



BIOECONOMIA CIRCULAR E RECURSOS RENOVÁVEIS DE BASE BIOLÓGICA: alternativas para a cafeicultura brasileira

Eixo Temático: GT 4 – Desenvolvimento Rural, Agricultura Familiar, Economia Agrícola, Meio Ambiente e Sustentabilidade.

Maíra Ferraz de Oliveira Silva¹;
Fábio Lúcio Martins Neto²;

Resumo

Biorrecursos, bioprocessos e bioprodutos são conceitos relacionados à sinergia das agendas da Economia Circular e da Bioeconomia, abordagens que oferecem uma estratégia interdisciplinar voltada ao uso de recursos de fontes renováveis e à redução do desperdício e geração de resíduos por meio de inovações de base biológica. Considerando a vasta literatura especializada sobre o potencial de produção e (re)utilização de biomassa a partir de produtos de base biológica, este estudo objetiva estimar o volume de biomassa e resíduos gerados pela cafeicultura brasileira e discutir o potencial de aplicações desses materiais de base biológica segundo os princípios da Bioeconomia Circular. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa da literatura para identificar parâmetros e coeficientes em estudos técnico-científicos especializados, possibilitando o cálculo de estimativas dos volumes de biomassa e resíduos para o setor, bem como para apresentar e discutir as alternativas de (re)aproveitamento destes recursos. Os resultados demonstraram a diversidade de possibilidades de geração de novos bioprodutos e biorrecursos a partir do processamento de biomassa e reciclagem de resíduos da cafeicultura na perspectiva de minimização de impactos ambientais associados à essa atividade produtiva.

Palavras-chave: Brasil. Cafeicultura. Economia Circular. Bioeconomia. Meio ambiente.

1. Introdução

Considerado um modelo produtivo para uma economia pós-fóssil, a Bioeconomia Circular propõe a gestão sustentável dos recursos renováveis de base biológica através da integração dos princípios da economia circular na bioeconomia. Assim, compartilha semelhanças com o conceito de economia circular e se diferencia desta por enfatizar aspectos únicos da bioeconomia, como o uso da biotecnologia e da biomassa na produção de bens, serviços e energia, com importante potencial de aplicação no setor alimentar (Hetemäki et al., 2017; Stegmann et al., 2020; Morone, 2023; Rabbi, 2024).

O café é uma das principais commodities negociadas mundialmente e oriundo de países em desenvolvimento, sendo a receita gerada pela sua exportação uma importante fonte de divisas desses

¹ Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Professora da do Departamento de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). E-mail: maïraferraz@uesb.edu.br.

² Doutor em Fitotecnia – Produção Vegetal. Consultor associado do Agrobiota. E-mail: fabio.martinsneto@agrobiota.com.br.



países. Segundo dados da Organização Internacional do Café (OIC), no ano de 2020, entre os 55 países produtores e exportadores de café, 15 foram responsáveis por 95,5% das exportações mundiais totalizando 175,3 milhões de sacas.

No Brasil a produção de café destina-se, também, ao mercado interno, visto que, entre os principais países produtores, situa-se entre aqueles com as menores parcelas exportadas da produção (65% em 2020). Segundo dados da OIC ([s.d.]), essa parcela variou entre a menor participação em 2012 (52,9%) e a maior em 2015 (70,9%), oscilando entre 59,0% e 69,6% no restante do período de 2010 a 2020

A expressividade da cafeicultura nacional pode ser ressaltada pela produção da região Sudeste do país, que representa 5/6 do total nacional, alcançando, em média, 83,4% da produção do Brasil no período de 1990-2022 (IBGE [s.d.]). No Nordeste do país, o estado da Bahia concentra parte importante da produção cafeeira nacional, alternando entre o quarto e quinto maior produtor nos últimos anos, especialmente nas regiões fronteiriças com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é estimar o volume de biomassa e resíduos gerados pela cafeicultura brasileira e discutir o potencial de aplicações desses materiais de base biológica segundo os princípios da Bioeconomia Circular, a partir da literatura técnico-científica especializada e dos dados sobre a produção cafeeira nacional disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Este estudo está organizado em três seções além desta Introdução. A próxima seção trata da delimitação conceitual da Bioeconomia Circular; a seguinte detalha as etapas realizadas para o levantamento bibliográfico dos coeficientes de cálculo para as estimativas do setor cafeeiro e dos estudos acerca das aplicações em termos de bioprocessos, bioprodutos e biorrecursos no âmbito da cafeicultura e, finalmente, são tecidas as considerações finais.

2. Bioeconomia circular: integração dos princípios da Economia Circular na Bioeconomia

O recente debate sobre a complementaridade entre a bioeconomia e a economia circular é crescente e defende a transição gradual do uso de matérias-primas fósseis para o uso de recursos renováveis, principalmente a partir da reutilização de recursos da biomassa para diversos usos e, assim, tem se destacado o termo “bioeconomia circular” (D’amato e Korhonen, 2021; Kershaw et al., 2021, Mesa et al., 2024; Swaminaathan, 2024)

A bioeconomia tem sido evidenciada na literatura em trabalhos aplicados que traduzem a transição para um modelo econômico baseado em recursos renováveis. Predominam estudos sobre as

biorrefinarias, consideradas cruciais para a implantação da bioeconomia, uma vez que a adoção da biomassa em uma série de produtos de valor agregado e vetores de energia pode reduzir os problemas atuais relacionados à geração de resíduos e às mudanças climáticas.

