



## BIOENERGIA E SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE SUCO DE MAÇÃ

*Beatriz P. Sforça<sup>1</sup>; L.C. Ampese<sup>2</sup>; Luz Selene Buller<sup>3</sup>, Mauro Berni<sup>4</sup>, Tânia Forster-Carneiro<sup>5</sup>*

*<sup>1,2,3,4,5</sup> Laboratório de Bioengenharia e Tratamento de Águas e Resíduos (BIOTAR), FEA-DEA, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).*

### Resumo

Em indústrias de processamento de suco de maçã aproximadamente 25% de resíduos sólidos são gerados, majoritariamente representados pelo bagaço de maçã. Este subproduto apresenta grande potencial de revalorização em processos de extração e fermentação para obtenção de produtos de maior valor agregado. Este trabalho teve como principal objetivo identificar as rotas tecnológicas mais promissoras para a valorização de bagaço de maçã. Os resultados indicaram a obtenção dos seguintes produtos de valor agregado: pectina, antioxidantes, etanol, metano, xilitol, ácido acético, fibras dietéticas, emulsificantes, compostos fenólicos, xiloglucano, filmes de base biológica e objetos 3D.

**Palavras-chave:** Valorização, Reciclagem, Biomassa, Fermentação, Hidrólise.

### INTRODUÇÃO

O resíduo da indústria de suco de maçã, o bagaço de maçã, apresenta alto teor de açúcares fermentáveis, fibras dietéticas e minerais (Lyu *et al.*, 2020). Por isso, esse resíduo apresenta grande potencial para ser utilizado como matéria-prima para a digestão anaeróbia, originando biogás (Evca *et al.*, 2015), além de poder ser reaproveitado através de outros processos para a produção de pectina, compostos fenólicos e, até mesmo, filmes e objetos 3D para embalagens biodegradáveis (Gustafsson *et al.*, 2019).

### OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi identificar e analisar rotas tecnológicas para a valorização de bagaço de maçã, propondo a implementação de uma biorrefinaria para promover melhorias ambientais, econômicas e sociais.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados: Directory of Open Access Journals (DOAJ), ISI, SCOPUS, Google, Google Scholar, MediaFinder®-Standard Periodical. Foram identificados os trabalhos que realizaram valorização de bagaço de maçã para obtenção de produtos de maior valor agregado.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado evidenciou diversas rotas tecnológicas existentes para a valorização de bagaço de maçã procedente do processamento de suco de maçã. As rotas tecnológicas mais promissoras são apresentadas na **Tabela 1**. Dentre os produtos obtidos, encontram-se: pectina, antioxidantes, etanol, metano, xilitol, ácido acético, fibras dietéticas, emulsificantes, compostos fenólicos, xiloglucano, filmes de base biológica e objetos 3D.

**Tabela 1.** Síntese da pesquisa sobre valorização de bagaço de maçã para a obtenção de produtos de valor agregado

Resumo	Matéria-prima	Condições operacionais	Resultados concluídos	Produto obtido	Observações	Referências
Extraíu-se pectina do bagaço de maçã por meio de um processo em duas etapas levemente ácido.	Bagaço de maçã	A matéria-prima foi tratada com soluções ácidas e centrifugada. As frações sólidas foram lavadas e centrifugadas, e a sobrenadante foi precipitada com etanol, centrifugada, lavada, e seca para obtenção da pectina.	O H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> foi mais eficiente na extração de pectina do bagaço de maçã.	Pectina e sólido residual de fácil secagem.	O processo utilizado é viável econômica e ecologicamente, obtendo-se, simultaneamente, pectina e o sólido residual de fácil secagem.	(Luo <i>et al.</i> , 2020).
Foram estudados os métodos para a produção de ácido acético por conversão direta e via produção de bioetanol.	Bagaço de maçã	Por conversão direta, adicionou-se <i>A. pasteurianus</i> no bagaço de maçã com bioetanol. Via produção de bioetanol, produziu-se bioetanol a partir do bagaço de maçã e, em seguida, adicionou-se a acetobactéria.	As melhores condições foram com o bagaço de maçã (15%) e a levedura comercial Red Star.	Ácido acético e bioetanol.	Esses métodos são ecologicamente corretos e mais sustentáveis, mesmo apresentando menor taxa de produção de ácido acético quando comparados à rota química.	(Thakur <i>et al.</i> , 2019).
Produziu-se xilitol e etanol 2G pelo bagaço de maçã com <i>Candida guilliermondii</i> e <i>Kluyveromyces marxianus</i> .	Bagaço de maçã	Adicionou-se H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ao bagaço de maçã em um reator. Em seguida, foi filtrado, concentrado, desintoxicado e submetido à adsorção. Por fim, foi submetido à fermentação das leveduras separadamente.	<i>K. Marxianus</i> apresentou maior eficiência, produzindo etanol como produto principal e xilitol como subproduto.	Xilitol e etanol 2G.	O bagaço de maçã tem se mostrado potencial como matéria-prima para o processo de fermentação.	(Leonel <i>et al.</i> , 2020).
Foram avaliadas as propriedades funcionais, conteúdo fenólico e potencial antioxidante de frações de fibras secas.	Bagaço de maçã	O bagaço de maçã foi lavado, filtrado e dividido em três frações. A fração I passou por secagem em estufa, a fração II passou por secagem ao sol e a fração III foi liofilizada.  Diferentes amostras de bagaço de maçã seco foram submetidas a extração com diferentes solventes (metanol, acetona ou etanol), filtrados, concentrados e liofilizados. Em seguida, o extrato foi redissolvido em metanol.	A fibra dietética com baixo teor de umidade é a preferida, pois tem maior shelf life e menor volume.  A acetona aquosa a 50% foi encontrada como solvente mais eficiente para extração de constituintes fenólicos.	Fibras dietéticas secas.  Compostos fenólicos (quercetina, fletina e floridzina).	As fibras apresentaram bom potencial para serem utilizadas no enriquecimento de alimentos. A presença de compostos fenólicos proporciona vantagem adicional.	(Rana <i>et al.</i> , 2015).
Determinou-se um processo de recuperação combinado para pectina e polifenol.	Bagaço de maçã	Adicionou-se Amberlite em uma coluna de vidro com bagaço de maçã. O efluente com pectina foi coletado, e os compostos fenólicos foram eluídos com metanol e secos.	Aproximadamente 12% do produto consistiu em compostos fenólicos.	Pectina e compostos fenólicos	O processo pode ser facilmente integrado na produção de pectina. O <i>scale-up</i> industrial já foi iniciado, permitindo a coleta de grandes quantidades de compostos polifenólicos.	(Schieber <i>et al.</i> , 2003).
Estudou-se o efeito do ultrassom na produção de xiloglucano.	Bagaço de maçã congelado e moído	Extraíu-se o material da parede celular com ácido, dialisou-se a mistura e secou-a. O resíduo insolúvel final foi dialisado, liofilizado e extraído com um banho de ultrassom. Os extratos solúveis foram coletados, concentrados e secos.	A extração assistida por ultrassom foi cerca de três vezes mais rápida do que o método convencional	Xiloglucano	Trabalhos adicionais sobre a extração assistida por ultrassom de xiloglucano precisam progredir em escala piloto.	(Fu <i>et al.</i> , 2006).

