

Uma Visão Geral da Valorização de Subprodutos Gerados na Indústria Cervejeira

Overview of the valorization of brewery industry by-products

Carolina Duque Aldana,^a Luciana Camargo de Oliveira,^a  Walter Ruggeri Waldman^{a,*} 

^a Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências e Tecnologia para a Sustentabilidade

*E-mail: walter.waldman@gmail.com.

Recebido: 24 de Abril de 2020

Aceito: 18 de Fevereiro de 2021

Publicado online: 14 de Abril de 2021

The brewery production is one of the main industries in the world, generating a huge quantity of waste and emissions, which could be controlled using a suitable environmental management plan. Regarding brewery solid waste or by-products, it is increasing the trend of reuse in several different ways. The present work makes an overview of the types of waste and emissions generated in the brewing industry, compares the properties of the two main by-products generated in the brewing - Brewer's spent grains (BSG) and surplus yeast (BY) - and their applications as food or energy source, and their biotechnological potential as a biomaterial and as an environmental remediation vehicle.

Keywords: Biomass; brewery spent grain; exhausted brewery yeast; waste valorization; sustainability.

1. Introdução

A cerveja é a quinta bebida mais consumida no mundo, perdendo apenas para o consumo de bebidas como chá, bebidas carbonatadas, leite e café. Essa indústria tem um consumo médio de 9,6 L/capita,¹ e representa uma economia importante na indústria de alimentos. A produção de cerveja geralmente usa cevada maltada como matéria-prima; no entanto, algumas cervejarias também usam outros tipos de cereais como o trigo ou o milho, grãos não maltados e açúcares ou xaropes de espiga como adjuntos. Para o processo de fermentação são utilizados lúpulos, água e leveduras do gênero *Saccharomyces*. Para produzir cerveja, são utilizadas grandes quantidades de energia elétrica, combustíveis convencionais e água. Em relação à água, a quantidade que entra no sistema - produção (*input*) é considerada praticamente igual à quantidade que sai do sistema - água residual (*output*). Essas águas residuais geradas, bem como os resíduos sólidos e subprodutos do processo, são considerados elementos do sistema de balanço de massa da produção de cerveja. No entanto, existem maneiras de controlar ou reduzir o consumo de insumos e a emissão de poluentes, usando mecanismos de produção mais limpos.²

1.1. Processo de produção de cerveja

Para o processo de elaboração de cerveja são geralmente usados a cevada maltada (ou outros cereais), lúpulo, água e fermento.² A cevada maltada é a mais utilizada como matéria-prima, porém, devido ao custo econômico e também no consumo de água e energia na maltagem desse grão, tem crescido o interesse em utilizar grãos não maltados, aderindo enzimas exógenas, como alternativa mais ótima e eficiente de matéria-prima na fabricação da cerveja.⁴⁴

O procedimento convencional da fermentação começa com a etapa de maltagem, onde as enzimas do grão de cevada são produzidas. Nesse estágio, o endosperma é modificado e as paredes celulares são quebradas, tornando os amidos e proteínas da célula mais acessíveis. O objetivo da maltagem é produzir no grão germinado enzimas que provocam alterações nos constituintes químicos da cevada para a degradação de moléculas maiores durante a maceração, pois embora o grão de cevada já possua enzimas como a β -amilase, outra grande parte das enzimas (α -amilase, protease, celulase e β glucanase) são acumuladas ou produzidas após o processo de germinação. A próxima etapa é a moagem do grão de cevada, na qual adiciona-se um adjunto gelatinizado (grãos suplementares) e água, formando o que se denomina a mistura. A maceração consiste no cozimento dessa mistura para a obtenção de um extrato de alto rendimento (mosto doce). Nesta etapa as enzimas hidrolisam o amido em açúcares fermentáveis

e as proteínas em aminoácidos. As α e β amilases são consideradas as enzimas chave neste processo, pois são as principais responsáveis pela liquefação e sacarificação da amilose e amilopectina. A β amilase degrada o amido da extremidade não redutora da cadeia de carboidratos, atacando as longas cadeias de amido presentes no início do processo de maceração, degradando-as principalmente em maltose; por outro lado, a α amilase ataca a amilose e a amilopectina de dentro da cadeia do amido, quebrando as ligações entre as moléculas de glicose nas uniões $\alpha[1,4]$ e degradando as cadeias menores principalmente em glicose, maltose e maltotriose. Em seguida, o mosto é separado da mistura por meio de um sistema de filtração, que deve passar por um processo de fervura e evaporação. A fervura esteriliza o mosto, coagula as proteínas dos grãos, interrompe a atividade enzimática e elimina compostos voláteis; também, forma íons metálicos, taninos e lipídios para formar compostos insolúveis.^{2,45,46}