Nessa perspectiva, Conteratto et al. (2021) propõem um conceito contemporâneo de biorrefinaria, ajustado à perspectiva da bioeconomia. Solarte-Toro e Alzate (2021) analisam a relação entre biorrefinarias, bioeconomia e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Talan et al. (2021) revisam estudos sobre várias biorrefinarias de resíduos voltadas à produção de biopolímeros (plásticos verdes) como um caminho sustentável alinhado às estratégias propostas pela bioeconomia. Yaashikaa; Kumar e Varjani (2022) revisam metodologias de valorização de resíduos agroindustriais e sua exploração para geração de produtos de energia renovável, entre diversos outros trabalhos sobre o tema.

Em estudos para o Brasil, Barbosa et al. (2021) analisam a bioeconomia como um caminho para a sustentabilidade na Amazônia e a consideram promissora para o cumprimento de objetivos ambientais por meio de atividades com baixo impacto desde que seja ampliado o conhecimento em bioeconomia, bioindústria e infraestrutura necessária para os avanços nessa área. Costa et al. (2021) apresentam uma análise pioneira da bioeconomia de uma área da Amazônia no estado do Pará com foco na bioeconomia enquanto estratégia de desenvolvimento sustentável por meio do manejo florestal e do cultivo em sistemas agroflorestais de produtos do bioma amazônico ou com ele compatíveis.

Outros estudos demonstram a robustez conceitual da Bioeconomia em análises sobre biotecnologia, bioindústria, biomassa, economia circular e de base biológica e suas implicações nas discussões sobre política ambiental e sustentabilidade (Wei et al., 2022; Brandão, Gonçalves e Santos, 2021). Essa relevância científica se mostra também na diversidade e adaptabilidade dos métodos de análise voltados ao desenvolvimento dos estudos de impacto econômico-ecológico (Ferreira et al., 2022; Brandão, Gonçalves e Santos, 2021).

Como resultado, verifica-se o grande número de estratégias aplicadas, especialmente no que se refere às biorrefinarias como em Brandão, Gonçalves e Santos (2021), Ubando, Felix e Chen (2020) e Mohan et al. (2016), além da infinidade de matérias-primas em potencial para uso e aplicações em novos produtos (Leong e Chang, 2022; Antar et al., 2021; Gregg et al., 2020; Mahjoub e Domscheit, 2020; Mak et al., 2020; O'callaghan, 2016).

De acordo com trabalhos recentes, Ferreira et al. (2022) e Brandão, Gonçalves e Santos (2021) exploram a consolidação de um quadro conceitual em Bioeconomia acompanhado do aprimoramento e adaptação de diversos métodos de análise de impacto, inclusive a extensão ambiental da análise de

insumo-produto, utilizada na forma pura ou combinada.

Para Befort (2023), ao abranger a transformação de recursos agrícolas, marinhos e orgânicos em gêneros alimentícios, combustíveis, energia e materiais, a bioeconomia poderá vir a tornar-se o modelo produtivo predominante na perspectiva de uma economia pós-fóssil e está alcançando cada vez mais importância nas políticas públicas regionais, nacionais e europeias.

A Economia Circular pode ser definida como um sistema regenerativo em que são desacelerados, fechados e estreitados os ciclos de materiais e energia na busca da redução dos fluxos de entrada e o desperdício de recursos, bem como a emissão e o vazamento de energia. Isso ocorre por estratégias, práticas, políticas e tecnologias viabilizadas por técnicas de redesenho, manutenção, reparo, reutilização, reprocessamento e reciclagem com a finalidade de preservar e conservar recursos como água, resíduos e nutrientes (Geissdoerfer, 2017; Mabee, 2022).

Sobre as aplicações da economia circular na produção de alimentos, Rabbi (2024) defende que pode haver intensa transformação na produção incluindo práticas sustentáveis de gerenciamento de resíduos, otimização de cadeias de suprimentos e consequente redução do impacto ambiental, transformando o desperdício de alimentos em produtos valiosos, como biogás e materiais de base biológica.

Para Mabee (2022) o conceito de bioeconomia circular abrange e amplia a noção de economias circulares, cujo fluxo de bens e serviços é representado como um ciclo fechado. Segundo esse novo conceito, as entradas para o ciclo são principalmente biomassa e as saídas variam entre bioprodutos diversos e bioenergia. Assim, em um determinado design uma cascata de produtos pode ser gerada, permitindo que uma única entrada de biomassa forneça vários produtos de base biológica, incluindo materiais, produtos químicos e energia, fazendo com que o fornecimento de matéria-prima seja efetivamente multiplicado. Nessa perspectiva, este estudo objetiva estimar o volume de biomassa e resíduos gerados pela cafeicultura brasileira e discutir o potencial de aplicações desses materiais de base biológica segundo os princípios da Bioeconomia Circular, conforme exposto na próxima seção.

3. Mensuração dos resíduos e biomassa da cafeicultura brasileira e aplicações no contexto da Bioeconomia Circular

3.1 Procedimentos metodológicos

A construção de estimativas acerca dos resíduos e biomassa gerados na cafeicultura brasileira e a discussão sobre suas possibilidades de aproveitamento foi realizada a partir de procedimentos da revisão integrativa da literatura, forma de investigação que revê, critica e sintetiza a literatura

representativa de um tema de uma forma integrada, de modo a gerar novos enquadramentos e perspectivas sobre o assunto abordado (Torraco, 2005).

