



Análise sistemática sobre a incorporação de resíduo de malte em diferentes processos produtivos visando uma produção mais limpa

Eduarda Bertoletti Duarte

Bióloga, Mestranda em Tecnologias Limpas
eduardabertoletti@gmail.com

Luciana Cristina Soto Herek Rezende

Orientadora, Doutora, Mestrado em Tecnologias Limpas, UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI
luciana.rezende@unicesumar.edu.br

RESUMO

Durante a produção da bebida, além da quantidade elevada de água utilizada no processo, há também a geração de resíduos, destacando-se o bagaço do malte, gerados 20kg de resíduos por 100 litros de cerveja. Foi realizada uma análise sistemática sobre a inserção deste bagaço em novos ciclos produtivos. Utilizou-se descritores no idioma português e inglês nas bases de dados WEB OF SCIENCES, SciELO, Periódico CAPES, SCOPUS e BDTD, no período de 2000 até dezembro/2021. As pesquisas em maior destaque foram aquelas que avaliaram a composição do bagaço, seguido pela inserção do resíduo na alimentação humana e, o seu uso para geração de energia. Foi possível verificar, por meio desta pesquisa, o potencial do bagaço em diferentes processos produtivos, além da sua versatilidade e composição química atraente. Apesar dos dados apresentados demonstrarem a eficiência do resíduo, os estudos ainda são escassos, sendo necessária a contínua pesquisa para o melhoramento dos processos.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria cervejira. Matéria orgânica. Redução na fonte.

1. INTRODUÇÃO

O equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação do meio ambiente são os principais objetivos de estudos visando a sustentabilidade, onde uma das estratégias adotadas é a produção mais limpa (P + L), uma importante ferramenta do sistema de gestão ambiental (SGA) (OLIVEIRA et al., 2009).

Independente do processo de produção mais limpa, este tem por objetivo reduzir a poluição na fonte, sendo um dos objetivos da Agenda 2030, um plano de ação que indica 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e, dentro dos objetivos, 169 metas para acabar com a fome, combater alterações climáticas e obter a proteção ambiental, visando a redução de impactos ambientais, uso consciente da água e redução e reciclagem de resíduos (ONU, 2016).

O Objetivo 12 tem como tema principal a busca de um consumo e produção mais responsáveis com metas sobre o uso de recursos naturais, desperdício de alimentos, gestão e redução de resíduos, conscientização da população, monitoramento do cumprimento e minimização do impacto do consumo exagerado de combustíveis fósseis (ONU, 2016). Dentro do ODS de número 12, destacam-se os objetivos 12.2, em busca da gestão e uso eficiente de recursos; 12.4, com o manejo ao longo de todo o ciclo de vida dos resíduos e redução da liberação aos ambientes e seus impactos e 12.5, que incentiva a prevenção, redução, reciclagem e reuso para redução de resíduos.

Com relação aos resíduos, a indústria de alimentos é responsável por uma expressiva geração destes, resultantes de diversos processos (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). Estima-se que em diversas etapas ocorram perdas expressivas culminando na geração de resíduos, com composição variando conforme a natureza do produto e as técnicas utilizadas em seu processo, refletindo em perdas de matéria-prima e de energia (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015).

Dentro do ramo alimentício, o destaque está na indústria cervejira, com o Brasil sendo considerado o terceiro maior fabricante mundial com uma produção aproximada de mais de 14 milhões de litros, ficando atrás apenas da China e Estados Unidos (KIRIN GLOBAL BEER REPORT, 2019). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA- (2019), setor de cervejaria representa cerca de 2% do PIB faturando R\$ 100 bilhões/ano.

Durante o processamento da bebida, ocorre a geração expressiva de resíduos, entre os sólidos principais destacam-se o bagaço do malte, levedura utilizada e o lodo da estação de

tratamento, sendo o primeiro o resíduo gerado em maior quantidade, chegando a constituir mais de 80% dos subprodutos (TOMBINI et al., 2021).

O malte é o produto da germinação das sementes de qualquer cereal sob condições controladas no processo de malteação, sendo a cevada, pertencente à família das gramíneas *Hordeum*, cereal mais comum para a produção (PORTO, 2011).

O bagaço é um subproduto gerado após a etapa de mostura e esgotamento dos grãos de malte moídos, ao longo dessas etapas de processamento, a parte sólida vai ser separada, formando o bagaço de malte e a líquida segue o processo de fabricação de cerveja (MATHIAS et al., 2015). É considerado um material promissor para ser reintroduzido em novos processos, pois é gerado em larga escala e anualmente, além do baixo custo ao ser acrescentado às novas técnicas, sua composição varia em virtude dos tipos de malte, receitas e processos nos quais é utilizado (MUSSATTO, 2014). Uma produção de 100 litros de cerveja gera em torno de 20Kg de bagaço de malte, com umidade variando de 70 a 80%, considerando uma proporção anual, no ano de 2016, o resultado seria de 2,82 milhões de toneladas de resíduos gerados (MUSSATTO, 2014).

2. OBJETIVOS

Assim, o manejo dos resíduos leva a um aumento de estudos e busca para o tecnologias de reintrodução destes resíduos em outros processos. Esta pesquisa teve por objetivo a realização de uma análise sistemática sobre a inserção de resíduo de malte em diferentes processos produtivos, na busca por estudos que compactuem com a diminuição do descarte de um produto que ainda pode ser incorporado em outras cadeias produtivas, visando uma produção mais limpa, de forma a minimizar o impacto ambiental.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento da análise quali-quantitativa, teve seu início com uma revisão sistemática, de forma ampla e criteriosa, sobre a incorporação do resíduo em diferentes processos aplicados à produção mais limpa. As bases de dados consultadas foram: WEB OF SCIENCES (WOS), SciELO – Scientific Electronic Library Online, Periódico CAPES, SCOPUS e BDTD.

