

## **Biossorção de compostos fenólicos e aumento da bioacessibilidade**

## **Biossorption of phenolic compounds and increased bioaccessibility**

DOI:10.34117/bjdv8n5-147

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

### **Rafael Sandim Gonçalves**

Ensino Médio Completo

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do sul

Endereço: Cidade Universitária, Av. Costa e Silva, Pioneiros, Campo Grande

MS, CEP: 79070-900

E-mail: rafael\_sandim@ufms.br

### **Jullie Ferreira Bitencourt**

Tecnólogo em Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do sul

Endereço: Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande

MS, CEP: 79070-900

E-mail: bitencourtjullie@gmail.com

### **João Renato de Jesus Junqueira**

Doutorado em Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do sul

Endereço: Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande

MS, CEP: 79070-900

E-mail: joao.junqueira@ufms.br

### **Ana Paula Stafussa**

Doutorado em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Endereço: Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá - PR, CEP:87020-900

E-mail: anastafussa@gmail.com

### **Thaís Carvalho Volpe Balbinoti**

Doutorado em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do sul

Endereço: Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande

MS, CEP: 79070-900

E-mail: thaís.balbinoti@ufms.br

## **RESUMO**

Esta revisão bibliográfica teve por objetivo analisar artigos científicos que contemplaram o processo de biossorção empregando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, bem como o aumento da bioacessibilidade dos elementos adsorvidos, em específico os compostos fenólicos. As informações e dados apresentados foram extraídos de banco de dados e bibliotecas virtuais. Foi possível constatar que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente empregada como biossorvente, enquanto compostos fenólicos, principalmente oriundos de frutas e resíduos agroindustriais, são utilizados como

adsorbatos. Os trabalhos revisados reportam a eficiência e a importância da bioadsorção para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Além disso, estudos relatam aumento significativo na bioacessibilidade dos compostos bioativos após a bioadsorção, promovendo valorização nutricional dos produtos desenvolvidos.

**Palavras-chave:** biossorbentes, adsorção, *saccharomyces cerevisiae*, compostos fenólicos.

## ABSTRACT

This literature review aimed to analyze scientific articles that addressed the biosorption process using the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, as well as the increase in the bioaccessibility of adsorbed elements, such as phenolic compounds. The information and data presented were extracted from databases and virtual libraries. It was possible to verify that the yeast *Saccharomyces cerevisiae* is widely used as a biosorbent, while phenolic compounds, mainly from fruits and agro-industrial residues, are used as adsorbates. The reviewed works report the efficiency and importance of biosorption for the development of new food products. In addition, studies report a significant increase in the bioaccessibility of bioactive compounds after biosorption, promoting nutritional value of the products developed.

**Keywords:** biosorbents, adsorption, *saccharomyces cerevisiae*, phenolic compounds.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos avanços tecnológicos têm permitido que pesquisadores e indústrias, em especial de alimentos, entendam cada vez mais os fenômenos químicos, físicos e biológicos. Esse entendimento permite otimizar, intensificar e viabilizar técnicas, equipamento e processos, contribuindo significativamente para os avanços na área de alimentos (RIBEIRO et al., 2019). Dentro deste contexto, destaca-se a bioadsorção.

A bioadsorção é definida como um processo físico-químico, no qual uma substância é adsorvida por uma matriz biológica, por exemplo, microrganismos vivos ou mortos, como bactérias, fungos ou leveduras (FOMINA; GADD, 2014). Este processo apresenta características de interesse industrial, como custo-benefício, eficiência e fácil implementação, o que torna a bioadsorção uma alternativa viável para substituir métodos convencionais (EL-SAYED; EL-SAYED, 2014).

Dentro deste contexto, a bioadsorção tem sido anunciada como uma biotecnologia promissora no tratamento de efluentes industriais (COLLA et al., 2014). Barros et al. (2017), por exemplo, empregaram a bioadsorção para remoção de metais pesados da indústria petroquímica, como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, cobre e arsênio. Os autores concluíram que a técnica proposta é uma alternativa viável para substituir os métodos convencionais de filtração. No trabalho de Colla et al. (2014), a bioadsorção foi

aplicada para avaliar a remoção de cromo hexavalente do efluente do curtimento de couros por meio do processo de bioissorção, utilizando resíduos agroindustriais fermentados com fungos filamentosos do gênero *Aspergillus*.