Para o levantamento dos artigos na literatura, realizou-se uma busca nas bases de dados Scimedirect e Google Scholar, sendo utilizados os seguintes descritores e suas combinações nas línguas portuguesa e inglesa: resíduos de café; águas residuais de café; resíduos de polpa de café; resíduos de casca de café; resíduos de mucilagem de café. Não foi definido período específico com o objetivo de alcançar a literatura técnica especializada que fornecesse coeficientes para cálculo para os diversos tipos de biomassa e resíduos da cafeicultura, sendo selecionados, por comparação, os estudos que convergiram em seus resultados para garantir a consistência das informações. Os coeficientes e estudos selecionados nesta etapa estão detalhados no Quadro 1.

Quadro 1 – Coeficientes de cálculo do volume de resíduos e biomassa gerados a partir da produção brasileira de café

| RESÍDUO | COEFICIENTE | REFERÊNCIA |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polpa | 50% do peso do café em grão (beneficiado) | Alves (2017); Blinová et.al (2017); Santos et.al (2021); Cruz (2014); Murthy e Naidu (2012) |
| Mucilagem | 7% do conteúdo da polpa | Campos et.al (2021); Santos et.al (2021) |
| Casca ou Palha | 150% do peso do café em grão | Franca e Oliveira (2009); Echeverria e Nuti (2016) |
| Pergaminho | 25% do peso do café em grão (beneficiado) | Vegro e Carvalho (1994) |
| Pele Prateada | 4,2% do peso do café em grão (beneficiado) | Blinová et.al (2017); Cruz (2014) |
| Grãos defeituosos e imaturos | 50% do peso do café em grão (beneficiado) | Alves (2017); Echeverria e Nuti (2016) |
| Borra (Café em pó) | 910 kg/ton de café em pó | Blinová et.al (2017) |
| Borra (Café Solúvel) | O dobro do peso do café solúvel | Blinová et.al (2017); Cruz (2014) |
| Água residual | 1.970l t por saca de café em grão (beneficiado) | Matos (2008) |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na segunda etapa da revisão integrativa da literatura realizou-se uma busca na base de dados *Scimedirect*, utilizando-se os mesmos parâmetros de seleção bem como descritores e suas combinações nas línguas portuguesa e inglesa com o objetivo de alcançar a literatura-técnica especializada que discutisse alternativas de (re)aproveitamento da biomassa e resíduos relacionados à cafeicultura. Foram selecionados 60 trabalhos, cujos principais resultados estão detalhados no Quadro 2 e são analisados a seguir.

3.2 Resultados e discussão

Destaca-se que os componentes dos resíduos sólidos resultantes do processamento do fruto do café são: polpa, mucilagem, casca, pergaminho, pele prateada (palha), grãos defeituosos e imaturos, borra e água residual. Segundo Echeverria e Nuti (2017), no beneficiamento os grãos de café são separados das camadas de cobertura (pele, polpa e pergaminho), sendo os resíduos sólidos gerados

pelo descasque do café, após a secagem do fruto, denominados casca de café.

Os autores explicam que no processamento pela via úmida, a secagem não é necessária, sendo retiradas mecanicamente a pele externa (casca) e a polpa, gerando um resíduo sólido chamado de polpa de café. Em seguida os grãos são fermentados para remover a camada de material de polpa restante. Finalmente o grão é descascado para remover o pergaminho e após essa etapa é possível selecionar os grãos (mecanicamente) retirando, principalmente, os defeituosos e imaturos que afetam a qualidade da bebida. A pele prateada é retirada apenas no processamento industrial no momento da torra do grão beneficiado.

Definidos os coeficientes de cálculo, foram extraídos da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE dados sobre a quantidade de café em grão (beneficiado) produzido no Brasil entre 2018 e 2022 para estimação do volume de resíduos e biomassa gerados pela atividade. (Tabela 1).

Tabela 1 – Volume de resíduos e biomassa gerados a partir da produção brasileira de café entre 2018 e 2022

| BIOMASSA/RESÍDUOS | UND | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|------------------------------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Polpa | tonelada | 1.775.933 | 1.505.873 | 1.852.860 | 1.492.791 | 1.586.281 |
| Mucilagem | tonelada | 124.315 | 105.411 | 129.700 | 104.495 | 111.040 |
| Casca ou Palha | tonelada | 5.327.798 | 4.517.618 | 5.558.579 | 4.478.372 | 4.758.843 |
| Pergaminho | tonelada | 887.966 | 752.936 | 926.430 | 746.395 | 793.141 |
| Pele Prateada | tonelada | 149.178 | 126.493 | 155.640 | 125.394 | 133.248 |
| Grãos Defeituosos e Imaturos | tonelada | 1.775.933 | 1.505.873 | 1.852.860 | 1.492.791 | 1.586.281 |
| Borra (Café em Pó) | tonelada | 714.699 | 694.204 | 696.486 | 719.865 | 718.258 |
| Borra (Café Solúvel) | tonelada | 217.216 | 182.806 | 177.318 | 254.470 | 262.350 |
| Água residual | m ³ /ano | 116.619.568 | 98.885.628 | 121.671.107 | 98.026.576 | 104.165.786 |

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos coeficientes descritos no Quadro 1 e nos dados de produção extraídos da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE.