Por trás da reação química simplificada presente na Equação (1) está uma série de reações bioquímicas complexas; as três básicas ocorrem durante a maltagem e a maceração: amilólise (degradação do amido em açúcares fermentáveis), citólise (ruptura das paredes celulares durante o processo de maltagem) e proteólise (modificação da proteína do grão em alto, médio e baixo peso molecular e aminoácidos).^{2,44}

Em uma etapa posterior, o mosto é sedimentado, resfriado e a levedura *Saccharomyces* é dosada para formar os álcoois e gás dióxido de carbono a partir do consumo de açúcares - Equação (1). Após o chamado período de maturação (onde o mosto é deixado para ficar com a levedura), algumas cervejas passam por dois ou mais processos de fermentação dependendo da qualidade exigida. O excedente de levedura é geralmente removido por centrifugação e armazenado a frio, seguida de uma etapa de condicionamento da temperatura. Imediatamente depois, essa cerveja será filtrada novamente, geralmente usando terras diatomáceas para remover qualquer excesso de fermento restante. Finalmente, e para eliminar completamente qualquer microorganismo indesejável, a

cerveja passa por um processo de pasteurização antes do engarrafamento.² Dependendo do tipo de fermentação e da temperatura de fermentação, a cerveja é dividida em dois tipos: lager (espécies *S. pastorianus*) e ale (espécie *S. cerevisiae*). A diferença entre esses dois são seus fenótipos e características genômicas.³

A levedura desempenha um papel primordial na qualidade da cerveja final, o gênero dessa levedura é chamado *Saccharomyces* e inclui espécies como: *S. bayanus*, *S. cariocanus*, *S. cerevisiae*, *S. kudriavzevii*, *S. mikatae*, e *S. paradoxus*.⁴ Essas leveduras são as mais utilizadas no processo de produção de cerveja, devido ao seu rápido crescimento, bom desempenho na produção de etanol e tolerância a várias condições ambientais.⁵



Onde ATP representa trifosfato de adenosina; ADP representa difosfato de adenosina.

A reação apresentada na Equação (1) é conhecida como “via glicolítica” e envolve enzimas e reações anaeróbicas nas células da levedura. No processo de fermentação existem 5 tipos de açúcar: glicose, frutose, sacarose, maltose e maltotriose; esses açúcares são a fonte de carbono do processo. A sacarose é hidrolisada pela enzima invertase na parede celular da levedura, dividindo-a numa molécula de glicose e uma de frutose, ambos podem ser assimilados na via glicolítica. A produção de álcoois além do etanol está ligada ao consumo de nitrogênio, uma vez que a levedura requer esse elemento para a formação de proteínas e outros compostos nitrogenados.²

1.2. Geração e tipos de resíduos no processo da produção de cerveja

No processo de produção da cerveja, há um grande consumo de água e energia, além de uma grande geração de resíduos e emissões (Figura 1).

A água residual, produto da fabricação de cerveja, é

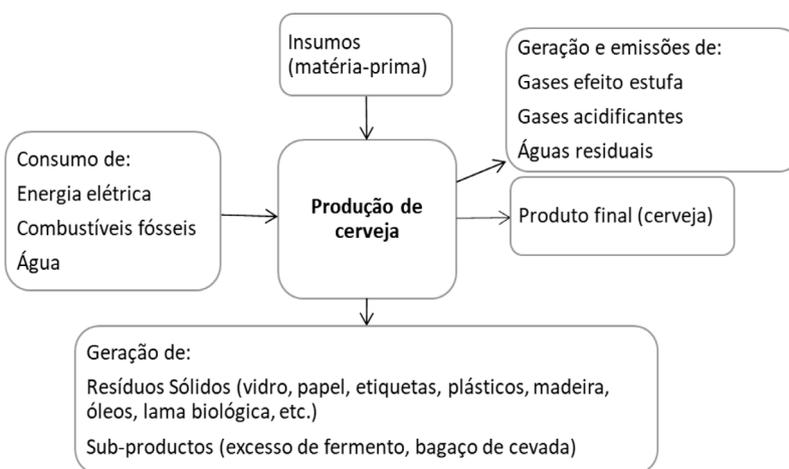


Figura 1. Diagrama de entradas e saídas na produção de cerveja²

gerada quase nas mesmas quantidades que a água consumida na própria produção. Essas águas residuais são compostas principalmente por altos teores de material orgânico, não são tóxicas e geralmente são facilmente biodegradáveis.⁶ Nitrogênio e fósforo podem ser encontrados no efluente e suas concentrações variam de acordo com o tipo de matéria-prima e a quantidade de levedura presente, enquanto a concentração de metais pesados é geralmente muito baixa sendo gerada no processo de embalagem. Os mecanismos para o tratamento dessas águas variam de procedimentos físicos, químicos e biológicos a uma combinação dos três, dependendo da fonte e dos recursos a serem investidos pela empresa.^{2,7}