Além da parte ambiental, a bioissorção também tem ganhando destaque e aplicação na área de alimentos, principalmente direcionada ao enriquecimento e aumento da biodisponibilidade de compostos fenólicos. No estudo de Rampazzo et al. (2019) a bioissorção foi utilizada como mecanismo para aumentar a biodisponibilidade, durante a digestão gastrointestinal, de compostos bioativos presentes no chá de erva-mate. Os autores, por meio de análises *in vitro*, concluíram que a digestão gastrointestinal promove diminuição da biodisponibilidade dos compostos presentes no chá. No entanto, através do processo de bioissorção, verificaram que as substâncias bioativas foram, de forma significativa, protegidas pela biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. Diante dos dados obtidos, os pesquisadores afirmaram que a bioissorção de compostos fenólicos pela levedura permite novas diretrizes para a indústria de alimentos, como o emprego de um concentrado proteico enriquecido com compostos bioativos.

Outro exemplo na área de alimentos é o estudo de Rossetto et al. (2020), no qual o objetivo foi avaliar a viabilidade de enriquecer leveduras *Saccharomyces cerevisiae* por meio da bioissorção de compostos fenólicos da polpa e sementes de açaí. Os autores constataram que os extratos de açaí estudados apresentaram índices significativos de compostos bioativos, viabilizando o emprego da bioissorção. Após a bioissorção, ambas as matrizes tiveram redução de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, uma vez que a levedura adsorveu os compostos bioativos. Os pesquisadores concluíram que a bioissorção de compostos fenólicos de extratos de açaí é executável e de interesse para as indústrias de alimentos, de fármacos e de rações.

Tendo em vista as inúmeras possibilidades benéficas da aplicação da bioissorção, este trabalho teve por finalidade revisar artigos científicos que abordaram a aplicação da técnica na área de alimentos. A revisão explorou os métodos utilizados por diferentes pesquisadores para o processo de bioissorção, bem como os bioissorventes e adsorbatos utilizados.

## 2 METODOLOGIA

A presente revisão bibliográfica teve por finalidade abranger e concentrar os seguintes temas: processo de bioissorção e bioissorção na área de alimentos. A revisão aborda somente publicações de cunho científico.

O acesso aos artigos científicos, nacionais e internacionais, foi mediante as plataformas de pesquisa, das quais destacam-se ScienceDirect, Wiley Online Library, Scielo, Google Acadêmico e Periódicos Capes.

Os critérios de inclusão dos estudos encontrados foram a abordagem do processo de bioissorção, explorando conceito, novas tecnologias, mecanismos, vantagens, desvantagens e aplicação. Os estudos que não preencheram os critérios de inclusão foram desconsiderados para revisão.

### 3 PROCESSO DE BIOSSORÇÃO

A bioissorção é definida como um processo físico-químico, no qual o prefixo “bio” indica a interação do adsorbato com uma matriz biológica. Essa matriz pode ser biomassa morta ou viva, fragmentos de células e tecidos de bactérias, fungos, leveduras e algas. (RAMPAZZO et al., 2019). Segundo Calfa et al. (2007), em geral, o material de origem biológica utilizado como bioissorvente apresenta as seguintes características: baixo custo; reciclável; tamanho de partículas, forma e força mecânica adequada para o processo.

Em relação aos mecanismos envolvidos no processo de bioissorção (Tabela 1), os mesmos podem ser do tipo físico, químico, por ligações de Van Der Waals, interações eletrostáticas de troca iônica, por quelação, complexação, microprecipitação ou coordenação. Na maioria das situações ocorre a combinação de mecanismos (EL-SAYED; EL-SAYED, 2014).