Os descritores utilizados foram “Bagaço Malte”, “Gestão de Resíduos AND cervejaria”, “Produção Mais Limpa AND cerveja”, “Resíduo cervejaria”, “Resíduo Malte”, “Compósito AND malte”, “Construção AND malte”, “Fibra de reforço AND malte”, “Spent Grain AND residue/waste”, “Brewery AND residue/waste”, “Malt AND byproducts”, “Malt AND biopolymer”.

Como critério de seleção foram considerados a data de publicação (de 2000 até 2021), os descritores e a aderência dos trabalhos aos objetivos desse estudo. Trabalhos que não estavam em conformidade com os critérios de seleção, não foram utilizados como bibliografia.

Após o levantamento, foram selecionados e descartados pautando-se nos critérios de seleção, permitindo afunilar a pesquisa de forma mais específica. Os artigos que atenderam aos critérios desta pesquisa, foram analisados e avaliados, lidos na íntegra e tabelados em uma planilha do programa Excel® versão 10 que permitiu a divisão por assunto do artigo em:

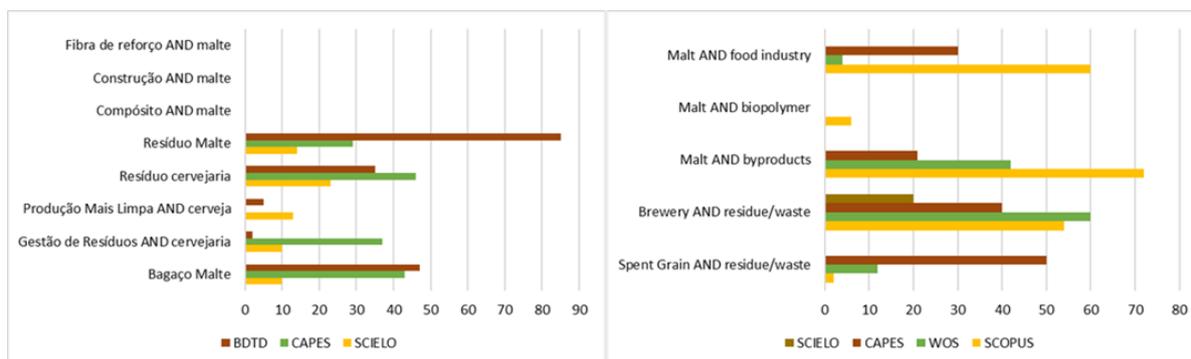
Alimentação Humana, Ambiental, Avaliação, Cosméticos, Energia, Novos produtos e Substrato. Após essa divisão, foi possível a análise e construção do trabalho.

4. RESULTADOS

Após a busca dos artigos que correspondessem ao tema pesquisado, foram excluídos artigos que não compactuavam com os objetivos deste estudo e publicações que não satisfizeram a cronologia determinada (2000 até 2021), ao final, foram obtidos 163 artigos.

Em relação a busca bibliográfica, na Figura 1 é possível observar quais descritores foram mais efetivos. Na busca pela língua portuguesa, Figura 1 (a), “Resíduo Malte”, “Resíduo Cervejaria” e “Bagaço Malte” foram os descritores que permitiram um acesso maior de artigos (mais de 20 artigos) ao observar as três bases de dados. “Gestão de Resíduos AND cervejaria” levou a um resultado satisfatório na base CAPES.

Figura 1- Relação dos descritores por base de dados (a) em língua portuguesa e (b) em língua inglesa

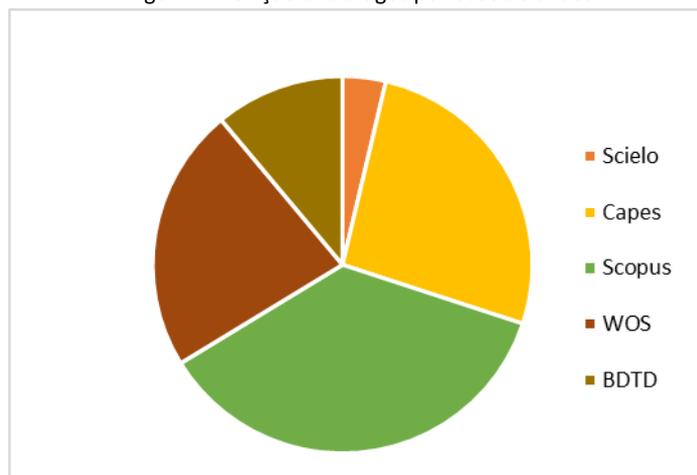


Fonte: Autores, 2021

Já, ao observar os descritores em inglês na Figura 1 (b), apenas “Malt AND biopolymer” foi o menos aderente, com resultados menores que 20 artigos, quando comparado aos outros descritores. “Brewery AND residue/waste” e “Malt AND byproducts” foram os descritores de melhor desempenho ultrapassando 100 artigos ao observar as três bases juntas.

Os artigos foram divididos pelas bases de dados de onde foram encontrados e, a partir da Figura 2 é possível observar que Scopus e Capes foram, respectivamente, as bases que permitiram os maiores acervos de trabalhos, pois permitiram o maior número de artigos com aderência ao tema deste estudo. Ao passo que Scielo permitiu um acervo significativamente menor, a maioria dos trabalhos encontrados nessa base tinham como foco alimentação animal, o que não foi incluso neste projeto.