Resumo	Matéria-prima	Condições operacionais	Resultados concluídos	Produto obtido	Observações	Referências
Avaliou-se o potencial do bagaço de maçã como substrato para a produção de biocombustíveis.	Bagaço de maçã seco	O bagaço de maçã foi moído e autoclavado. Regulou-se o pH e fez-se hidrólise enzimática. O pH foi ajustado para 5,0 e diferentes cepas de bactérias e leveduras foram inoculadas separadamente sob condições aeróbias.	As leveduras <i>S. cerevisiae</i> , <i>K. marxianus</i> , <i>K. lactis</i> e <i>L. thermotolerans</i> apresentaram bons resultados.	Biocombustível (bioetanol e metano)	O bagaço de maçã poderia ser um co-substrato adequado para as usinas de biogás agrícolas existentes à base de esterco, evitando maiores danos ambientais.	(Molinuevo-Salces <i>et al.</i> , 2020).
Foram desenvolvidos e avaliados filmes de base biológica e objetos 3D a partir de bagaço de maçã.	Bagaço de maçã seco moído	Preparou-se uma mistura com bagaço de maçã em pó e glicerol com ácido, misturou-se e verteu-se sobre uma placa para fundição. As placas foram secas e removidas por pinças.  Os pós de bagaço de maçã foram misturados com glicerol ou não. Em seguida, a mistura foi colocada em um molde, prensada e resfriada em temperatura ambiente para que a placa de fibra fosse removida.	O uso do glicerol resultou em filmes e chapas de fibra com maior resistência à tração.	Filme de base biológica  objetos 3D	Os materiais podem ser adequados para diferentes aplicações, como embalagens comestíveis, reduzindo poluição de plásticos e descarte de bagaço de maçã em aterros.	(Gustafsson <i>et al.</i> , 2019).
Foram investigados métodos de extração de antioxidantes a partir do bagaço de maçã	Bagaço de maçã em pó	Realizou-se uma extração estática, seguida de dinâmica, do pó. A extração Soxhlet consistiu na reciclagem de solvente no pó em aparelho Soxhlet. A maceração em água fervente foi feita agitando-se a amostra com solvente.	A atividade antioxidante de FSC é superior aos extratos obtidos por Soxhlet e maceração.	Antioxidantes	A extração de fluido supercrítico (FSC) é uma tecnologia ecologicamente interessante devido à baixa temperatura crítica do CO <sub>2</sub> .	(Ferrentino <i>et al.</i> , 2018).

## Considerações finais

Com a implementação de uma biorrefinaria para a valorização de bagaço de maçã, pode-se obter diversos produtos de valor agregado como pectina, xilitol e biogás. A geração desses produtos contribui diretamente para uma economia sustentável, além de influenciar a criação de novas políticas públicas em torno de novos valores ambientais, sociais e econômicos para a indústria de alimentos.

## Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2018 / 14938-4; 2020 / 10323-5); T. Forster-Carneiro agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade (302473 / 2019-0)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Evcan, E., Tari, C. Production of bioethanol from apple pomace by using cocultures: Conversion of agro-industrial waste to value added product. **Energy**. Volume 88, pp. 775-782. 2015.
- Gustafsson, J., Landberg, M., Bátor, V., Åkesson, D., Taherzadeh, M. J., Zamani, A. Development of Bio-Based Films and 3D Objects from Apple Pomace. **Polymers**. 2019.
- Lyu, F., Luiz, S. F., Azeredo, D. R. P., Cruz, A. G., Ajlouni, S., Ranadheera, C. S. Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. **Processes**. 2020.
- M.Salces, B., Riaño, B., H., M., G.García, I., P.García, A. I., Hernández, D., G.Cambronero, J., D., R., Valorization of apple pomaces for biofuel production: A biorefinery approach. **Biomass and Bioenergy**. Volume 142, 105785. 2020.
- Schieber, A., Hilt, P., Endreß, H., Rentschler, C., Carle, R. A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. Volume 4, Issue 1. pp. 99-107. 2003.