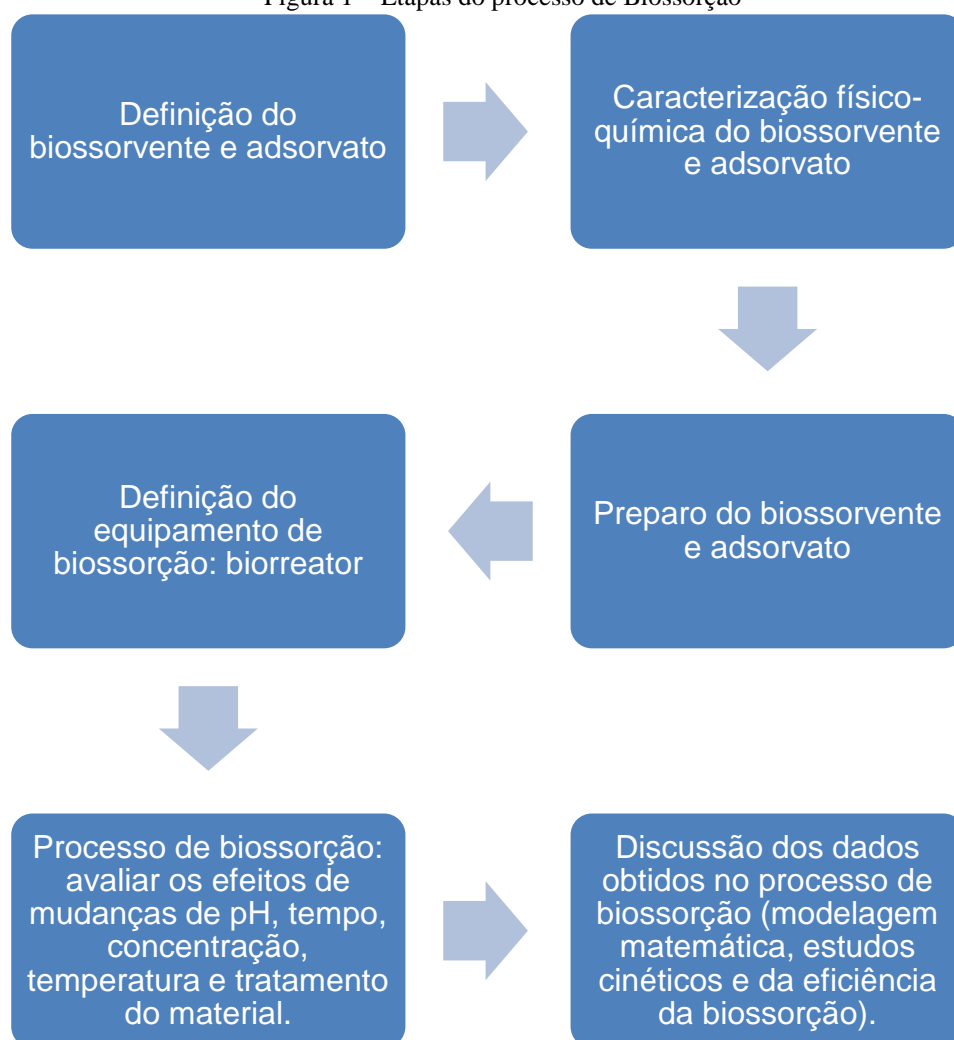
Tabela 1 – Descrição dos principais mecanismos envolvidos na bioissorção

Mecanismo	Descrição
Adsorção física	Interação entre a superfície do bioissorvente com as moléculas/íons absorvido mantidas por forças de Vander Waals.
Ligações de Van Der Waals	As ligações de Van der Waals são forças de atração que atuam entre moléculas, átomos ou íons
Troca iônica	Substituição de um íon em uma fase sólida, que está em contato com uma solução de íons por outro
Quelação	É um tipo de ligação de íons e moléculas a íons metálicos. Envolve a formação ou presença de duas ou mais ligações coordenadas separadas entre um ligante polidentado e um único átomo central. Esses ligantes são chamados quelantes, agentes quelantes ou agentes sequestradores.
Complexação	As reações de complexação envolvem um íon metálico M reagindo com um ligante L para formar o complexo ML.
Microprecipitação	A precipitação ocorre por uma alteração do meio aquoso ocasionando a precipitação do despejo
Coordenação	Ligação de um átomo central de um complexo com outros átomos por ligação covalente.
Adsorção Química	Conjunto de reações químicas que compreende a troca iônica, interação, eletrostática, precipitação química e complexo de grupos funcionais presentes na superfície externa do bioissorvente.

Para o controle destes mecanismos são considerados alguns fatores, como: tipo de ligantes e sítios disponíveis no adsorvente; estruturas químicas; características dos íons ou moléculas alvo; e condições físico-químicas, como pH, temperatura e forças moleculares envolvidas (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014). Ademais, tamanho da molécula e do adsorvato, bem como o potencial de hidrólise e eletronegatividade são parâmetros considerados importantes para definição da velocidade e capacidade do processo de bioissorção (DOMINGUES, 2005).

Tendo em vista a contextualização da bioissorção, a Figura 1 esboça o fluxograma das principais etapas deste processo, enquanto a Tabela 2 descreve condições operacionais geralmente empregadas.