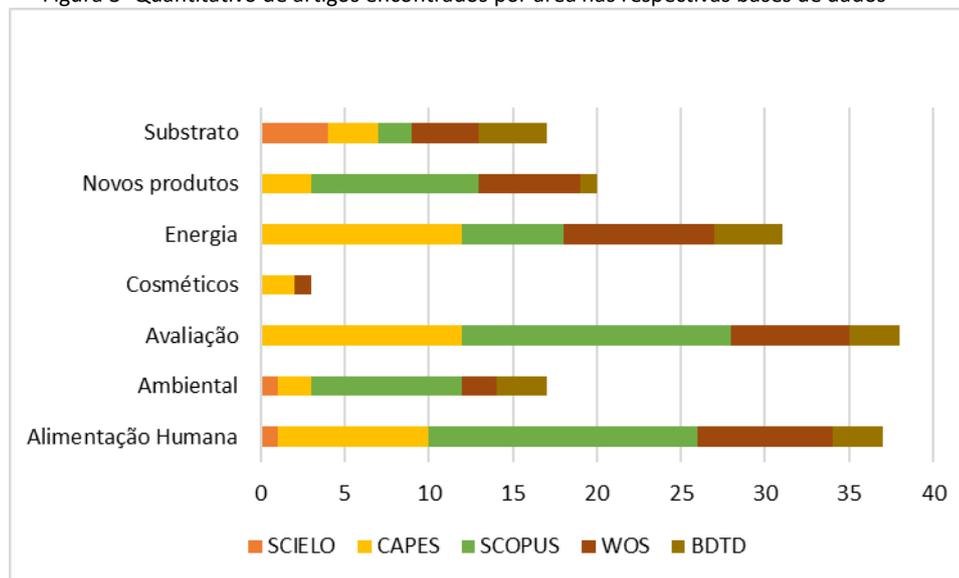
Figura 2- Relação dos artigos por base de dados



Fonte: Autores, 2021

Os artigos incluídos no estudo, passaram por uma leitura seguida de uma classificação de acordo com o foco de cada um deles, sendo colocados nas classes criadas pelos autores. A Figura 3 mostra a distribuição das classes dos artigos em cada base de dados.

Figura 3- Quantitativo de artigos encontrados por área nas respectivas bases de dados



Fonte: Autores, 2021

A classe de Avaliação se mostrou frequente nas bases CAPES, SCOPUS e WEB OF SCIENCE (WOS). Já CAPES, SCOPUS e BDTD apresentaram uma frequência alta na classe de Alimentação Humana, enquanto a classe de Energia contou com a participação, em maior frequência, das bases CAPES e WOS. Já, as classes de Cosméticos e Ambiental, apresentaram menor frequência entre as três bases. Isso mostra o investimento em estudos para a inserção em alimentos e energia, por serem áreas inerentes ao desenvolvimento humano, como a busca de uma alimentação mais natural e sustentável e novas fontes de biocombustíveis.

4.1. Resultados por área pesquisada

4.1.1. Avaliação

A área Avaliação diz respeito a análise das propriedades, composição, características, usos potenciais e a presença de moléculas específicas do bagaço de malte. Dentro do levantamento realizado, foram encontrados 38 artigos. Brewer's spent grain (BSG) é o resíduo dos grãos após serem submetidos aos processos de maltagem e maceração (JAEGER et al., 2021). Portanto, composto principalmente de pericarpo da casca e tegumento da semente, tornando-o rico em polissacarídeos celulósicos e não celulósicos, especialmente lignina, celulose e hemicelulose (DEL RIO; PRINSEN; GUTIÉRREZ, 2013; JAEGER et al., 2021). Com essa composição, esse resíduo é considerado uma boa fonte de material fibroso, pois os polissacarídeos são resistentes à hidrólise pelas enzimas digestivas do intestino delgado (DEL RIO; PRINSEN; GUTIÉRREZ, 2013).

Além disso, o resíduo é rico em carboidratos, proteínas, lipídeos e vitaminas (JAEGER et al., 2021; LORDAN et al., 2019; MATHIAS et al., 2015; DEL RIO; PRINSEN; GUTIÉRREZ, 2013). A concentração dessas moléculas no grão gasto, varia com fatores como o tipo de cereal utilizado, adição de adjuvantes, condições das fases de moagem, mosturação e clarificação (MATHIAS et al., 2015).

Del Río e colaboradores (2017), realizaram uma avaliação da composição dos principais constituintes do BSG e identificaram que os lipídeos representaram mais de 9% do material seco, sendo predominante os triglicerídeos, seguido por ácidos graxos livres e compostos esteroides. É possível observar presença da atividade antioxidante a partir dos compostos fenólicos no bagaço de malte, podendo caracterizar o bagaço de malte como fonte de compostos bioativos antioxidantes (ALMEIDA et al., 2017).

4.1.2. Alimentação Humana

A divisão de Alimentação Humana foi composta por 37 artigos com esse foco. Como mencionado anteriormente, o resíduo de malte é composto por componentes com um grande potencial nutricional, os estudos dessa área viabilizaram a inclusão dos resíduos em snacks, produtos de panificação, como pães e bolos, e outros alimentos em menor frequência. Em relação aos estudos com foco em snacks, como chips e salgadinhos, a frequência nos estudos foi maior.

A quantidade de BSG inserida variou entre os artigos, foi relatado uma dificuldade em relação a fraca expansão quando inserido o resíduo, mas esse problema se mostrou resolvido com a inserção de pectina (JOZINOVIĆ et al., 2021; AČKAR et al., 2018). A técnica de extrusão de snacks com subprodutos foi a mais utilizada, como observado em Jozinović et al. (2021), Grasso (2020), Ačkar et al. (2018); Bieli (2015), Kirjoranta, Tenkanen e Jouppila (2016). Essa técnica se mostra eficiente pois permite uma redução do tempo e custo, espaço físico menor e maior flexibilidade para a produção de produtos diferentes, ao mudar apenas a matriz, as condições de processo e a granulometria da matéria-prima (OLIVEIRA et al., 2013).

