

## USO DE RESÍDUOS DE FRUTAS PARA OBTENÇÃO DE BIOETANOL

**GABRIEL HENRIQUE KLEIN<sup>1\*</sup>, VITORIA DASSOLER LONGO<sup>1</sup>, LARISSA CAPELETTI ROMANI<sup>1</sup>, ALINE FRUMI CAMARGO<sup>1,2</sup>, LOISLEINI FONTOURA SALDANHA<sup>1,2</sup> e HELEN TREICHEL<sup>3</sup>**

### 1 Introdução

Estima-se que de todos os alimentos produzidos para consumo humano no mundo, aproximadamente 33% são desperdiçados. Conseqüentemente, essa questão tornou-se um foco de pesquisa para valorização de resíduos (PRAMANIK et al., 2019). A banana (*Musa sp.*), por exemplo, tem aproximadamente 35% do seu peso total representado pelas cascas e, por ser uma das culturas mais produzidas no mundo, cerca de 150 milhões de toneladas em 2023 (FAOSTAT, 2024), contribui significativamente para a geração de resíduos agroindustriais que são descartados sem qualquer aproveitamento.

Considerando a necessidade de explorar uma nova matriz energética, bem como, aproveitar os resíduos desperdiçados, este estudo propõe a otimização da obtenção de açúcares fermentescíveis a partir de planejamento experimental para os processos de pré-tratamento e hidrólise enzimática dos resíduos de cascas de banana, visando a produção de etanol de segunda geração. Além disso, devido à escassez de literatura sobre a recuperação de D-Limoneno a partir de resíduos de casca de banana, o presente estudo visou quantificar esse composto, considerando seu alto valor agregado na indústria.

### 2 Objetivos

#### 2.1 Geral

- Otimizar o processo de obtenção de açúcares fermentescíveis por meio de planejamento experimental e realizar a extração e quantificação de D-Limoneno.

<sup>1</sup> Graduando (a), Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Erechim - RS*, Grupo de pesquisa: Agroenergia, [Gabrielklein518@gmail.com](mailto:Gabrielklein518@gmail.com)

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Biociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, Brasil.

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia de Alimentos, instituição UFFS, **Orientadora**.

## 2.2. Específicos

- Realizar a extração de D-Limoneno em extrator Soxhlet e quantificar a concentração do composto em Cromatografia Gasosa (CG);
- Realizar um planejamento experimental para otimização do processo de pré-tratamento e hidrólise enzimática da biomassa de cascas de banana;
- Realizar a fermentação alcoólica do hidrolisado por meio da levedura *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2.

## 3 Metodologia

### 3.1 Coleta dos resíduos

Os resíduos foram coletados no restaurante universitário da UFFS – Campus Erechim, RS. As cascas de banana, especificamente *Musa sapientum* e *Musa acuminata* Subgrupo *Cavendish*, foram secas em estufa de ventilação forçada (40 °C), moídas em moinho de facas até atingirem granulometria de 20 mesh e armazenadas (-20 °C) até o uso.

### 3.2 Planejamento experimental

O planejamento experimental foi conduzido utilizando o Delineamento Composto Central (DCC) 2<sup>3</sup>, avaliando as etapas de pré-tratamento e hidrólise. As variáveis avaliadas incluíram a massa de resíduos de banana, concentração de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (utilizado no pré-tratamento da biomassa residual) e concentração de enzimas. A Tabela 1 apresenta as variáveis e seus valores reais e codificados.

Como resposta, os açúcares totais foram quantificados após a etapa de hidrólise. A análise estatística do DCC 2<sup>3</sup> foi conduzida utilizando o software *Protimiza Experimental Design*, com nível de confiança de 95% (p < 0,05). Os resultados são expressos em g/L e foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e dos efeitos das variáveis.

### 3.3 Extração de D-Limoneno

A recuperação do D-Limoneno foi realizada pelo método convencional de extração Soxhlet, onde 8 gramas de resíduos de casca de banana foram submetidos à extração com 200

ml de hexano (razão matriz/solvente 1:25) durante 4 horas na temperatura de ebulição do solvente (68°C) (LOPRESTO et al., 2014). Posteriormente, a fração extraída passou por purificação usando um evaporador rotativo a 120 RPM e 100°C. Após a evaporação completa do solvente, a fração resultante foi ressuspensa em 50 ml de hexano e armazenada a -80°C até a preparação para análise por cromatografia gasosa (CG). A preparação da amostra envolveu diluição com hexano de grau analítico 20 vezes e subsequente filtração através de uma membrana Millipore® de 0,45 µm.

### 3.4 Métodos analíticos

Para a quantificação de açúcares, etanol e ácidos, as amostras foram diluídas usando solução de ácido sulfúrico 0,005 M previamente filtrada a vácuo através de membrana Millipore® de 0,45 µm e desgaseificadas em banho ultrassônico por 15 min (ZANIVAN et al., 2022). O sistema utilizado foi um HPLC equipado com um detector de índice de refração (RID-10A) e uma coluna Aminex® Biorad HPX-87H, usando 0,005 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fase móvel a uma vazão de 0,6 mL/min e uma temperatura de 45 °C (BAZOTI et al., 2017).