Figura 1 – Etapas do processo de Bioissorção



### 3.1 PARÂMETROS OPERACIONAIS DA BIOSSORÇÃO

Dentre os parâmetros operacionais que afetam a bioissorção (Tabela 2), destacam-se a temperatura, pH, dose de bioissorvente e tempo de reação. Além disso, a concentração inicial de matéria solúvel, agitação, o tamanho do bioissorvente e modificações físicas e químicas também contribuem para a eficiência do processo (ESMAEILI; BENI, 2015).

Tabela 2 – Parâmetros empregados em diferentes processos de bioadsorção utilizando como bioadsorvente a Levedura *S. cerevisiae*

Bioadsorvente			Adsorvato		Método de bioadsorção adotado				Métodos de análise dos dados	Referência
Origem	Tratamento	Dose	Tipo	Concentração inicial	Processo	Temperatura (°C)	Tempo (h)	pH		
Levedura residual de cervejaria	Secagem: 100°C por 24h em estufa	15 g	Compostos fenólicos do bagaço da uva	12g/mL	Os estudos cinéticos foram realizados em frascos Erlenmeyer de 125 mL com 50 mg de biomassa de <i>S. cerevisiae</i> (peso seco) e 12,5 mL de uma solução rica em antocianinas obtidas a partir do hidroalcoólico extração de bagaço de uva.	35	10	4,5	Modelo cinético de pseudo-segunda ordem e diferentes isotermas modelos foram usados para descrever o processo de bioadsorção.	Stafussa et al. (2015)
Leveduras ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	<i>S. cerevisiae</i> estava comercialmente disponível em forma liofilizada.	5-20 g	Chá verde (GT) e chá preto (BT)	50 mL	Os experimentos de adsorção em lote foram realizados em vidro de 100 mL Frascos Erlenmeyer contendo 50 mL de GT (pH 5,95) e BT (pH 5,27) infusões. <i>S. cerevisiae</i> estava comercialmente disponível em forma liofilizada.	-	3	5,95	Os testes estatísticos foram realizados usando STATGRAPHICS Plus versão 1.4	Jilani et al. (2015)
Levedura residual de cervejaria	O material orgânico foi distribuído igualmente em frascos de Erlenmeyer de 250 mL e lavado com água destilada para completa retirada dos resíduos de cerveja.	0,05 g	Compostos fenólicos do bagaço da uva das variedades Cabernet Sauvignon e Bordeaux	12,5g/mL	As amostras destinadas ao experimento de cinética de bioadsorção foram preparadas em frascos de Erlenmeyer de 250 mL na proporção de 0,05 g de levedura seca para cada 12,5 mL de extrato.	25	6	1,2	As equações de pseudo-primeira ordem (LAGERGREN, 1898) e pseudo-segunda ordem	Rubio et al. (2018)
Levedura residual de cervejaria	A biomassa foi lavada consecutivamente com água ultrapura. Em seguida, foi centrifugada a 1540	100 mg	Erva-mate ( <i>Ilex paraguariensis</i> )	15 ml	Método proposto por Stafussa et al. (2016)	25	4	3,0 a 10,0	Digestão gastrointestinal in vitro; Modelos matemáticos de pseudo-segunda	Rampazzo et al. (2019)

	rpm por 10 min e armazenada em sacos plásticos a vácuo sob refrigeração (-6 ° C)								ordem, difusão intrapartícula e Elovich	
Levedura residual de cervejaria	As amostras de levedura foram lavadas em água destilada, secas sob uma pressão inferior a 0,003 mBar a -45 ° C por 48 h. Depois foram moídas, embaladas a vácuo e armazenadas a -18 ° C	0,3 g	Bagaço de mirtilo	50 ml	O estudo cinético de bioissorção foi realizado em 100 mL Frasco Erlenmeyer contendo 0,3 g de partículas de fermento residual seco e 50 mL da solução de extrato fenólico de mirtilo acima mencionada.	20, 30 e 40	2	2,0	Para estudo paramétrico, um sistema neural artificial de feed-forward de três camadas, para correlacionar os parâmetros operacionais, temperatura e tempo de bioissorção	Tao et al. (2019)
Levedura residual de cervejaria	A biomassa foi lavada com água deionizada, seguida de congelamento (-80 ° C). Posteriormente, foi submetida à liofilização e armazenada em embalagens a vácuo a -20 ° C	0,05 g	Polpa de açáí	10 ml	Erlenmeyer (100 mL) foram preenchidos com 0,05 g do bioissorvente e 10 mL dos extratos. Eles foram mantidos em um agitador rotativo a 120 rpm e 30 ° C.	30	4	3,6	Modelagem dos dados experimentais foi realizada seguindo cinco não modelos cinéticos lineares, incluindo o pseudo primeira ordem (PFO), o pseudo segunda ordem (PSO), Elovich (EL), Blanchard três parâmetros (BTP) e difusão intrapartícula (IP)	Rossettoa et al. (2020)