Na Tabela 1 verifica-se a estimativa da quantidade de biomassa (resíduos sólidos) e resíduos (água residual), por tipo, gerados a partir do volume da produção cafeeira entre os anos de 2018 e 2022. A média anual desse período dos resíduos foi de 1.642.747 toneladas de polpa, 114.992 toneladas de mucilagem, 4.928.241 toneladas de casca (ou palha), 821.373 toneladas de pergaminho, 137.990 de pele prateada, 1.642.747 toneladas de grãos defeituosos e imaturos, 708.702 toneladas de borra do café em pó, 218.832 toneladas de borra do café solúvel e 107.873.732 m³/s de água residual, cujas alternativas de aproveitamento serão discutidas a seguir.

Todo o volume de biomassa e resíduos estimados na Tabela 1, sem a adequada destinação ou tratamento, pode representar o descarte, muitas vezes incorreto, no meio ambiente resultando em danos ambientais. Assim, no que se refere às aplicações da Bioeconomia relacionadas ao setor cafeeiro, a literatura técnica especializada indica uma infinidade de aplicações para os diversos subprodutos e resíduos gerados na produção e processamento do café (Quadro 2).



Quadro 2 – Aplicações e tratamentos de resíduos sólidos e líquidos gerados na produção e processamento de café

| RESÍDUO | BIOPROCESSOS | BIOPRODUTOS | PROPÓSITO DE APLICAÇÃO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CASCA | Microorganismos autóctones isolados: <i>Lactobacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Saccharomyces</i> e <i>Kazachstania</i> . | – Ácido láctico | – Fermentação – Conservante – Dispositivos protéticos, suturas, dosagem interna de medicamentos, suplemento na síntese de medicamentos dermatológicos e contra a osteoporose – Efeitos hidratantes, antimicrobianos e rejuvenescedores da pele – Evitar a proliferação de microrganismos indesejáveis – Aumenta a validade, palatabilidade e valor nutritivo da silagem | – Laticínios – Alimentos e bebidas – Medicamentos – Produtos de higiene e estética – Produção de grãos – Nutrição animal | Montoya et al. (2019); Yépez et al. (2017); Martinez et al. (2013) |
| | | – Ácido acético | – Conservantes | – Alimentos | |
| | | – Bactérias e fungos com genes funcionais | – Deslignificação | – Papel e Celulose | |
| | | | – Produção de biohidrogênio e etanol | – Energia | |
| Secagem, moagem e classificação | – Partículas lignocelulósicas | – Composição de painéis aglomerados com madeira de eucalipto | – Construção civil | Martins et al. (2021) | |
| Análise térmica e difração de raios X | – Cinzas de casca de café adicionadas a mistura comercial de argila | – Maior resistência ao material argiloso | – Telhas cerâmicas | Acchar e Dultra (2013) | |
| POLPA | Experimento de alimentação de cabras Fermentação em estado sólido por cepa de <i>Aspergillus niger</i> van Thiegem | – Polpa seca – Polpa fermentada (reduzido teor de cafeína) | – Composição de formulações | – Ração animal | Maxiselly et al. (2022); Frómata, Sánchez e García (2020) |
| | Fermentação em estado sólido por cepa de <i>Aspergillus niger</i> van Thiegem | – Polpa fermentada (reduzido teor de cafeína) | – Composição de formulações | – Fertilizantes e compostos orgânicos | Frómata, Sánchez e García (2020) |
| | | – Enzimas pécicas (poligalacturonase) | – Processamento de vegetais | – Alimentos | |
| | Extração sólido-líquido convencional (ESLC) e Extração assistida por ultrassom (EAU). | – Cafeína | – Controle de peso corporal – Agente anti-fotoenvelhecimento | – Bebidas – Cosméticos | Serna-Jiménez et al. (2023); Martinez-Saez et al. (2014); Choi et al. (2016); Rodrigues et al. (2016); Iriondo-Dehond et al. (2016); Cho et al. (2017b) |
| – Polifenóis (ácido protocatecuico, ácido gálico e ácido 5-clorogênico) | | – Controle de peso corporal – Agente anti-fotoenvelhecimento – Enriquecimento de bioativos – Estresse oxidativo e saúde da pele – Efeito antirrugas e fator de proteção solar | – Bebidas – Cosméticos – Cosméticos | | |



Artigo Completo



(continuação)