Além dos benefícios da inclusão de fibras, a adição aumenta o valor nutricional dos snack, pois melhora significativamente o nível de fibra alimentar e as proteínas brutas (BIELI,

2015). No entanto, uma dificuldade encontrada na inserção do resíduo nos alimentos são as alterações de características e redução da qualidade, especialmente de pães, a estratégia dos autores foi a fermentação biológica do BSG antes de sua introdução e a adição de enzimas no processo de fabricação, esse processo permitiu elevar as propriedades nutricionais e fibras do alimento, manter a qualidade e reduzir o envelhecimento do pão (NEYLON et al., 2021; VRIESEKOOOP et al., 2021)

4.1.3. Energia

Com 31 artigos com esse tema, essa categoria incluiu pesquisas com foco na utilização do bagaço de malte em processos e produção energética. A produção e consumo de energia são baseadas em combustíveis fósseis, responsáveis por inúmeros impactos ambientais (CORDEIRO, 2011). O esgotamento das matérias-primas para produção de combustíveis fósseis juntamente com a preocupação acerca das consequências das atividades antrópicas no ambiente leva a um crescimento na busca de fontes alternativas renováveis de energia, entre elas o biocombustível (LIGUORI et al., 2021).

A partir desse cenário, há um crescimento na busca por economias sustentáveis com base em tecnologias que utilizem fontes renováveis em seus ciclos produtivos, entre essas fontes, a biomassa, que possui um grande potencial energético (GONZÁLEZ-GARCÍA; MORALES; GULLÓN, 2018; CORDEIRO, 2011). Apesar do crescimento da biomassa como matéria-prima de bioenergia, ainda se mostra como desafio pelo baixo poder competitivo quando comparado aos combustíveis fósseis (MAIONE, 2019; BUDZIANOWSKI, 2016). Possui vantagens como baixo valor agregado e composição química, quanto maior o teor de celulose maior seu potencial na produção de biocombustível (MAIONE, 2019).

A produção de etanol a partir de biomassas lignocelulósicas é extremamente atrativa por ser uma alternativa ao combustível derivado de petróleo e diminui o conflito alimento/combustível do etanol de primeira geração (LIGUORI et al., 2021). O resíduo sólido de malte oferece vantagem quando comparado às outras biomassas por sua produção ser contínua, em larga escala e sem regionalização de indústrias, pois as cervejarias são crescentes mundialmente (MAIONE, 2019).

Ainda com todas as vantagens, o biocombustível produzido pela biomassa lignocelulósica se mostra como processo complexo pela necessidade de pré-tratamento para separação da celulose, hemicelulose e lignina, além do alto teor de umidade (GONZÁLEZ-GARCÍA, MORALES E GULLÓN, 2018; MAIONE, 2019).

López-Linares et al. (2020), propuseram uma biorrefinaria de grãos gastos de cervejaria com o pré-tratamento de micro-ondas para a obtenção de bioprodutos como arabinoxilanos (AX) e o biobutanol, é considerado um biocombustível avançado por suas melhores propriedades de combustível do que o bioetanol. Todas as formas de reaproveitamento de resíduos para permitir a produção de fontes de energias limpas e mais sustentáveis são consideráveis, a Estratégia Europa 2020 considera a bioeconomia como elemento-chave para o crescimento verde, a transformação dos resíduos em matéria prima é essencial e constitui a economia circular, elemento importante da sustentabilidade (LÓPEZ-LINARES et al., 2019; CORDEIRO, 2011).

4.1.4. Novos produtos

Nesta busca, 20 artigos compuseram essa área, com trabalhos que visam a inclusão dos resíduos em novos processos produtivos. Por sua composição volumosa em lignina, polissacarídeos (celulose e hemicelulose) e proteínas permite ao bagaço de malte um potencial de inserção em processos produtivos, além de ser um material biodegradável, uma alternativa mais sustentável (GUARDA et al., 2021).

Os polihidroxialcanoatos (PHAs) são poliésteres de grande interesse pois possuem características semelhantes aos plásticos convencionais, mas são biodegradáveis, com isso Corchado-Lopo et al. (2021) avaliaram a eficiência da utilização de BSG como fonte de carbono na produção de PHA. Guarda et al. (2021) também avaliou o BSG como fonte de carbono, mas na produção de Ácidos Graxos Voláteis (que são precursores de PHAs e bioplásticos) e demonstraram a alta produtividade desse subproduto.

Os estudos sobre BSG e plástico são ainda escassos, apesar do potencial do resíduo, mas alguns autores avaliaram a sua inclusão na produção de filme biodegradável e porta-copos (LEE et al., 2015; MONTEIRO et al., 2019; CORCHADO-LOPO et al., 2021).

Ferraz e colaboradores (2013), avaliaram a eficiência do BSG nos tijolos cerâmicos em aumentar a porosidade, resistência mecânica, isolamento térmico e maior absorção de água, características benéficas aos tijolos. Também em relação a porosidade, Quaranta et al. (2016) estudaram a viabilidade do uso do resíduo de malte como formador de poros nas cerâmicas porosas e concluíram a sua utilidade sem alterar as condições normais do produto.