### 3.2 BIODSORVENTE: *Saccharomyces cerevisiae*

A *S. cerevisiae* é considerada um dos biossorbentes mais promissores no processo de biossorção (RIBEIRO et al, 2019), podendo ser utilizada de diversas formas e origens, por exemplo, célula viva ou morta, célula imobilizada ou livre, célula pré-tratada por processo físico-químico, cultura de laboratório ou de resíduos industriais (WANG; CHEN, 2006).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* destaca-se por ser um fungo bem conhecido, principalmente por sua relevância econômica nos setores sucroalcooleiro, cervejeiro e de panificação (SCHNEITER, 2004; BAKER; GONÇALVES, 2012). É considerado uma ótima fonte de proteínas, vitaminas do complexo B, ácidos nucleicos e minerais, além de uma forma biologicamente ativa de cromo, conhecido como fator de tolerância a glicose (FERREIRA et al., 2010; HOSEINIFAR; MIRVAGHEFI; MERRIFIELD, 2011). Os concentrados de levedura podem ser encontrados na forma de pós, flocos ou comprimidos, o que possibilita a mistura com alimentos sólidos ou líquidos (FERREIRA et al., 2010).

O conhecimento sobre a estrutura da *S. cerevisiae* é fundamental para que seja possível compreender o processo de biossorção neste tipo de célula, uma vez que a parede celular e a composição são fatores essenciais para tornar possível a adsorção dos compostos (BRADY; DUNCAN, 1994). Além disso, de acordo com Ferreira et al, (2019), o preparo deste biossorbente deve ser igualmente considerado, visto que pode variar dependendo do objetivo da pesquisa.

No estudo de Rampazzo et al, (2019), a biomassa passa por consecutivas lavagens com água ultrapura até não apresentar mais odor de cerveja e eliminação dos açúcares oriundos da produção. Em seguida, a biomassa foi centrifugada a 5000 rpm por 10 minutos, liofilizada por 72 horas e armazenada em sacos plásticos a vácuo, sob refrigeração (-6 °C). Por sua vez, Rossetto et al, (2020) utilizou o seguinte preparo: lavagem da levedura com água deionizada para remoção dos resíduos de cerveja, seguido de congelamento (-80 ° C), posterior liofilização e armazenamento em embalagens a vácuo a -20 ° C.

## 4 BIODSORÇÃO NA ÁREA DE ALIMENTOS

A biossorção na área de alimentos (Tabela 3) tem sido usada como um novo método de enriquecimento, principalmente para aumentar os níveis de compostos fenólicos presentes num determinado alimento. O motivo se baseia na baixa quantidade

de compostos fenólicos que de fato são absorvidos pelo organismo humano. Sabe-se que devido as condições do trato gastrointestinal, grande parte destes compostos são degradados. Por isso, encontrar métodos de proteção destes compostos, de forma que sejam melhor absorvidos pelo organismo, é de fundamental importância (RAMPAZZO et al. 2019).

No estudo de Stafussa et al (2016), por exemplo, houve a extração de antocianinas do bagaço de uva e a recuperação desses compostos por bioissorção em levedura (*S. cerevisiae*) residual do processo de cerveja. Os autores descobriram que os bagaços de uva têm alto teor de antocianinas, o que justifica sua recuperação pelo processo de bioissorção e posterior aplicação com ingrediente para produtos da indústria alimentar e farmacêutica.

Por sua vez, no estudo realizado por Rampazzo et al (2019), a técnica de digestão gastrointestinal *in vitro* foi utilizada para simular as condições pelas quais o produto seria exposto após ser ingerido. O teste de digestão permitiu identificar nas etapas gástrica e intestinal a evolução dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante dos extratos bioissorvidos nas leveduras. Foi percebido que após a fase gástrica, tanto as concentrações de Compostos Fenólicos Totais (CFT), como a capacidade antioxidante foram maiores do que os valores iniciais. Este resultado era esperado, por ser um processo natural que ocorre devido as transformações que os compostos sofrem diante da diminuição do pH e da ação das enzimas digestivas. Este comportamento foi igualmente observado por Pérez-Vicente et al. (2002), que identificou um aumento de antocianinas individuais do suco de romã após a fase gástrica, principalmente de glicosídeos de cianidina e delphinidina.