Segundo Olajire,² a indústria cervejeira utiliza uma quantidade muito alta de energia em seus processos. Suas fontes são geralmente: energia elétrica, energia térmica e / ou combustíveis fósseis (diesel, gás natural e carvão), sendo este último mais usado como sistemas de suprimento de energia em equipamentos (bombas, compressores, etc.). Atualmente, a indústria de cerveja vem adotando uma cultura ambiental utilizando mecanismos de eficiência energética e seguindo os princípios de sustentabilidade ambiental, termo que busca a inclusão de aspectos sociais, econômicos e ambientais no sistema. Existem dois indicadores simples que o setor industrial vem usando para explicar sua eficiência energética, Equações (2) e (3):

$$\text{Energia por unidade de produção} = \frac{\text{Energia usada}}{\text{Produção}} \quad (2)$$

$$\text{Produção por unidade de energia} = \frac{\text{Produção}}{\text{Energia usada}} \quad (3)$$

O consumo de energia causa emissões de gases para a atmosfera, dentre os quais existem odores e vapores típicos do processo; no entanto, a emissão de gases de efeito estufa (Dióxido de oxigênio (CO₂), Óxidos de nitrogênio (NO_x), Dióxido de enxofre (SO₂), gerados no processo de combustão no interior da maquinaria, são consideradas as mais relevantes porque são os gases que causam as mudanças climáticas.²

Os resíduos sólidos gerados na produção de cerveja são: bagaço de cevada, *trub*, terra diatomácea, resíduo de levedura e material de embalagem. O bagaço de cevada é gerado no processo de maceração, esse grão usado é geralmente misturado com resíduos de levedura e *trub*; o último consiste em um precipitado de proteína insolúvel gerado no processo de resfriamento do mosto. O lodo de terra de diatomáceas é outro resíduo sólido e é um produto do processo de filtração, contém água e substâncias orgânicas e é considerado um resíduo perigoso do ponto de vista da saúde pública devido às altas quantidades geradas. O resíduo de levedura provém dos processos de maturação

e fermentação da cerveja, contém alto teor de proteínas e vitamina B e é considerado um subproduto como o bagaço de cevada, devido à sua utilidade como principal matéria-prima, mas não exclusivamente da indústria de alimentos. E, finalmente, resíduos de material de embalagem (garrafas retornáveis, cacos de vidro, etiquetas etc.) que geralmente têm o seu descarte final em aterros sanitários.^{2,8-9}

1.3. Bagaço de cevada

O bagaço de cerveja ou BSG (*brewer's spent grain*, em inglês) é o subproduto mais gerado na produção de cerveja. Consiste basicamente na casca do grão de cevada obtida após o processo de preparação do mosto; a quantidade de cada um dos compostos variará dependendo do tempo de colheita e uso dos grãos, do processo de maltagem e moagem e da quantidade e qualidade dos aditivos usados no processo de fabricação da cerveja.^{11,12}

O bagaço de cevada geralmente apresenta altos valores de teor de umidade e de carbono, hemicelulose, lignina, celulose e proteína, um baixo valor de teor de cinzas e relação C/N elevada, indicando seu potencial como substrato para obtenção de bioprodutos. Em relação ao teor de aminoácidos, é relatado um valor 10 vezes inferior ao presente no excedente de levedura, sendo os mais comuns leucina, valina, alanina, serina, glicina, entre outros. Também encontra-se lipídios, minerais (cálcio, fósforo e selênio); biotina, colina, ácido fólico, niacina, vitamina B6, entre outros componentes.^{12,16,47}

Antes de 2006, a literatura encontrada mostra análises da composição química do bagaço de cevada com base na quantidade de celulose, hemicelulose, lignina e proteínas.¹⁸ Essa abordagem pode ter sido devido ao fato de que, nas últimas décadas, essa biomassa foi considerada principalmente como matéria-prima na indústria de alimentos. No entanto, nos anos posteriores, começou-se a aprofundar o seu estudo com a análise de parâmetros menos convencionais. Vitanza *et al.*,¹⁷ realizaram a análise da biodegradabilidade anaeróbica, parâmetro calculado pela divisão entre a produção teórica específica de metano e sua produção estequiométrica, reportando um valor de 86,9 % de biodegradabilidade, o que confere maior valor agregado à BSG não apenas como matéria-prima, mas também como substrato.

