, sendo encontrado no ensaio 4 o maior valor de açúcares redutores totais 65g/L,

utilizando 8g de massa e 15 FPU/g de concentração de enzima. Vale destacar que o ensaio 6 apresentou 63,9 g/L utilizando 9 FPU/g, logo acaba sendo um destaque positivo, visto que utiliza menos concentração de enzima, reduzindo os custos e consegue-se alcançar valores elevados de açúcares redutores totais, demonstrados na Tabela 1.

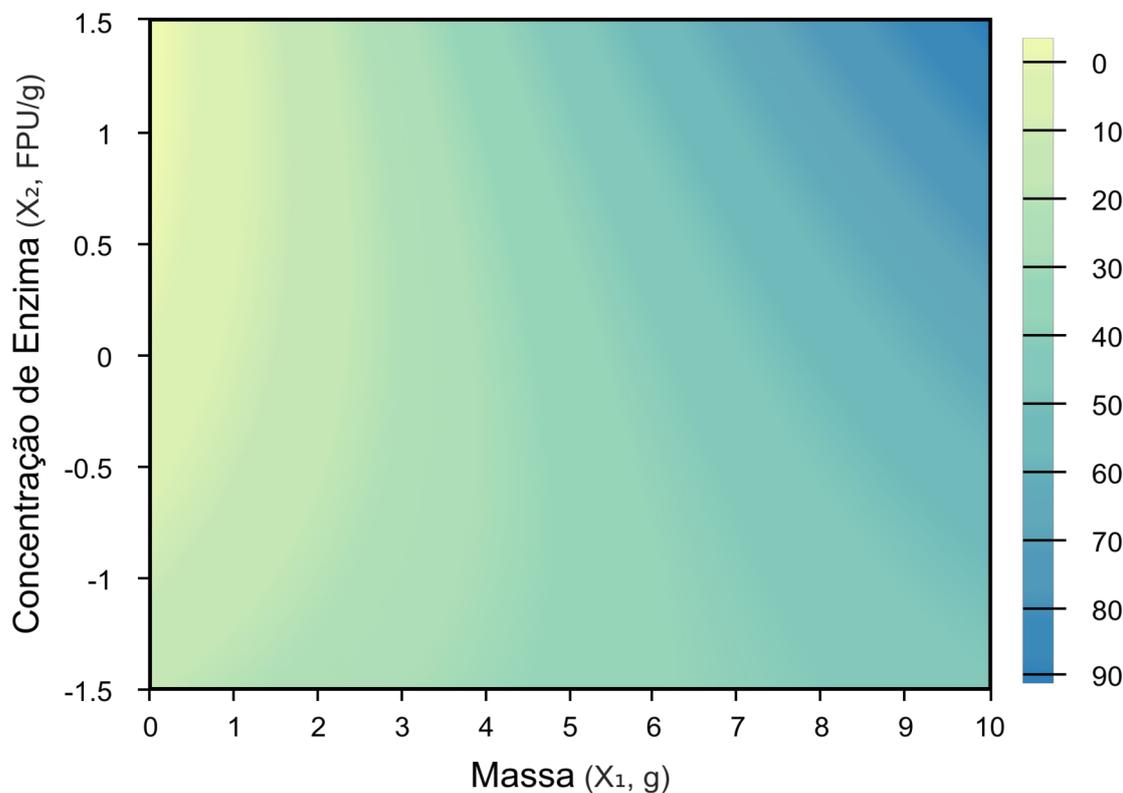
Tabela 1-Delineamento Composto Rotacional Central de Hidrólise Enzimática

Ensaio	Massa (g)	Concentração Enzimática (FPU/g)	Açúcares Redutores Totais (g/L)
1	2 (-1)	3 (-1)	16,7
2	8 (1)	3 (-1)	38,7
3	2 (-1)	15 (1)	16,90
4	8 (1)	15 (1)	65,0
5	0,76 (-1.41)	9 (0)	8,0
6	9,24 (+1.41)	9 (0)	63,9
7	5 (0)	0,51 (-1.41)	39,8
8	5 (0)	17,49 (+1.41)	43,5
9	5(0)	9 (0)	34,3
10	5(0)	9 (0)	29,6
11	5(0)	9 (0)	41,5

Destaca-se que a quantidade de massa utilizada influenciou positivamente a produção de açúcares, conforme a Figura 1, quanto maior a massa utilizada, maior será a produção de açúcares. A análise dos dados, resultou na validação do modelo matemático estatístico, sendo o F calculado significativo com $p = 0,00350$ e $R^2 = 94,58\%$, o que permitiu a construção da Figura supracitada.

Já na etapa de fermentação e produção de etanol, a maior produção ocorreu em 12 horas de fermentação, obtendo 7,11 e 7,14 g/L de etanol para os ensaios 4 e 6 respectivamente, destacando novamente o ensaio 6 visto que utiliza menos concentração enzimática e conseguiu converter 96,87% de glicose em etanol durante as 12 horas, resultado esperado pela estequiometria do processo.

Figura 1: Hidrólise Enzimática de mix de frutas para produção de açúcares demonstrado por curva de contorno



Além disso, durante a recuperação de D-limoneno foi possível obter 6,41 mg/g de resíduos de frutas, sendo um bioproduto com elevado valor agregado, valorizando o resíduo utilizado. Porém essa etapa pode acarretar inibições em processos fermentativos, como relatado por Mamma e Christakopoulos (2014).

5 Conclusão

Os resultados obtidos demonstram resultados positivos na utilização do mix de frutas no processo de biorrefinaria integrada, sendo o ensaio 6 a condição ótima para hidrólise enzimática e fermentação com a levedura utilizada, proporcionando 65g/L de açúcar e 7,14 g/L de etanol, por fim, obtivemos 6,42 mg/g de resíduo de fruta durante a recuperação de D-limoneno, contribuindo para a valorização do resíduo e redução de problemas ambientais.

Referências Bibliográficas

CHAUDHARY, A. *et al.* Produção de etanol a partir de xilana por bactérias nativas xilanolíticas e etanologênicas nativas isoladas de resíduos de frutas. **Tecnologias e Avaliação de Energia Sustentável**, v. 57, n. 103216, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103216>. Acesso em: 30 jul. 2024.

LOPRESTO, C. G. *et al.* Um método não convencional para extrair D-limoneno de resíduos de cascas de limão e comparação com a extração tradicional de Soxhlet. **Tecnologia de separação e purificação**, v. 137, p.13-20, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.015>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MAMMA, D.; CHRISTAKOPOULOS, P. Biotransformação de subprodutos cítricos em produtos de valor agregado. **Valorização de resíduos e biomassa**, v. 5, n. 4, p. 529-549, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-013-9250-y>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MILLER, G. L. Uso de reagente de ácido dinitrosalicílico para determinação de açúcares redutores. **Química analítica**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ONU BRASIL. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SARKAR, D. *et al.* Produção de etanol por *Enterobacter sp.* EtK3 durante a biotransformação de resíduos de frutos. **Biodeterioração e biodegradação internacionais**, v. 145, n. 104795, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104795>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Palavras-chave: Bioetanol; açúcar; levedura; fermentação; otimização.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2023- 0171

Financiamento: CNPq