Após a fase intestinal, Rampazzo et al (2019) observaram que os extratos puros sofreram significativa redução dos compostos fenólicos (redução de 83%), o que é explicado pela alcalinidade a que foram submetidos, como também a ação das enzimas pancreáticas, que alteram a estrutura dos compostos, afetando a solubilidade dos mesmos (KROLL et al., 2003; MINEKUS et al., 2014). Em contrapartida, após a fase intestinal, os extratos bioissorvidos na levedura apresentaram aumento de 155% e 135% na concentração de CFT e capacidade antioxidante, respectivamente. Além disso, por meio da bioissorção houve aumento de 239% da bioacessibilidade dos compostos bioativos. Jilani et al. (2015) e Rubio et al. (2018) igualmente avaliaram a digestão *in vitro* de compostos bioativos após bioissorção em *S. cerevisiae*, e verificaram aumento na bioacessibilidade de 100% e 21,92% respectivamente.

Tabela 3 – Diferentes aplicações da bioissorção na área de alimentos.

Referência	Bioissorvente	Adsorvato	Objetivo	Principais conclusões	Possíveis aplicação na área de alimentos
Jilani et al. (2015)	Leveduras (Saccharomyces cerevisiae)	Chá verde (GT) e chá preto (BT)	O objetivo do presente estudo foram: investigar o uso potencial de S. cerevisiae como bioissorvente para recuperar polifenóis de infusões de chá verde e preto	A bioissorção em S. cerevisiae parece ser uma boa opção para extrair polifenóis do chá verde e do chá preto	Enriquecimento de alimentos e proteger o chá ou outros alimentos ricos em antioxidantes.
Stafussa et al. (2015)	Levedura residual de cervejaria (Saccharomyces cerevisiae)	Bagaço de uva	extração de antocianinas de bagaço de uva de diferentes variedades de uva e a recuperação desses compostos por bioissorção em levedura de cerveja	A maior capacidade de bioissorção de antocianinas na biomassa de levedura foi alcançado com os extratos de bagaço de uva Tannat.	Uma aplicação potencial de S. cerevisiae enriquecida com antocianinas podem ser como ingrediente antioxidantes para produtos da indústria alimentar e farmacêutica.
Rubio et al. (2018)	Levedura residual de cervejaria (Saccharomyces cerevisiae)	Bagaço da uva das variedades Cabernet Sauvignon e Bordeaux	Estudar a bioissorção de compostos fenólicos do bagaço de uva (variedades Cabernet Sauvignon e Bordeaux) em leveduras Saccharomyces cerevisiae descartadas do processo cervejeiro, para obtenção de uma biomassa enriquecida com antioxidantes.	A modificação química de leveduras Saccharomyces cerevisiae se mostrou um eficiente modo de aprimorar as capacidades bioissorativas do material biológico, visto que as leveduras tratadas com ácido e base apresentaram as maiores capacidades de sorção no estudo cinético.	A aplicação do complexo bioissorvato-bioissorvente em formulações alimentícias e farmacêuticas.
Tao et al. (2019)	Levedura residual de cervejaria (Saccharomyces cerevisiae) da cerveja Tsingtao	Bagaço de mirtilo	O objetivo deste estudo é compreender a aplicação do ultrassom. Para aumentar a bioissorção de fenólicos	A aplicação do ultrassom melhorou significativamente a bioissorção de fenólicos do bagaço.	Desenvolvimento de novo produto com alto valor biológico a partir de um resíduo como a S. cerevisiae, rico em

					compostos fenólicos.
Rampazzo et al. (2019)	Levedura <i>S. cerevisiae</i> , obtida a partir do processo de fermentação alcoólica da cerveja do tipo Pilsen	Extrato fenólico de erva-mate	avaliar o potencial bioativo de compostos fenólicos da erva-mate na biomassa de <i>S. cerevisiae</i>	Testes cinéticos demonstraram que houve retenção de compostos fenólicos na levedura; A alteração do pH promoveu a melhora da capacidade bioativa; Houve aumento da bioacessibilidade dos compostos fenólicos do extrato de erva-mate por meio da bioextração	Desenvolvimento de novo produto com alto valor biológico a partir de um resíduo como a <i>S. cerevisiae</i> , rico em compostos fenólicos.
Rossetto et al. (2020)	Levedura residual de cervejaria ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	Polpa de açaí	O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de enriquecimento de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> por bioextração de compostos fenólicos da polpa de açaí	As sementes de açaí provaram ser um resíduo com grande potencial de compostos fenólicos. Além disso, a polpa também apresentou altas concentrações de compostos bioativos.	A concentração de compostos fenólicos e Atividade antioxidante nos extratos após a bioextração, resultando em um resíduo de levedura rica em compostos bioativos / atividade antioxidante que pode ser aplicada na produção de alimentos, produtos farmacêuticos e rações animais.