Outras funcionalidades também foram avaliadas, como a possibilidade do uso do bagaço como matéria-prima em móveis e revestimentos de paredes arquitetônicas e enchimento para compósitos de madeira-polímero, nesses trabalhos foram avaliados a eventual substituição de madeira pelo subproduto biodegradável, tornando o processo mais sustentável (Monteiro et al., 2021; HEJNA et al., 2021).

Em relação à processos mais sustentáveis, Farias e outros (2017) sugere o desenvolvimento de agregados leves usando os principais resíduos de cervejaria, bagaço, terra diatomácea e lodo de estação de tratamento de águas residuais, combinados com argila e possibilitando o uso em telhados verdes (FARIAS et al., 2017). Foi possível demonstrar a eficácia desse agregado de resíduos, se mostrou eficiente na absorção de água, isolante térmico e porosidade, além de uma aplicação sustentável eficiente, se observa o alto custo-benefício.

É possível observar ainda uma baixa aderência de estudos sobre a inserção de resíduos nesses processos produtivos Barbu et al. (2020) e Vieira et al. (2020) propuseram a construção de painéis aglomerados, no entanto, observaram nos estudos a baixa eficiência dos painéis com BSG, evidenciando novos trabalhos nesse setor para identificar a quantidade certa de resíduo, adjuntos e colas eficientes.

4.1.5. Temas com predominância menor

Nesta classificação, foram incluídos os temas em que contemplaram menos de 20 artigos, sendo eles substrato para crescimento, ambiental e cosméticos, com 17, 17 e 3 artigos respectivamente.

4.1.5.1. Substrato

A escolha do substrato deve ser baseada nos nutrientes que contém para permitir o crescimento dos microrganismos, outro ponto a ser considerado é o uso de substratos com resíduos agroindustriais é o potencial, não só como fonte de matéria orgânica, mas também de carbono, energia e proteína (PAIVA-GUIMARÃES et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016). O resíduo de malte entra como uma alternativa atraente em relação a sua composição, contendo teores de fibras, proteínas, açúcares, minerais e vitaminas, além de possuir uma geração em larga escala (PAIVA-GUIMARÃES et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016; Silva et al., 2021).

Silva et al. (2021) avaliaram o crescimento micelial in vitro de um cogumelo comestível, *Pleurotus ostreatus* e observaram o desenvolvimento do cogumelo nos substratos com bagaço de malte, assim, observa-se uma produção importante para a economia e sustentável, pois utiliza um resíduo agroindustrial que é gerado continuamente, diminuindo os impactos ambientais e reduzindo os custos de produção. Além disso, publicações recentes sugerem diversas aplicações de BSG como substrato para o cultivo de microrganismos (SILVA et al., 2021), a produção de pigmentos naturais (SILBIR; GOKSUNGUR, 2019; OLIVEIRA et al., 2016), polímeros com interesse econômico (ARAÚJO, 2018) e na produção de aditivos, como gama xantana (MENEZES, 2013).

4.1.5.2. Ambiental

Nessa divisão, foi observado estudos que utilizaram das propriedades e composições do bagaço de malte para servir como adsorvente em, principalmente, tratamento de efluentes industriais, o carvão ativado, é um material baseado em carbono e, apesar de ser um dos adsorventes mais conhecidos no tratamento de efluentes, apresenta um alto custo e técnicas específicas de preparação e regeneração (BRESSAN; GEREMIAS; SOUZA, 2020).

Assim, encontra-se em evidência a busca por percursos alternativos na produção do carvão ativado, Bressan, Geremias e Souza (2020) avaliaram a capacidade de adsorção do carvão ativado (CA) preparado do bagaço de malte e compararam com outros percursos agroindustriais, a partir de uma revisão, e observaram a eficiência do bagaço como seu precursor. Osman et al. (2019) utilizou o resíduo de malte na síntese do carvão ativado na remoção de metais pesados e concluiu o uso desse CA em remediação e tratamento de efluentes, Nadolny et al. (2020) avaliaram o CA para adsorver paracetamol, analgésico popular que não é facilmente degradado e se encontra em corpos hídricos e Mildemberg (2019) desenvolveu CA para remover o corante azul de metileno de corpos hídricos.

Outro material também utilizado na adsorção é o biochar, é a fração sólida resultante da pirólise, é um material mesoporoso e rico em carbono, altamente eficiente como adsorvente (MACHADO et al., 2020). A inclusão de um resíduo produzido em larga escala constantemente tornaria o material mais barato e o processo sustentável (MACHADO et al., 2020; FRANCISKI et al., 2018). Machado e colaboradores (2020) justificam o uso de bagaço de malte pela composição de lignina, celulose e hemicelulose, a partir da pirólise do bagaço resultou na produção de biochar e ácido palmítico, assim, valorizando o resíduo.

Ao longo dos artigos, foi possível observar a possibilidade de inclusão do resíduo de malte em processos que visem uma adequação ambiental, em especial no tratamento de efluentes e águas residuais, uma questão problemática atual. Esse uso tornaria o processo mais sustentável, os autores pontuam o uso do bagaço pela sua alta disponibilidade, baixo custo e excelente alternativa à quantidade de resíduo gerada (MACHADO et al., 2020; MILDEMBERG, 2019; COSTA, 2020).

4.1.5.3. Cosméticos

Nessa última categoria, foram incluídos os estudos que avaliam as propriedades do bagaço de malte e sua inclusão em fármacos da indústria cosmética. O bagaço de malte é o resíduo sólido gerado em maior quantidade na produção da cerveja e na sua composição inclui compostos fenólicos que são de extrema importância na indústria cosmética, no entanto, a sua aplicabilidade ainda é insuficientemente explorada (ALMENDINGER; ROHN; PLEISSNER, 2020). Compostos fenólicos são compostos químicos associados a atividades antioxidantes, antienvhecimento, anticâncer, prevenir o estresse oxidativo e inibir competitivamente a tirosinase, responsável pelo escurecimento da pele (MACIAS-GARBETT et al., 2021; ALMENDINGER; ROHN; PLEISSNER, 2020).