1.4. Excedente de levedura

Durante a fermentação, as células de levedura aumentam sua massa entre 3 e 6 vezes. Após a primeira fermentação, 90 % do material fermentável é consumido e a maior parte da levedura é coletada como biomassa de levedura *Saccharomyces*. Essa biomassa é outro subproduto gerado na produção de cerveja, apesar de ser um material que é reutilizado várias vezes no processo de fermentação, dependendo do tipo de cerveja final. Após a maturação da cerveja, o fermento restante no fundo

do tanque também é coletado como resíduo. Essa biomassa geralmente contém sólidos de levedura, sólidos de cerveja e sólidos de mosto “*trub*”.³

Poucos estudos analisam os dois maiores resíduos da indústria cervejeira em conjunto, o bagaço e o excedente de levedura.^{13-17,19} Comparando os resultados de Vitanza *et al.*,¹⁷ e Mathias *et al.*,¹⁶ observamos que o bagaço de cevada contém uma porcentagem maior de lignina, carboidratos e lipídios do que o excedente de levedura, que é consistente com a maior relação carbono/hidrogênio do bagaço. Enquanto o excedente de levedura (BY) apresenta maior conteúdo de proteína, teor de cinzas e maior biodegradabilidade (100 % biodegradável), na análise de Vitanza *et al.*¹⁷ Porém, a variação desses componentes bem como suas quantidades, dependerá do tipo de grão, época e tipo de colheita, condições operacionais (maltagem e maceração), entre outros.¹⁹

1.5. Outros resíduos sólidos

O *trub* é outro resíduo sólido da produção de cerveja e contém basicamente proteínas coaguladas insolúveis de alto peso molecular, substâncias amargas não isomerizadas do lúpulo, polifenóis, carboidratos e ácidos graxos. Esses agregados insolúveis são constituídos por partículas esféricas robustas que tendem a se associar até formar precipitados de ~ 10 µm de diâmetro, sua remoção efetiva é necessária para garantir a qualidade do produto final.⁴⁷⁻⁴⁸

As terras diatomáceas são também resíduos sólidos da cerveja, sendo material rico em silicatos e com grande área superficial comumente utilizado como elemento filtrante para remover a turbidez e proporcionar estabilidade coloidal e melhora no aspecto da cerveja final. Após o processo de clarificação da cerveja, esse material costuma aumentar três vezes seu tamanho, e mais disso, seu alto conteúdo de teor orgânico e a presença de material dissolvido e em suspensão faz desse resíduo um material difícil de tratar.^{2,8}

2. Casos de Valorização de Subproduto por Área

2.1. Potencial alimentício

O BSG tem sido usado como um complemento na dieta alimentar em humanos e animais há várias décadas, porque é rico em proteínas e fibras.²⁰⁻²² Da mesma forma, o excedente de levedura (segundo maior subproduto da indústria da cerveja) é geralmente vendido como matéria-prima para alimentar principalmente bovinos e suínos, é uma excelente fonte de proteína, fonte de vitaminas B, ácidos nucleicos e minerais, incluindo a forma biologicamente ativa do cromo, que aumenta a atividade da insulina. A principal diferença entre esses dois subprodutos é que o excedente de levedura precisa ser inativado para ser utilizado para esses fins.^{3,22} Esses subprodutos, além de suas excelentes

características nutricionais, são considerados uma fonte econômica de nitrogênio.²³ Öztürk, *et al.*,³⁵ incorporaram diferentes tamanhos de partículas de BSG na farinha branca para a produção de biscoitos, resultando em um aumento no teor de fibras do produto final. Nascimento, *et al.*,⁴⁰ concluíram em seu estudo o efeito do bagaço de cevada e da temperatura nas propriedades de expansão física de extrudados de arroz, que a combinação de farinha de arroz com bagaço de cevada tem um bom potencial na produção de *snacks* extrudados. No seu estudo, a temperatura de extrusão variou de 100 a 160 °C e a porcentagem de bagaço adicionado (0–30 %), demonstrando que a adição de bagaço diminui a energia mecânica específica dos extrudados e que as temperaturas acima de 130 °C melhoram a textura destes. O que gera valor agregado ao bagaço de cevada quando usado como matéria-prima e ao mesmo tempo reduz esse resíduo na indústria de cerveja. No entanto, esse tipo de experimento em que o consumidor final é humano não foi realizado com o excedente de levedura, devido ao alto teor de ácido nucleico em sua célula.³ A biomassa de levedura foi considerada mais um produto que poderia substituir os alimentos para a criação de peixes e já foi incluído em produtos alimentares comerciais para algumas espécies, incluindo o salmão. A inclusão dessa biomassa na dieta alimentar de peixes tem sido considerada uma boa cultura de saúde na piscicultura porque contém vários componentes imunoestimuladores, como β-glucanos, ácidos nucleicos e manano-oligossacarídeos, que geram uma resposta imune em comunidade de peixes, bem como resistência a doenças.²⁴⁻²⁶

Devido à sua alta umidade e ao alto teor de açúcares fermentáveis, o bagaço de cevada se deteriora facilmente, por isso é importante preservar essa biomassa para uso e comercialização na indústria de alimentos.²⁷ Santos,³⁶ avaliou três métodos diferentes de preservação do bagaço de cevada coletado em 8 lotes diferentes (secagem em estufa, liofilização e congelamento), concluindo que a secagem em estufa convencional é o método mais eficaz de preservação principalmente devido aos baixos custos operacionais.