## 5 CONCLUSÃO

A bioextração vem sendo explorada de forma satisfatória em diferentes áreas, incluindo a área de alimentos. Contudo, grande parte dos estudos estão fundamentados no tratamento de efluentes. Diante disso, pesquisas direcionadas a outras formas de aplicação são de interesse, tendo em vista os benefícios do uso da bioextração para os processos industriais.

A bioextração na indústria de alimentos ainda precisa ser mais explorada, uma vez que sua aplicação permite contribuir em diferentes campos, como desenvolvimento

de novos produtos, tratamento de efluentes, remoção de substâncias indesejáveis e remoção/reuso de substâncias desejáveis contidas em resíduos. Tais aplicações contribuem para o progresso da indústria de alimentos, propondo processos mais sustentáveis, econômicos e eficientes.

## REFERÊNCIAS

- BAKER, V.; GONÇALVES, D. **Biotechnological aspects of a polysaccharide of *Saccharomyces cerevisiae* (mannan) in veterinary medicine.** Revista Eletrônica da Faculdade Evangélica do Paraná, Curitiba, v. 2, n. 4, p. 51-62, 2012.
- BARROS, D. C. et al. **Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão.** Revista Biotecnologia & Ciência, v.6, n.1, p.01-15, 2017.
- BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. **Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão.** Revista Biotecnologia & Ciência, v.6, n.1, p.01-15, 2017.
- BRADY, D.; DUNCAN, J. R. **Bioaccumulation of metal cations by *Saccharomyces cerevisiae*.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 41, p. 149-159, 1994.
- CALFA BA, TOREM ML. **Uso de Biomassas em Processos de Combinação Biossorção/Flotação para remoção de Metais Pesados.** Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro. 2007.
- CHOJNACKA K. **Biosorption and bioaccumulation—the prospects for practical applications.** Environment International, v.36, n.3, p.299–307, 2010.
- COELHO, G. F., GONÇALVES JR, A. C., SOUSA, R. F. B., SCHWANTES, D., MIOLA, A. J., DOMINGUES, C. V. R. **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas.** Journal of Agronomic Sciences, v.3, n. especial, p.291-317, 2014.
- COLLA, Luciana Maria et al. **Biossorção de cromo hexavalente de efluente utilizando resíduos agroindustriais fermentados por cepas de aspergillus.** Science & Engineering Journal, São Paulo, p.67-70, dez. 2014.
- CORREA, V. G.; GONÇALVES, G. A.; SÁ-NAKANISHI, A. B.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L.; DIAS, M. I.; KOEHNLEIN, E. A.; SOUZA, C. G. M.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. **Effects of in vitro digestion and in vitro colonic fermentation on stability and functional properties of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) beverages.** Food Chemistry, v. 237, p. 453-460, 2017.
- ESMAEILI, A., Beni, A.A., 2015. **Biosorption of nickel and cobalt from plant effluent by *Sargassum glaucescens* nanoparticles at new membrane reactor.** Int. J. Environ. Sci. Technol. 12 (6), 2055–2064.
- EL-SAYED, H. E. M.; EL-SAYED, M. M. H. **Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents: A Review.** v. 2014, 2014.
- EL-SAYED, H. E. M.; EL-SAYED, M. M. H. **Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents: A Review.** v. 2014, 2014.
- FERNANDES. **Apple: phenolic compounds and human health.** Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde, v 9, n.2, p. 29-33, 2019.

FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; PINHO, O.; VIEIRA, E.; TAVARELA, J. G. Brewer's **Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications**. Trends In Food Science & Technology, v. 21, n. 2, p. 77-84, 2010.

FOMINA, M.; GADD, G. M.; **Biosorption: current perspectives on concept, definition and application**. Bioresource Technology, v. 160, p. 3-14, 2014.

GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D.; BARANIAK, B.; LIN, R. **The effect of simulated digestion in vitro on bioactivity of wheat bread with tartary buckwheat flavones addition**. Food Science and Technology, V. 42, P. 137-143, 2009.