A indústria cosmética tem demonstrado um grande interesse em extratos ricos em compostos fenólicos, pois bioativos de baixa toxicidade e de efeito clareador podem ser utilizados no tratamento de hiperpigmentação e feridas inflamatórias, por exemplo (ALMENDINGER; ROHN; PLEISSNER, 2020).

Bucci e colaboradores (2020) tiveram como objetivo extrair ácido ferúlico dos grãos gastos de cervejaria com um pré-tratamento específico, além de avaliarem seu uso cosmético. Os autores concluíram que as propriedades antioxidantes fazem tornam o composto um bioativo cosmético. Almendinger; Rohn; Pleissner (2020) realizaram um estudo com diversos resíduos de malte como fonte de bioativos cosméticos e avaliar a capacidade antioxidante, inibição da tirosinase e em queratinócitos. O resíduo foi considerado matéria promissora para a indústria cosmética, no entanto, essa área ainda carece de estudos para avaliar ainda mais a atividade eficiente desses extratos.

5. CONCLUSÃO

A indústria cervejeira tem uma participação expressiva na economia brasileira e, com sua produção, há também uma geração significativa de resíduos durante o processo da bebida, o bagaço de malte é o principal resíduo sólido da indústria cervejeira, representando mais de 80% dos resíduos gerados.

A umidade do resíduo de malte é apresentada como a principal dificuldade para sua reutilização, se fazendo necessário pré-tratamentos que permitam o seu uso e a qualidade do produto. A partir do levantamento feito, foi possível observar os esforços e os novos estudos em busca da inserção desses resíduos em novos setores industriais que se adaptem às características do bagaço.

As categorias de Avaliação, Alimentação Humana e Energia, correspondem às classes

com maior resultado de artigos encontrados, respectivamente, a avaliação do malte pelos autores permitiu observar o porquê do interesse nesse subproduto, sua composição rica em rico em polissacarídeos, especialmente lignina, celulose e hemicelulose, torna esse material uma ótima fonte de material fibroso. Além disso, o resíduo é rico em carboidratos, proteínas, lipídeos e vitaminas, demonstrando a versatilidade deste produto.

A alimentação humana, se mostrou como o principal uso nos artigos, além da aceitabilidade dos consumidores e eficiência da inclusão do bagaço, a adição se mostra eficiente pela presença de fibras e melhorar o valor nutricional dos alimentos.

Já na classe de energia, foi observado o benefício do uso do bagaço de malte por sua produção contínua e em larga escala, no entanto, alguns autores demonstraram dificuldades pela composição lignocelulósica que necessita de pré-tratamentos para que houvesse um melhor aproveitamento energético.

Com este trabalho, foi possível observar que um aumento nos estudos de reaproveitamento do bagaço de malte, esse produto vem se mostrando eficiente e versátil, características importantes na sua inserção em diversos setores, além do seu baixo custo e produção interrupta. Os resultados encontrados foram como o esperado, o uso desse resíduo em novos processos que vão permitir a redução do descarte inadequado e a diminuição do impacto ambiental, permitindo cadeias produtivas limpas e sustentáveis, pautando-se em princípios do sistema de gestão ambiental (SGA) e da ferramenta de produção mais limpa (P + L). A reutilização deste subproduto, que é produzido em quantidades abundantes, tornaria a processo não só economicamente mais eficiente, mas também, sustentável, compactuando com os objetivos propostos na Agenda 2030.

REFERENCIAL TEÓRICO

AČKAR, Đ.; JOZINOVIĆ, A.; BABIĆ, J.; MILIČEVIĆ, B.; BALENTIĆ, J. P.; ŠUBARIĆ, D. Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 47, p. 517-524, 2018.

ALMEIDA, A.; GERALDO, M. R. F.; RIBEIRO, L. F.; SILVA, M. V.; MACIEL, M. V. D. O. B.; HAMINIUK, C. W. I. Bioactive compounds from brewer's spent grain: phenolic compounds, fatty acids, and in vitro antioxidant capacity. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 39, n. 3, p. 269-277, 2017.

ALMENDINGER, M.; ROHN, S.; PLEISSNER, D. Malt and beer-related by-products as potential antioxidant skin-lightening agents for cosmetics. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 17, p. 100282, 2020.

ARAÚJO, J. F. **Produção de quitosana e bioemulsificante por *Rhizopus microsporus* (UCP 1304) através da fermentação submersa utilizando resíduos agroindustriais**. 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitora Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2018.

BARBU, M. C.; MONTECUCCOLI, Z.; FÖRG, J.; BARBECK, U.; KLÍMEK, P.; PETUTSCHNIGG, A.; TUDOR, E. M. Potential of Brewer's Spent Grain as a Potential Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard. **Polymers**, v. 13, n. 3, p. 319, 2021.

BIELI, B. C.; MARQUES, D. R.; MARCHI, L. B.; QUELHAS J. O. F.; CHINELLATO, M. M.; MONTEIRO, C. C. F.; MONTEIRO, A. R. G. Produção de snack extrusado com adição de farinha de bagaço de malte. **Revista Tecnológica**, p. 321-326, 2014.

BRESSAN, P.; GEREMIAS, R.; DE SOUZA, E. L. Resíduo da indústria cervejeira como precursor de carvão ativado comparado a outros resíduos agroindustriais: uma revisão. **Evidência**, v. 20, n. 2, p. 141-148, 2020.