2.2. Potencial energético

Na busca de alternativas não convencionais como fonte de energia, o potencial do bagaço de cevada como produtor de biogás foi investigado. Onwosi *et al.*,²⁸ testaram a eficiência do bagaço de cevada usando digestores anaeróbicos e parâmetros variados, como diluição da água e suplementação de nutrientes, relatando um rendimento de biogás entre 58 e 65 % de metano, demonstrando o potencial do BSG como produtor de biogás, também relataram que o lodo residual gerado após a digestão tem aplicações potenciais como fertilizante de alta qualidade. Vitanza *et al.*,¹⁷ avaliaram o potencial de biometanização dos dois principais subprodutos do processo de fabricação de cerveja: bagaço de cevada (BSG) e excedente de

levedura (BY), os resultados para a produção específica de metano (CH_4) usando um digestor anaeróbico foi de $0,255 \text{ L CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de DQO (Demanda Química de Oxigênio) para BY e $0,284 \text{ L CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de DQO para BSG, sendo que o conteúdo de metano gerado no processo foi de 52,4 % para BSG e 55,1 % para BY, resultados que demonstraram o potencial energético das biomassas em estudo. Essas novas alternativas de geração de energia condordam com o termo sustentabilidade, permitindo a redução desses resíduos e a criação de novos produtos.

2.3. Potencial biotecnológico

Do ponto de vista biotecnológico, a BSG é considerada uma excelente matéria-prima, principalmente devido ao seu grande valor enzimático, sua quantidade abundante de ácidos fenólicos (ácido felúrico e ácido p-cumárico) abre possibilidades de aplicação desse subproduto. Seu maior interesse está no uso de ácidos hidroxicinâmicos como matéria-prima para a bioconversão para outros produtos utilizados na indústria de alimentos (por exemplo, antioxidantes, biopolímeros etc.).¹¹ Outro de seus usos como matéria-prima está na produção de ácido láctico. Mussatto *et al.*,²⁹ relataram uma produção de 5,4 g/L de ácido láctico feita com um consumo de 0,73 g/g de glicose na presença de *Lactobacillus delbruecki*. O uso de BSG como matéria-prima é uma alternativa atraente, uma vez que outras fontes de carbono, como glicose, sacarose ou amido, não são consideradas fontes econômicas em larga escala para esse fim.²⁹ Mathias *et al.*,¹⁰ avaliaram a eficiência dos três resíduos sólidos da indústria cervejeira (bagaço de cevada, *trub* quente e excedente de levedura) quando usado como meio de cultura para bactérias do ácido láctico como potencial produtor da enzima proteolítica, sendo o excedente de levedura o que apresentou o maior potencial de produção de enzimas extracelulares, gerando um extrato proteolítico de 2,6 U/mL em 3 horas. O BSG é um material que contém um alto conteúdo de polissacarídeos, proteínas e umidade, características que o tornam particularmente suscetível ao crescimento e degradação microbiana, razão pela qual o BSG tem sido usado como meio simples de crescimento e esporulação de actinobactérias do solo.⁸ Essas bactérias desempenham um papel importante na decomposição da matéria orgânica e são essenciais na formação do húmus. Este material lignocelulósico também demonstrou ser um meio de cultura adequado para espécies como: *Lactobacillus sp.*,³⁰ *Pleurotus ostreatus*,³¹ *Penicillium janczewskii*,³² etc. Devido à presença de digestíveis orgânicos (proteínas, lipídios e amidos) e não digeríveis (celulose, hemicelulose, lignina e cinzas), esses subprodutos são considerados como substrato potencial para a produção de enzimas e, sendo um resíduo agrícola abundante, pode-se reduzir substancialmente o custo de produção destes.¹¹

2.4. Potencial biomédico

Atualmente, a população apresentou um aumento de doenças causadas pelas dietas, o que gerou uma conscientização alimentar na comunidade.⁴¹ Em 2007, os carboidratos β -glucana e Arabinoxilana foram registrados como produtos na lista da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos, pois beneficiam a saúde humana sob certas condições.⁴² O BSG é um subproduto que contém β -glucanos e arabinoxilano, entre outros componentes valiosos. Zielke *et al.*,⁴³ relataram, usando vários métodos de extração e isolamento, que a composição BGS padrão contém: 65-72 g/100 g de oligossacarídeos, 7-16 g/100 g de proteínas, 0,7-6,8 g/100 g de β -glucano e Arabinoxylan 1-3 g/100 g. Esses resultados demonstram a importância desse subproduto com grande valor agregado, principalmente na área médica e sua principal funcionalidade no tratamento de problemas gastrointestinais.