| RESÍDUO | BIOPROCESSOS | BIOPRODUTOS | PROPÓSITO DE APLICAÇÃO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| POLPA | Extração de compostos fenólicos livres e ligados da pectina do café | <ul style="list-style-type: none"> - Pectina - Polifenóis (ácido gálico, vanilina, catequina, etil catecol, ácido cumárico, cafeico e ferúlico) | <ul style="list-style-type: none"> - Bebidas lácteas acidificadas e iogurtes - Antioxidantes | <ul style="list-style-type: none"> - Bebidas e alimentos - Alimentos | Manasa, Padmanabhan e Appaiah (2021); Reichembach e Petkowicz (2020); Soares (2002) | |
| | Microorganismos autóctones isolados: <i>Lactobacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Saccharomyces</i> e <i>Kazachstania</i> . | - Ácido láctico | <ul style="list-style-type: none"> - Fermentação - Conservante - Dispositivos protéticos, suturas, dosagem interna de medicamentos, suplemento na síntese de medicamentos dermatológicos e contra a osteoporose - Efeitos hidratantes, antimicrobianos e rejuvenescedores da pele - Evitar a proliferação de microrganismos indesejáveis - Aumenta a vida de prateleira, palatabilidade e valor nutritivo da silagem | <ul style="list-style-type: none"> - Laticínios - Alimentos e bebidas - Medicamentos | Montoya et al. (2019); Yépez et al. (2017) | |
| | | | - Ácido acético | - Conservantes | | - Alimentos |
| | | | - Bactérias e fungos com genes funcionais | - Deslignificação | | - Papel e Celulose |
| | Bactéria <i>Klebsiella pneumoniae</i> Kpn555 isolada | - Biossorvente e biorremediação de chumbo | - Adsorvente | - Biossorção de metais pesados | - Energia | Martins et al. (2021) |
| | Pré-tratamento com ácido diluído, neutralização, filtração e fermentação | - Etanol | - Biocombustíveis | - Energia | - Energia | Shenoy et al. (2011) |
| | Caracterização da composição química em comparação a outras matérias-primas de bioetanol | - Viável a produção de etanol por conversão de ácido e fermentação | - Biocombustíveis | - Energia | - Energia | Gurram et al. (2016) |
| | Extração verde com solvente eutéctico profundo (SEP) | - Cafeína | <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso corporal - Agente anti-fotoenvelhecimento | <ul style="list-style-type: none"> - Bebidas - Cosméticos | - Energia | Loukri et al. (2022); Martinez-Saez et al., (2014); Choi et al. (2016); Rodrigues et al. (2016) |
| MUCILAGEM | Fermentação, Hidrólise enzimática e Caracterização físico-química | - Bioetanol de segunda geração | - Biocombustíveis | - Energia | Pardo et al. (2022) | |
| | Fermentação etanólica usando células <i>Saccharomyces cerevisiae</i> imobilizadas em grânulos de alginato de cálcio | - Etanol | - Biocombustíveis | - Energia | Orrego, Zapata-Zapata, Kim (2018) | |



Artigo Completo



(continuação)

| RESÍDUO | BIOPROCESSOS | BIOPRODUTOS | PROPÓSITO DE APLICAÇÃO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| MUCILAGEM | Fermentações descontínuas de <i>Bacillus coagulans</i> | – Ácido láctico | – Fermentação – Conservante – Dispositivos protéticos, suturas, dosagem interna de medicamentos, suplemento na síntese de medicamentos dermatológicos e contra a osteoporose – Efeitos hidratantes, antimicrobianos e rejuvenescedores da pele | – Laticínios – Alimentos e bebidas – Medicamentos – Produtos de higiene e estética | Neu et al. (2016); Yépez et al. (2017) Martinez et al. (2013) |
| | Fermentações descontínuas de <i>Bacillus coagulans</i> | – Ácido láctico | – Evitar a proliferação de microrganismos indesejáveis – Aumenta a validade, palatabilidade e valor nutritivo da silagem. | – Produção de grãos – Nutrição animal | Neu et al. (2016); Yépez et al. (2017) Martinez et al. (2013) |
| | Fermentação da mucilagem do café como substrato p/ levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . | – Bioetanol | – Biocombustíveis | – Energia | Yadira et al. (2014) |
| | Codigestão anaeróbica | – Biohidrogênio | – Produção de biocombustíveis | – Energia | Hernández, Susa e Andres (2014) |
| PERGAMINHO | Incorporação de extrato de pergaminho de café em filme à base de goma gelana e posterior análise de propriedades físico-químicas, mecânicas, estruturais e antifúngicas | – Aditivo antifúngico em filmes à base de goma gelana | – Embalagens bioativas de alimentos | – Embalagens | Mirón-Mérida et al. (2019) |
| | Tratamento alcalino combinado com explosão de vapor de baixa severidade assistida por alto cisalhamento mecânico | – Celulose microfibrilada | – Reforços potenciais para biocompostos avançados | – Agricultura, Papel e celulose | Reis et al. (2020); Osong, Norgren e Engstrand (2015) |
| PELE PRATEADA | Pirólise e caracterização química | – Bioóleo | – Substituir o fenol fóssil em diversas aplicações – Possível utilização como aditivo combustível após melhoramento | – Químicos | Polidoro et al. (2018) |
| | Carbonização hidrotérmica (CHT) | – Produto sólido de maior valor combustível e Líquido rico em açúcares monoméricos | – Potencial de utilização em bioprodutos | – Energia e Alimentos | Kumar, Weldon e Lynam (2021) |
| PELE PRATEADA | Caracterização de efeitos in vitro, teste cinético de bactérias luminescentes, teste antifúngico | – Matéria-prima antifúngica | – Potencial para composição de químicos antifúngicos e formulações de conservantes de madeira | – Químicos e Madeira | Barbero-López et al. (2020) |
| | Processo integrado de pirólise lenta. | – Biocarvão | – Adsorvente – Combustível | – Biossorção de poluentes orgânicos – Energia | Del Pozo et al. (2021) |



Artigo Completo



(continuação)