BUCCI, P. L.; SANTOS, M. V.; MONTANARI, J.; ZARITZKY, N. Nanoferulic: From a by-product of the beer industry toward the regeneration of the skin. **Journal of cosmetic dermatology**, v. 19, n. 11, p. 2958-2964, 2020.

BUDZIANOWSKI, W. M. High-value low-volume bioproducts coupled to bioenergies with potential to enhance business development of sustainable biorefineries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 793–804, 2016

CORCHADO-LOPO, C. et al. Brewer’s spent grain as a no-cost substrate for polyhydroxyalkanoates production: assessment of pretreatment strategies and different bacterial strains. **New Biotechnology**, v. 62, p. 60-67, 2021.

CORDEIRO, L. G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos**. 2011. 120f. 2017. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H., A.; KANASHIRO, O., R. (org.). Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias. 2020

DEL RIO, J. C.; PRINSEN, P.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition of lipids in brewer's spent grain: A promising source of valuable phytochemicals. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n. 2, p. 248-254, 2013.

FARIAS, R. D.; MARTÍNEZ GARCÍA, C.; COTES PALOMINO, T.; MARTÍNEZ ARELLANO, M. Effects of wastes from the brewing industry in lightweight aggregates manufactured with clay for green roofs. **Materials**, v. 10, n. 5, p. 527, 2017.

FERRAZ, E.; COROADO J.; GAMELAS, J.; SILVA, J.; ROCHA, F.; VELOSA, A. Spent brewery grains for improvement of thermal insulation of ceramic bricks. **Journal of materials in civil engineering**, v. 25, n. 11, p. 1638-1646, 2013.

FRANCISKI, M. A.; PERES, E. C.; GODINHO, M.; PERONDI, D.; FOLETTO, E. L.; COLLAZZO, G. C.; DOTTO, G. L. Development of CO2 activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption. **Waste Management**, v. 78, p. 630-638, 2018.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; MORALES, P. C.; GULLÓN, B. Estimating the environmental impacts of a brewery waste-based biorefinery: Bioethanol and xylooligosaccharides joint production case study. **Industrial Crops and Products**, v. 123, p. 331-340, 2018.

GRASSO, S. Extruded snacks from industrial by-products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 284-294, 2020.

GUARDA, E. C.; OLIVEIRA, A. C.; ANTUNES, S.; FREITAS, F.; CASTRO, P. M.; DUQUE, A. F.; REIS, M. A. A Two-Stage Process for Conversion of Brewer’s Spent Grain into Volatile Fatty Acids through Acidogenic Fermentation. **Applied Sciences**, v. 11, n. 7, p. 3222, 2021.

HEJNA, A.; BARCZEWSKI, M.; SKÓRCZEWSKA, K.; SZULC, J.; CHMIELNICKI, B.; KOROL, J.; & FORMELA, K. Sustainable upcycling of brewers’ spent grain by thermo-mechanical treatment in twin-screw extruder. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124839, 2021.

JAEGER, A.; ZANNINI, E.; SAHIN, A. W.; ARENDT, E. K. Barley Protein Properties, Extraction and Applications, with a Focus on Brewers’ Spent Grain Protein. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1389, 2021.

JOZINOVIĆ, A.; ŠUBARIĆ, D.; AČKAR, Đ.; BABIĆ, J.; ORKIĆ, V.; GUBERAC, S.; MILIČEVIĆ, B. Food Industry By-Products as Raw Materials in the Production of Value-Added Corn Snack Products. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 946, 2021.

KIRIN BEER UNIVERSITY. **Global Beer Production by country in 2018**. Kirin Beer University Report, v.11, 2019.

KIRJORANTA, S.; TENKANEN, M.; JOUPPILA, K. Effects of process parameters on the properties of barley containing snacks enriched with brewer’s spent grain. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 1, p. 775-783, 2016.

LEE, J. H.; LEE, J. H.; YANG, H. J.; SONG, K. B. Preparation and characterization of brewer's spent grain protein-chitosan composite films. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 11, p. 7549-7555, 2015.

LIGUORI, R.; SOCCOL, C. R.; PORTO S. V.; WOICIECHOWSKI, A. L.; FARACO, V. Second generation ethanol production from brewers' spent grain. **Energies**, v. 8, n. 4, p. 2575-2586, 2015.

LIMA, R. C. F. **Produção da enzima α -amilase por *Aspergillus niger* em fermentação no estado sólido utilizando bagaço de malte de cevada**. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

LÓPEZ-LINARES, J. C.; GARCÍA-CUBERO, M. T.; LUCAS, S.; GONZÁLEZ-BENITO, G.; COCA, M. Microwave assisted hydrothermal as greener pretreatment of brewer's spent grains for biobutanol production. **Chemical Engineering Journal**, v. 368, p. 1045-1055, 2019.

LÓPEZ-LINARES, J. C.; LUCAS, S.; GARCÍA-CUBERO, M. T.; JIMÉNEZ, J. J.; COCA, M. A biorefinery based on brewers spent grains: Arabinoxylans recovery by microwave assisted pretreatment integrated with butanol production. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 113044, 2020.

LORDAN, R.; O'KEEFFE, E.; TSOUPRAS, A.; ZABETAKIS, I. Total, neutral, and polar lipids of brewing ingredients, by-products and beer: Evaluation of antithrombotic activities. **Foods**, v. 8, n. 5, p. 171, 2019.

MACHADO, L. M.; LÜTKE, S. F.; PERONDI, D.; GODINHO, M.; OLIVEIRA, M. L.; COLLAZZO, G. C.; DOTTO, G. L. Simultaneous production of mesoporous biochar and palmitic acid by pyrolysis of brewing industry wastes. **Waste Management**, v. 113, p. 96-104, 2020.