2.5. Potencial como biomaterial

O BSG tem sido usado como uma fonte potencial de nanofibras de celulose. Mishra,³⁷ demonstrou o alto valor agregado que tem o BSG, pois mantendo intacto o teor de proteína em cada estágio do processo de fabricação da fibra de nanocelulose, os resíduos gerados por estágio podem ser usados como produto para outros fins. A mesma conclusão foi alcançada por Shahabi-Ghahafarrokhii *et al.*,³⁸ usando micrografias (AFM, FTIR, XRD, TGA) confirmou que o tratamento químico das fibras dos resíduos industriais de cervejaria resulta em um aumento na estabilidade térmica de partículas de nanocelulose, considerando essas nanopartículas como material multifuncional com uma ampla variedade de aplicações em diferentes indústrias. Shahabi-Ghahafarrokhii *et al.*,³⁹ desenvolveram no seu estudo biocompósitos verdes usando resíduos de cerveja como nanoreforço em uma matriz de Kefiran, um polissacarídeo produzido durante a produção de Kefir. Os resultados do estudo demonstraram o potencial deste bionanocompósito ecológico para embalagens de alimentos, onde foi observado um aumento significativo em parâmetros cruciais dessa indústria (resistência à ruptura, energia de fratura, permeabilidade ao vapor, ΔE), dependendo do conteúdo de nanocelulose usada no nanocompósito.

2.6. Potencial como remediador ambiental

O crescimento industrial das últimas décadas motivou investigadores a estudar novas técnicas de descontaminação tanto nos efluentes quanto na atmosfera. A adsorção é uma das técnicas mais simples e com menor custo para a remoção de metais pesados, estes utilizam resíduos industriais como adsorventes. Wang *et al.*,³³ relataram a adsorção de metais pesados usando *Saccharomyces cerevisiae* nas suas diferentes formas: células vivas, mortas, desativadas, imobilizadas, livres, biomassa pré-tratada por processos

físico-químicos, ou como matéria-prima de bioprodutos. El Korhani *et al.*,³⁴ utilizou os resíduos da indústria cervejeira para elaboração de nanopartículas que foram usadas para preparar uma membrana de carvão no suporte de alumina comercial. Os resultados da carbonização hidrotérmica usando a biomassa processada (nanopartículas de resíduos de cerveja) como fonte para fabricar a membrana foram promissores, não apenas pela eficiência na separação de gases, mas também por usar como fonte material sustentável e de baixo custo, como resíduos de cerveja.

3. Conclusão

A presente revisão evidenciou que os dois principais subprodutos da indústria cervejeira (bagaço de cevada e excedente de levedura) foram utilizados como matéria-prima econômica para a produção de bioprodutos. As primeiras investigações ligadas a esses resíduos lignocelulósicos mostraram enorme potencial na indústria de alimentos, devido a suas excelentes propriedades. Contudo, nos anos subsequentes o potencial biotecnológico tem sido o mais focado, sendo que esses resíduos foram utilizados não apenas como meio de cultura, mas também como produtor de enzimas na presença de vários microrganismos. Essa biomassa pode ser usada em diferentes formas: células ativas, mortas, imobilizadas etc. No entanto, na última década, aumentou o valor agregado destes subprodutos, pois são utilizados como matérias-primas econômicas na fabricação de nanocompósitos, que têm diversas aplicações tanto na área de biomateriais quanto na área ambiental.