| RESÍDUO | BIOPROCESSOS | BIOPRODUTOS | PROPÓSITO DE APLICAÇÃO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| GRÃOS DEFEITUOSOS E IMATUROS | Extração com fluido pressurizado seguida de pirólise da biomassa residual | – Bioóleo rico em cafeína e compostos fenólicos | – Poderia ser utilizado para produzir resinas fenólicas | – Produtos de borracha | De Almeida-Couto et al. (2022) |
| | Carbonização hidrotérmica | – Hidrocarvão | – Biocombustível sólido funcional | – Energia | Santana et al. (2020) |
| BORRA | Hidrólise e produção de biogás anaeróbico | – Biometano | – Biogás | – Energia | Shen et al. (2022) |
| | Biomassa de macroalga (<i>Ulva</i>) como co-substrato para digestão anaeróbia estável | | | | Kim, Kim e Lee (2017) |
| | Co digestão anaeróbica | | | | Vítêz et al. (2016); Giroto et al. (2018) |
| | Extração de óleo por n-hexano, éter e mistura de isopropanol p/hexano | – Biodiesel e pellets de combustível | – Biocombustíveis | – Energia | Haile (2014) |
| | Coprodução sequencial | – Biodiesel e Bioetanol | | | Kwon, Yi e Jeon, 2013) |
| | Tecnologias de conversão termoquímica | – Bioprodutos | – Biocombustíveis | – Energia | Martinez et al. (2021) |
| Tecnologias de conversão termoquímica: Adsorção para remoção de cobre, cromo, cádmio, níquel, arsênico e mercúrio em soluções aquosas | – Biossorvente para remoção de metais pesados | – Adsorvente | – Biossorção de metais pesados | Loulidi et al. (2021); Hussain et al. (2020); Yen e Huang (2015); Liu et al. (2017); Nam et al. (2017); Cho et al. (2017a); Rodriguez et al. (2018); Alvarez et al. (2018); Le et al. (2019); Dávila-Guzmán et al. (2013) | |
| ÁGUA RESIDUAL | Microrganismos autóctones isolados: <i>Lactobacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Saccharomyces</i> e <i>Kazachstania</i> . | – Ácido lático e acético | – Fermentação – Conservantes | – Laticínios – Alimentos | Montoya et al. (2019); Yépez et al. (2017) |
| | | – Bactérias e fungos com genes funcionais | – Deslignificação – Biohidrogênio e etanol | – Papel e Celulose – Energia | |
| | Otimização autodirigida usando células induzidas de <i>Pseudomonas</i> sp. | – Águas residual sintética | – Degradação completa da cafeína das águas residuais | – Tratamento de resíduos | |
| | Comparação entre substratos por ANOVA e Análise de componentes principais para correlação | – Substrato de composto de urina humana e água residuária do processamento de café | – Biofertilizantes | – Agropecuária | Alemayehu, Asfaw e Terfie (2021) |

Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 2 é possível verificar as diversas possibilidades de extração de substâncias que podem ter alto valor agregado pelo grande volume desses subprodutos e resíduos do café produzidos e não utilizados de forma eficiente. Verificam-se amplas possibilidades de exploração nas indústrias alimentícia, química, cosmética e farmacêutica como a extração de bioprodutos, incluindo adsorventes, biocarvão, bioetanol, biogás, biodiesel, bioóleo, biocompostos, agregados de materiais de construção, cosméticos, energia e componentes alimentares.

Os estudos revelam diversas estratégias produtivas pelas quais podem vir a ser delineadas políticas de estímulo ao aproveitamento dos subprodutos e resíduos da cafeicultura associadas a redução do impacto ambiental latente ao evitar-se o descarte no meio ambiente.

Considerando a polpa de café um resíduo amplamente subutilizado, Gurram et al. (2016) constataram o seu potencial para se tornar matéria-prima para bioetanol desde que o processamento seja economicamente viável. Salientaram que a conversão desse tipo de biomassa lignocelulósica não alimentar residual para biocombustíveis evitaria muitas das barreiras enfrentadas pela biomassa agroalimentar nos processos de produção de etanol, podendo potencialmente oferecer redução de custos e menor pressão sobre o uso da terra a longo prazo.

Existem, também, vários problemas associados ao uso de matéria-prima lignocelulósica em bioetanol, como disponibilidade, qualidade, consistência e transporte (Kurian et al., 2013; Sukumara et al., 2015 apud Gurram et al., 2016). A contribuição destes autores se concretiza numa descrição completa dos aspectos de engenharia e sustentabilidade de um processo de transformação de resíduos de polpa de café em etanol.

Echeverria e Nuti (2017), ao analisarem algumas vantagens e desvantagens da utilização de resíduos do café na alimentação animal, cultivo de cogumelos, cosméticos e dermaceuticos assim como na produção de biodiesel, etanol, fertilizantes orgânicos e biocompostos, verificaram que para a alimentação animal apresentam alta concentração em componentes orgânicos, na mucilagem dos frutos maduras, entretanto, a presença de taninos (diminuem a disponibilidade de proteínas e inibem as enzimas digestivas) e cafeína (efeitos estimulantes e diuréticos e os taninos) diminuem a aceitabilidade e a palatabilidade da casca pelos animais. Destacaram que alguns estudos foram feitos para remover as substâncias antinutricionais, incluindo a descafeinação biológica com microrganismos e silagem bem como para a avaliação do seu uso como suplemento dietético para bovinos, suínos, ovinos, frangos, cavalos e peixes.

Como substrato de crescimento para cogumelos, Echeverria e Nuti (2017) afirmaram que os resíduos (casca e polpa) poderiam ser usados para produção de fungos comestíveis e medicinais sem nenhum pré-tratamento e os resíduos após o cultivo de fungos podem ser utilizados para alimentar

ruminantes, pois a cafeína e os ácidos tânicos diminuem, enquanto as proteínas aumentam. Contudo, não há grande escala de aplicação provavelmente pelo custo da esterilização, mas o desenvolvimento de pré-tratamento de desintoxicação do substrato ajudaria a obter uma produção de cogumelos totalmente segura.