MACIAS-GARBETT, R.; SERNA-HERNÁNDEZ, S.O.; SOSA-HERNÁNDEZ, J. E.; PARRA-SALDIVAR, R. Mini review: Phenolic compounds from brewer's spent grains: towards green recovery methods and applications in the cosmetic industry. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p.196, 2021

MAIONE, N. R. **Pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte (BSG) visando a produção de etanol de segunda geração**. 2019. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

MATHIAS, T. R.; ALEXANDRE, V. M. F.; CAMMAROTA, M.C.; MELLO, P. P. M.; SÉRVULO, E. F. C. Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121(3), p.400-404, 2015

MENEZES, J. D. S. **Produção de goma xantana a partir da bioconversão de resíduo e malte de cervejaria por *Xanthomonas Campestris* pv, *campestres* IBSBF 1866**. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2013.

MILDEMBERG, A. N. **Obtenção de carvão ativado a partir de bagaço de malte e sua aplicação na remoção de azul de metileno**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, 21019

MONTEIRO, C. C.; SARACHE, G.; JANUARIO, J. G.; BERWIG, K. P.; RANIERO, G. Z.; MONTEIRO, A. R.; SILVA, F. M. Biopolymer Based on Brewing Waste and Extruded Maize: Characterization and Application. **Chemical Engineering Transactions**, v. 87, p. 319-324, 2021.

MONTEIRO, C. et al. Biomaterial Based on Brewing Waste and Vegetable Resin: Characterization and Application in Product Design. **Chemical Engineering Transactions**, v. 75, p. 475-480, 2019.

MUSSATTO, S. I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 7, p. 1264-1275, 2014.

NADOLNY, B.; HEINECK, R. G.; BAZANI, H. A. G.; HEMMER, J. V.; BIAVATTI, M. L.; RADETSKI, C. M.; ALMERINDO, G. I. Use of brewing industry waste to produce carbon-based adsorbents: Paracetamol adsorption study. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 55, n. 8, p. 947-956, 2020.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NEYLON, E.; ARENDT, E. K.; ZANNINI, E.; SAHIN, A. W. Fermentation as a Tool to Revitalise Brewers’ Spent Grain and Elevate Techno-Functional Properties and Nutritional Value in High Fibre Bread. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1639, 2021.

OLIVEIRA, C. F. D.; VENDRUSCOLO, F.; COSTA, J. P. V.; ARAÚJO, W. D. B. Bagaço de malte como substrato para produção de biopigmentos produzidos por *Monascus ruber* CCT 3802. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 3, p. 6-9, 2016.

OLIVEIRA, D. M.; MARQUES, D. R.; KWIATKOWSKI, A.; MONTEIRO, A. R. G.; CLEMENTE, E. Sensory analysis and chemical characterization of cereal enriched with grape peel and seed flour. *Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v. 35, n. 1, p.427-431, 2013.

OLIVEIRA, E. B. D.; CASTRO, A. C. F.; RAIMUNDINI, S. L.; STRUMIELLO, L. D. P. Desenvolvimento sustentável e produção mais limpa: estudo de caso em uma empresa do setor moveleiro. **ConTexto**. v. 9, n. 16, p. 1-12, 2009

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2016. Disponível em:
https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf

OSMAN, A. I. et al. Upcycling brewer's spent grain waste into activated carbon and carbon nanotubes for energy and other applications via two-stage activation. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 95, n. 1, p. 183-195, 2019.

PAIVA-GUIMARÃES, A. G. L.; FREIRE, K. R. L.; SANTOS, S. F. M.; ALMEIDA, A. F.; SOUSA, A. C. B. Alternative substrates for conidiogenesis of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals) Vuillemin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, p. 133-141, 2019.

PORTO, P. D. D. **Tecnologia de fabricação de malte: uma revisão**. 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

QUARANTA, N.; CALIGARIS, M.; PELOZO, G.; UNSEN, M.; CRISTOBAL, A. The characterization of brewing waste and feasibility of its use for the production of porous ceramics. **WIT Trans Ecol Envir**, v. 202, p. 299-310, 2016.

SILBIR, S.; GOKSUNGUR, Y. Natural red pigment production by *Monascus purpureus* in submerged fermentation systems using a food industry waste: Brewer’s spent grain. **Foods**, v. 8, n. 5, p. 161, 2019.

SILVA, B. C. **Biossorção do corante Amarelo Reafix B8G a partir do bagaço de malte em batelada e sistema contínuo: avaliação experimental e simulação fluidodinâmica computacional**. 2019. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SILVA, L. F.; DA SILVA, G. C. P. A.; MARTINS, O. G.; SOUZA PASSOS, J. R.; ANDRADE, M. C. N. Crescimento micelial de *Pleurotus ostreatus* em substratos suplementados com bagaço de malte. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 1-12, 2021.

TOMBINI, C.; GODOY, J., S.; ULLMANN, A., P.; FANTE, G.; MELLO, J., M., M.; DALCANTON, F. Utilização do bagaço de malte na alimentação humana: revisão sistemática da literatura. In:

VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D. A.; CUNHA, A. B.; KNISS, D. D. C.; GAA, A. Z. N.; RICARDO, G. C.; JUNIOR, A. L. B. Resíduo de cevada industrial para a produção de painéis aglomerados. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p. 365-372, 2020.

VRIESEKOOP, F.; HAYNES, A.; HEIJDEN, N.; LIANG, H.; PAXIMADA, P.; ZUIDBERG, A. Incorporation of Fermented Brewers Spent Grain in the Production of Sourdough Bread. **Fermentation**, v. 7, n. 2, p. 96, 2021.