Referências Bibliográficas

- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Disponível em: <<http://www.oecd.org/els/health-systems/oecdhealthdata2005-usersguide.htm>>. Acesso em: 11 novembro 2018.
- Olajire, A. A.; The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production* **2012**, 256, 1. [CrossRef]
- Ferreira, I.; Pinho, O.; Vieira, E.; Tavela, J. G.; Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science and Technology* **2010**, 21, 77. [CrossRef]
- Kurtzman, C.; Robnett, C.; Phylogenetic relationships among yeast of the "Saccharomyces complex" determined from multigene sequence analyses. *FEMS Yeast Research* **2003**, 3, 417. [CrossRef]
- Piskur, J.; Langkjaer, R.; Yeast genome sequencing: The power of comparative genomics. *Molecular Microbiology* **2004**, 53, 381. [Link]
- Brewers of Europe. Guidance Note for Establishing BAT in the Brewing Industry. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/en/document/view/11527330/guidance-note-for-establishing-bat-the-brewers-of-europe>>. Acesso em 11 novembro 2018.
- Wen, Q.; Wu, Y.; Zhao, L.; Sun, Q.; Kong, F.; Electricity generation and brewery wastewater treatment from sequential anode-cathode microbial full cell. *Journal of Zhejiang University Science B* **2010**, 11, 87. [CrossRef]
- Fillaudeau, L.; Blanpain-Avet, P.; Daufin, G.; Water, wastewater and waste management in brewery industries. *Journal of Cleaner Production* **2006**, 14, 463. [CrossRef]
- Environmental health and safety guidelines for breweries. Disponível em: <<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b1ce8048855d0e8dc4df6a6515bb18/final+-+breweries.pdf?mod=ajperes>>. Acesso em 11 novembro 2018.
- Mathias, T. R. S.; de Aguiar, P. F.; Silva, J. B. A.; de Mello, P. P. M.; Sérvulo, E. F. C.; Brewery Waste Reuse for Protease Production by Lactic Acid Fermentation. *Food Technology and Biotechnology* **2017**, 55, 218. [CrossRef]
- Aliyu, S.; Bala, M.; Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology* **2011**, 10, 324. [CrossRef]
- Robertson, J.; Anson, K.; Treimo, J.; Faulds, C.; Brocklehurst, T.; Eijsink, V.; Waldron, K.; Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT Food Science and Technology* **2010**, 43, 890. [CrossRef]
- Mussatto, S.; Roberto, I.; Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* **2006**, 81, 268. [CrossRef]
- Adeniran, H.; Abiose, S.; Ogunsua, A.; Production of Fungal β amylase and Amyloglucosidase on Some Nigerian Agricultural Residues. *Food and Bioprocess Technology* **2010**, 3, 693. [CrossRef]
- Khidzir, K.; Noorlidah, A.; Agamuthu, P.; Brewery Spent Grain: Chemical Characteristics and utilization as an Enzyme Substrate. *Malaysian Journal of Science* **2010**, 29, 41. [Link]
- Mathias, T.; Alexandre, V.; Cammarota, M.; Mello, P.; Sérvulo, E.; Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. *Jornal of the Institute of Brewing* **2015**, 121, 400. [CrossRef]
- Vitanza, R.; Cortesi, A.; Gallo, V.; Colussi, I.; de Arana-Sarabia, M. E.; Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* **2016**, 30, 351. [CrossRef]
- Kanauchi, O.; Mitsuyama, K.; Araki, Y.; Development of a functional germinated barley foodstuff from brewers' spent grain for the treatment of ulcerative colitis. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **2001**, 59:2, 59. [CrossRef]
- Robertson, J.; Anson, K.; Treimo, J.; Faulds, C.; Brocklehurst, T.; Eijsink, V.; Waldron, K.; Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT Food Science and Technology* **2010**, 43, 890. [CrossRef]
- Szponar, B.; Pawlik, K.; Gamian, A.; Dey, E.; Protein fraction of barley spent grain as a new simple medium for growth and sporulation of soil actinobacteria. *Biotechnology Letters* **2003**, 25, 1717. [CrossRef]
- Dhiman, T.; Bingham, H.; Radloff, H. Production Response of Lactating Cows Fed Dried Versus Wet Brewers' Grain in Diets with Similar Dry Matter Content. *Journal of Dairy Science* **2003**, 86, 2914. [CrossRef]