No que se refere à produção de fertilizantes orgânicos e biocompostos a partir da casca e a polpa do café, ainda Echeverria e Nuti (2017) observam que, por serem ricas em potássio e outros nutrientes minerais, viabilizam formulações desses produtos, evitando que a eliminação desses resíduos sem tratamento ocasione graves problemas ambientais, incluindo a proliferação de moscas, mau cheiro, infiltração no solo e outros. Salientam que, apesar de a tecnologia correta de compostagem raramente ser aplicada, a compostagem adequada viabiliza um produto que pode ser facilmente manuseado, armazenado e aplicado no solo sem efeitos adversos. Afirmam, ainda, que as possibilidades na produção de etanol são potencializadas pela alta concentração de carboidratos na casca do café, matéria-prima potencial para a produção de bioetanol. Entretanto, o processo não foi adotado em uma escala prática e requer melhorias de processo para torná-lo tanto tecnicamente como economicamente viável.

Quanto ao uso da pele prateada, novamente Echeverria e Nuti (2017) explicam que extratos aquosos podem ser utilizados para a produção de cosméticos e dermacêuticos, devido à presença de antioxidantes e substâncias bioativas, contribuindo para aliviar a sobrecarga ambiental do descarte desse resíduo. Entretanto, avaliam que o interesse em torno dos benefícios de produtos nutracêuticos requer a aquisição de dados pré-clínicos sobre seu uso acompanhada de dados de avaliação de segurança, a fim de facilitar a autorização desses produtos para utilização em seres humanos.

No que se refere ao uso da borra de café para produção de biodiesel, os autores mencionados no parágrafo anterior observam que a técnica de extração de óleo com uma mistura de hexano/isopropanol permitiu uma alta recuperação de óleo a um custo relativamente mais baixo. Contudo, a avaliação da qualidade demonstra que o biodiesel obtido está fora dos limites da norma para todos os parâmetros avaliados, sendo necessário o desenvolvimento de melhorias do processo para torná-lo tecnicamente e economicamente viável (Echeverria e Nuti, 2017).

Montoya et al. (2019) salientam que a farta disponibilidade de diversos resíduos agrícolas apresenta importante potencial como fonte de energia limpa e bioprodutos de interesse industrial. No que se refere aos resíduos do café, a ausência de aproveitamento e o descarte inadequado podem gerar problemas ambientais como eutrofização das águas, acidificação e salinização dos solos, além de efeitos tóxicos em alguns processos biológicos, aspectos que têm limitado sua aplicação na agricultura. Enfatizam a necessidade de estudos para tornar o processo economicamente viável e

maximizar o ganho energético e ambiental.

Sobressai-se o potencial da polpa, pele, pergaminho e película prateada como fontes ricas de compostos bioativos, inclusive compostos fenólicos importantes comercialmente. Além disso, a polpa é considerada fonte importante para a produção de bioetanol contribuindo tanto para o aumento do crédito carbono como para redução da contaminação e a poluição do meio ambiente (Bondam et al., 2022; Manasa, Padmanabhan e Appaiah, 2021; Shenoy et al., 2011).

4. Considerações Finais

Este estudo demonstra o significativo volume de biomassa e resíduos gerados pela cafeicultura brasileira e a ampla variedade de possibilidades de aplicações em termos de novos bioprodutos e biorrecursos. Como um produto de grande relevância na produção nacional, gera anualmente grandes volumes de biomassa e resíduos, cada um com amplas possibilidades de (re)aproveitamento e alternativas de minimização de problemas ambientais relacionados à geração de resíduos e às mudanças climáticas.

Parte importante das aplicações levantadas neste estudo revela alternativas de novos negócios pautados em recursos renováveis de base biológica que atendem aos princípios norteadores da Bioeconomia Circular. Entre os bioprocessos e bioprodutos identificados, diversas aplicações se efetivam através das biorrefinarias, consideradas cruciais para a implantação da bioeconomia circular pela adoção da biomassa como matéria-prima para uma série de produtos de valor agregado e novos vetores de energia.

Visto que não há referências que apontem para a efetivação da maior parte destas aplicações descritas neste estudo, no Brasil, infere-se que esse grande volume de resíduos é desperdiçado ou descartado, o que implica em perda de potenciais novos negócios a partir das alternativas de produção de novos bioprodutos bem como algum prejuízo ambiental a depender do tipo de resíduo e descarte gerado/adotado.

Nessa perspectiva, o conhecimento construído e as estratégias aplicadas na Bioeconomia Circular contribuem para o desenvolvimento de diversas estratégias produtivas pelas quais podem vir a ser delineadas políticas de estímulo ao aproveitamento dos subprodutos e resíduos da cafeicultura associadas a redução do impacto ambiental latente ao evitar-se o descarte no meio ambiente. Assim, essa abordagem favorece o fortalecimento e estímulo a iniciativas de estudos transdisciplinares voltados à busca de soluções de problemas ambientais causados por distorções dos processos econômicos.

Esses estudos requerem o aprimoramento e adaptação de diversos métodos de análise para que possam, além de dimensionar volumes de biomassa gerada pelas diversas atividades produtivas que seja suscetível a processos definidos segundo os princípios da Bioeconomia Circular, mensurar e analisar impactos ambientais decorrentes do seu descarte ou destinação inadequada a fim de avaliar a viabilidade de aplicação das estratégias factíveis, compondo uma nova e fecunda agenda de pesquisas no âmbito da economia pós-fóssil num contexto produtivo de abundante geração de resíduos e intensificação das mudanças climáticas.