As análises para o conteúdo de D-Limoneno foram realizadas em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas (GCMS – QP 2010 Ultra, Shimadzu). Uma coluna capilar NST 05ms 30m/0,25mm/0,25µm foi usada para separação do analito.

## 4 Resultados e Discussão

Para liberação de açúcares, observa-se que a única variável significativa ( $p < 0,05$ ) foi a concentração da enzima. A análise de variância (ANOVA) apresentou um  $R^2 = 97,64\%$ ,  $F$  calculado = 27,5 e  $p$ -valor = 0,00325, sendo assim, o delineamento foi validado com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). Neste projeto, o maior rendimento total de açúcares redutores foi alcançado no ensaio 6, com um valor de 11,88 g/L. Muito provavelmente, devido ao pré-tratamento químico, uma grande quantidade de ácido cítrico (9,05 g/L) foi produzida, resultando em um baixo rendimento de etanol no final do processo (Tabela 1). Muitas discussões na literatura também têm se concentrado no estudo de inibidores resultantes de etapas de pré-tratamento, comprovando que rotas envolvendo reagentes químicos e a presença de inibidores em altas concentrações resultantes destes processos levam a baixos rendimentos

de etanol (REZANIA et al., 2020).

Tabela 1. Delineamento Composto Central 2<sup>3</sup> para pré-tratamento e hidrólise enzimática (Valores reais e codificados)

Ensaio	Massa (g)	Concentração de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	Concentração enzimática (FPU/g)	Média de açúcares em 12 horas (g/L)	Ácido cítrico (g/L)
1	5 (-1)	10 (-1)	5 (-1)	7,09	8,49
2	15 (1)	10 (-1)	5 (-1)	5,00	8,73
3	5 (-1)	30 (1)	5 (-1)	4,89	6,87
4	15 (1)	30 (1)	5 (-1)	5,19	6,12
5	5 (-1)	10 (-1)	50 (1)	11,63	7,52
6	15 (1)	10 (-1)	50 (1)	11,88	8,8
7	5 (-1)	30 (1)	50 (1)	10,24	5,92
8	15 (1)	30 (1)	50 (1)	10,39	7,33
9	10 (0)	20 (0)	27,5 (0)	8,61	6,9
10	10 (0)	20 (0)	27,5 (0)	8,79	8,66
11	10 (0)	20 (0)	27,5 (0)	9,12	9,05

Devido à significância de apenas uma variável, a concentração da enzima, o processo parece vantajoso devido à possibilidade de baixa utilização de ácido. O uso de baixas concentrações de ácido no pré-tratamento tende a favorecer o processo economicamente devido ao alto custo do reagente, bem como ambientalmente, considerando a redução do descarte do reagente. O uso de grandes concentrações de enzima pode levar ao aumento dos custos do processo, mas quando combinado com baixas quantidades de ácido, torna-se viável devido à liberação significativa de açúcar (KUSMIYATI et al., 2022).

Até o momento, não foi relatada a utilização de resíduos de casca de banana para recuperação de D-Limoneno, o que reforça a relevância desta etapa, que visa atingir o conceito de biorrefinaria integrada por meio da obtenção de diversos biocompostos ao longo do processo. Assim, após a extração dos compostos, a presença de D-Limoneno nos resíduos de casca de banana foi quantificada em valores médios de 0,56 mg/g.

## 5 Conclusão

Os valores dos açúcares fermentescíveis confirmam os resíduos da casca de banana

como uma biomassa potencial para processos de biorrefinaria. Além disso, a possibilidade de uma recuperação de D-Limoneno e também ácido cítrico, é essencial na obtenção de bioprodutos. Nesse sentido, pode-se concluir que a utilização desses resíduos é promissora na redução de problemas ambientais, na valorização do desperdício de alimentos e na economia circular.

### Referências Bibliográficas

BAZOTI, S. 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, 1 nov. 2017.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). "Bananas." *Markets and Trade*. Available at: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/>

KUSMIYATI, K.; HADIYANTO, H.; FUDHOLI, A. Treatment updates of microalgae biomass for bioethanol production: A comparative study. *Journal of Cleaner Production*, p. 135236, nov. 2022.

LOPRESTO, C. G. et al. A non-conventional method to extract D-limonene from waste lemon peels and comparison with traditional Soxhlet extraction. *Separation and Purification Technology*, v. 137, p. 13–20, nov. 2014.

PRAMANIK, S. K. et al. The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*, v. 8, p. 100310, dez. 2019.

REZANIA, S. et al. Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview. *Energy*, v. 199, p. 117457, maio 2020.

ZANIVAN, J. et al. Evaluation of Bioethanol Production from a Mixed Fruit Waste by *Wickerhamomyces* sp. UFFS-CE-3.1.2. *BioEnergy Research*, 7 abr. 2021.

**Palavras-chave:** Resíduo de frutas; D-Limoneno; Etanol de segunda geração; Fermentação alcoólica; Extração Soxhlet.

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2023-0165

**Financiamento:** CNPq