22. Kaur, V.; Saxena, P. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. *Bioresource Technology* **2004**, *91*, 101. [[CrossRef](#)]
23. Bekatorou, A.; Psarianos, C.; Koutinas, A.; Production of food grade yeast. *Food Technology and Biotechnology* **2006**, *44*, 407. [[Link](#)]
24. Olivia-Teles, A.; Gonçalves, P.; Partial replacement of fishmeal by brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juvenils. *Aquaculture* **2001**, *3/4*, 269. [[Link](#)]
25. White, L.; Newman, M.; Cromwell, G.; Lindemann, M.; Brewers dried yeast as a source of mannan oligosaccharides for weanling pigs. *Journal of Animal Science* **2002**, *80*, 2619. [[PubMed](#)]
26. Li, P.; Wang, X.; Murthy, S.; Gatlin III, D.; Castille, F.; Lawrence, A.; Effect of dietary supplementations of brewer's yeast and Grobiotic-A on growth, immune responses, and low-salinity tolerance of specific white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in recirculating systems. *Journal of Applied Aquaculture* **2009**, *21*, 110. [[CrossRef](#)]
27. Valverde, P.; Barley spent grain and its future. *Cerveza y Malta* **1994**, *122*, 7. [[Link](#)]
28. Onwosi, C.; Okereke, G.; Effect of water dilution and nutrient supplements (wood ash, urea and poultry droppings) on biogas production from brewers spent grain. *Current Research Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* **2009**, 232. [[CrossRef](#)]
29. Mussatto, S.; Fernandes, M.; Dragone, G.; Mancilha, I.; Roberto, I.; Brewer's spent grain as raw material for lactic acid production by *Lactobacillus delbrueckii*. *Biotechnology Letters* **2007**, *29* 1973. [[CrossRef](#)]
30. Novik, G.; Wawrzynczyk, J.; Norrflow, O.; Szwajczer-Dey, E.; Fractions of Barley Spent Grain as Media for Growth of Probiotic Bacteria. *Microbiology* **2007**, *76*, 804. [[CrossRef](#)]
31. Gregori, A.; Svagelj, M.; Pahor, B.; Berovic, M.; Pohleven, F.; The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology* **2008**, *25*, 157. [[CrossRef](#)]
32. Terrasan, F.; Temer, B.; Duarte, M.; Carmona, E.; Production of xylanolytic enzymes by *Penicillium janczewskii*. *Bioresource Technology* **2010**, *101*, 4139. [[CrossRef](#)]
33. Wang, J.; Chen, C.; Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances* **2006**, *24*, 427. [[CrossRef](#)]
34. El Korhani, O.; Zaouk, D.; Cerneaux, S.; Khoury, R.; Khoury, A.; Cornu, D.; Synthesis and performances of bio-sourced nanostructured carbon membranes elaborated by hydrothermal conversion of beer industry wastes. *Nanoscale Research Letters* **2013**, *8*, 121. [[CrossRef](#)]
35. Öztürk, S.; Özboy, O.; Cavidoglu, I.; Köksel, H.; Effects of Brewers' spent grains on the quality and dietary fibre content of cookies. *Journal of Institute of Brewing* **2002**, *108*, 23. [[CrossRef](#)]
36. Santos, M.; Jiménez, J.; Bartolomé, B.; Gómez-Córdoves, C.; Del Nozal, M.; Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry* **2003**, *80*, 17. [[CrossRef](#)]
37. Mishra, P.; Gregor, T.; Wimmer, R.; Utilising Brewer's Spent Grain as a Source of Cellulose Nanofibres Following Separation of Protein-based Biomass. *BioResources* **2017**, *12*, 107. [[Link](#)]
38. Shahabi-Ghahafarrokh, I.; Khodaiyan, F.; Mousavi, M.; Yousefi, H.; Preparation and Characterization of Nanocellulose from Beer Industrial Residues Using Acid Hydrolysis/Ultrasound. *Fibers and Polymers* **2015**, *16*, 529. [[CrossRef](#)]
39. Shahabi-Ghahafarrokh, I.; Khodaiyan, F.; Mousavi, M.; Yousefi, H.; Green bionanocomposite based on keratan and cellulose nanocrystals produced from beer industrial residues. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *77*, 85. [[CrossRef](#)]
40. Nascimento, T.; Calado, V.; Carvalho, C.; Effect of Brewer's spent grain and temperature on physical properties of expanded extrudates from rice. *LWT - Food Science and Technology* **2017**, *79*, 145. [[CrossRef](#)]
41. Steiner, J.; Procopio, S.; Becker, T.; Brewer's spent grain: source of value-added polysaccharides for the food industry in reference to the health claims. *European Food Research and Technology* **2015**, *241*, 303. [[CrossRef](#)]
42. European Commission; Establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. *Official Journal of the European Union* **2012**, *432*, 1. [[Link](#)]
43. Zielke, C.; Teixeira, C.; Ding, H.; Cui, S.; Nyman, M.; Nilsson, L.; Analysis of -glucan molar mass from barley malt and brewer's spent grain with asymmetric flow field-flow fractionation (AF4) and their association to proteins. *Carbohydrate Polymers* **2017**, *157*, 541. [[CrossRef](#)]
44. Steiner, E.; Auer, A.; Becker, T.; Gastl, M.; Comparison of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley malt and 100% barley raw material. *J Sci Food Agric.* **2012**, *92*, 803. [[CrossRef](#)]
45. Van Donkelaar, L.; Mostert, J.; Zisopoulos, F.; Boom, R.; Van der Goot, A.; The use of enzymes for beer brewing: Thermodynamic comparison on resource use. *Energy* **2016**, *115*, 519. [[CrossRef](#)]
46. Holbrook, C. J.; *The Craft Brewing Handbook*; Howe, S.; Bamforth, C.; Holbrook, C.; Boulton, C.; Sadler, N.; Gómez-López, J.; Wray, E.; ed.; Chris Smart, 2019, cap. 3.
47. Mathias, T.; Mello, P.; Sérvulo, E.; Solid waste in brewing process: A review. *Journal of Brewing and Distilling.* **2014**, *5*, 1. [[CrossRef](#)]
48. Priest, F.; Stewart, G.; *Handbook of Brewing*, 2 ed., CRC Press and Taylor & Francis Group: Flórida, 2006.