HAMINIUK, C. W. I. et al. **Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits**. International Journal of Food Science and Technology, v. 46, p. 1529-1537, 2011.

HOSEINIFAR, S. H.; MIRVAGHEFI, A.; MERRIFIELD, D. L. **The effects of dietary inactive brewer's yeast Saccharomyces cerevisiae var. ellipsoideus on the growth, physiological responses and gut microbiota of juvenile beluga (Huso huso)**. Aquaculture, v. 318, p. 90-94, 2011.

JILANI, H.; CILLA, A.; BARBERÁ, R.; HAMDI, M. **Biosorption of green and black tea polyphenols into Saccharomyces cerevisiae improves their bioaccessibility**. Journal of Functional Foods, v. 17, p. 11-21, 2015.

KOEHNLEIN, E. A.; KOEHNLEIN, E. M.; CORRÊA, R. C.; NISHIDA, V. S.; CORREA, V. G.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. **Analysis of a whole diet in terms of phenolic content and antioxidant capacity: effects of a simulated gastrointestinal digestion**. International Journal of Food Science and Nutrition, v. 67, n. 6, p. 614-623, 2016.

KROLL, J.; RAWEL, H. M.; ROHN, S. **Reactions of plant phenolics with food proteins and enzymes under special consideration of covalent bonds**. Food Science and Technology, v. 9, n. 3, p. 2015-2018, 2003.

LESMANA, S. O. et al. **Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater**. v. 44, 2009.

LÓPEZ-MIRANDA, S. et al. **Use of cyclodextrins to recover catechin and epicatechin from red grape pomace**. Food Chemistry, v. 203, p. 379-385, 2016.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. **A standardised statistic in vitro digestion method suitable for food – and international consensus**. Food & Function, v. 5, p. 1113-1124, 2014.

OLIVEIRA, A. L. M., de, S., Maciel, G. M., Rossetto, R., Liz, M. V. de, Ribeiro, V. R., et al. (2019). Saccharomyces cerevisiae biosorbed with grape pomace flavonoids: Adsorption studies and in vitro simulated gastrointestinal digestion. **International Journal of Food Science and Technology**, 54, 1413-1422.



PÉREZ-VICENTE, A.; GIL-IZQUIERDO, A.; GARCÍA-VIGUERA, C. **In vitro gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins and vitamin C.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 50, p. 2308-2312, 2002.

RAMPAZZO, V. R; MACIEL, G. M; FACHI, M. M; PONTAROLO, R. FERNANDES, I. A; STAFUSSA, A. P; HAMINIUK. **Improvement of phenolic compound bioaccessibility from yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts after biosorption on *Saccharomyces cerevisiae*.** Food Research International, v.126, 2019.

RIBEIRO, et al. **Improvement of phenolic compound bioaccessibility from yerba mate (*Ilexparaguariensis*) extracts after biosorption on *Saccharomyces cerevisiae*.** Food Research International 129, 2019

ROBARDS, K. et al. **Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits.** Food Chemistry, v. 66, p. 401-436, 1999.

ROSSETTOA, et al. **Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process.** LWT - Food Science and Technology, 2020.

SCHNEITER, R. **Genetics, Molecular and Cell Biology of Yeast.** Université de Fribourg Suisse, 2004.

SINGH, B. et al. **Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review.** Food Chemistry, v. 206, p. 1-11, 2016.

STAFUSSA, A. P.; MACIEL, G. M.; ANTERO, A. G. S.; SILVA, M. V.; ZIELINSKI, A. A. F.; HAMINIUK, C. W. I. **Biosorption of anthocyanins from grape pomace extracts by waste yeast: kinetic and isotherm studies.** Journal of Food Engineering, V. 169, P. 53-60, 2016.

STAFUSSA, et al, **Biosorption of anthocyanins from grape pomace extracts by waste yeast: kinetic and isotherm studies.** Journal of Food Engineering, 2016.

TAOA et al. **Parametric and phenomenological studies about ultrasound-enhanced biosorption of phenolics from fruit pomace extract by waste yeast.** Ultrasonics – Sonochemistry, 2019.

WANG, J.; CHEN, C. **Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review.** Biotechnology Advances, v. 24, p. 427–451, 2006.

ZAGKLIS, D. P.; PARASKEVA, C. A. **Purification of grape marc phenolic compounds through solvent extraction, membrane filtration and resin adsorption/desorption.** Separation and Purification Technology, v. 156, p. 328-335, 2015.