5. Referências

ACCHAR, W.; DULTRA, E. J. V. Thermal analysis and X-ray diffraction of untreated coffee's husk ash reject and its potential use in ceramics. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 2, p. 1331–1334, 2013.

ALEMAYEHU, Y. A.; ASFAW, S. L.; TERFIE, T. A. Reusing urine and coffee processing wastewater as a nutrient source: Effect on soil characteristics at optimum cabbage yield. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101571, 1 ago. 2021.

ALVAREZ, N. M. M. et al. Evaluation of mercury (Hg²⁺) adsorption capacity using exhausted coffee waste. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 10, p. 60–70, 1 dez. 2018.

ALVES, R. C. et al. State of the art in coffee processing by-products. **Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications**, p. 1–26, 1 jan. 2017.

ANTAR, M. et al. Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110691, 1 abr. 2021.

BARBERO-LÓPEZ, A. et al. Revalorization of coffee silverskin as a potential feedstock for antifungal chemicals in wood preservation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 152, p. 105011, 1 ago. 2020.

BARBOSA, M. DE O. et al. Bioeconomia: Um novo caminho para a sustentabilidade na Amazônia? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. 41101018545, 5 ago. 2021.

BEFORT, Nicolas. **The bioeconomy: institutions, innovation and sustainability**. Routledge, 2023.

BLINOVÁ, L. et al. Utilization of Waste From Coffee Production. **Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology**, v. 25, n. 40, p. 91–101, 1 jun. 2017.

BRANDÃO, A. S.; GONÇALVES, A.; SANTOS, J. M. R. C. A. Circular bioeconomy strategies: From scientific research to commercially viable products. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, p. 126407, 1 maio 2021.

CAMPOS, R. C. et al. New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review. **Future Foods**, v. 4, p. 100058, 1 dez. 2021.

CHO, D. W. et al. Fabrication of magnetic biochar as a treatment medium for As(V) via pyrolysis of FeCl₃-pretreated spent coffee ground. **Environmental Pollution**, v. 229, p. 942–949, 1 out. 2017a.

CHO, Y. H. et al. Potential effect of compounds isolated from *Coffea arabica* against UV-B induced skin damage by protecting fibroblast cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 174, p. 323–332, 1 set. 2017b.

CHOI, H. S. et al. Topical application of spent coffee ground extracts protects skin from ultraviolet B-induced photoaging in hairless mice. **Photochemical and Photobiological Sciences**, v. 15, n. 6, p. 779–790, 1 jun. 2016.

CONTERATTO, C. et al. Biorefinery: A comprehensive concept for the sociotechnical transition toward bioeconomy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 151, p. 111527, 1 nov. 2021.

D’AMATO, D.; KORHONEN, J. Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. **Ecological Economics**, v. 188, p. 107143, 2021.

DÁVILA-GUZMÁN, N. E. et al. Copper Biosorption by Spent Coffee Ground: Equilibrium, Kinetics, and Mechanism. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v. 41, n. 6, p. 557–564, 1 jun. 2013.

COSTA, F. D. A. et al. **Bioeconomia da sociobiodiversidade no estado do Pará**. Brasília, DF: The Nature Conservancy (TNC Brasil), Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Natura, 2021.

CRUZ, R. **COFFEE BY-PRODUCTS Sustainable Agro-Industrial Recovery and Impact on Vegetables Quality**. Dissertação de Mestrado—Porto, Portugal: Universidade do Porto, set. 2014.

DE ALMEIDA-COUTO, J. M. F. et al. Oil recovery from defective coffee beans using pressurized fluid extraction followed by pyrolysis of the residual biomass: Sustainable process with zero waste. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 180, p. 105432, 1 fev. 2022.

DEL POZO, C. et al. Converting coffee silverskin to value-added products by a slow pyrolysis-based biorefinery process. **Fuel Processing Technology**, v. 214, p. 106708, 1 abr. 2021.

ECHEVERRIA, M. C.; NUTI, M. Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations. **The Open Waste Management Journal**, v. 10, n. 1, p. 13–22, 2017.

FERREIRA, V. et al. Research trends and hotspots in bioeconomy impact analysis: a study of economic, social and environmental impacts. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 96, p. 106842, 1 set. 2022.

FRANCA, Adriana S.; OLIVEIRA, Leandro S. Coffee processing solid wastes: current uses and future perspectives. **Agricultural wastes**, v. 9, p. 155-189, 2009.

FRÓMETA, R. A. R.; SÁNCHEZ, J. L.; GARCÍA, J. M. R. Evaluation of coffee pulp as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 117–124, 5 mar. 2020.

GEISSDOERFER, Martin; SAVAGET, Paulo; BOCKEN, Nancy M.P.; HULTINK, Erik Jan. The Circular Economy – A new sustainability paradigm?, **Journal of Cleaner Production**, Volume 143, p. 757-768, 2017. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616321023>>

GIROTTO, F. et al. The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorisation. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 1, p. 695–701, 1 jan. 2018.

GREGG, J. S. et al. Valorization of bio-residuals in the food and forestry sectors in support of a circular bioeconomy: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 267, p. 122093, 10 set. 2020.

GURRAM, R. et al. Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: A renewable feedstock. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 1, p. 269–278, 1 jan. 2016.

HAILE, M. Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels. **Biofuel Research Journal**, v. 1, n. 2, p. 65–69, 1 jun. 2014.

HERNÁNDEZ, M. A.; SUSA, M. R.; ANDRES, Y. Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 112–118, 1 set. 2014.

HETEMÄKI, Lauri et al. **Leading the way to a European circular bioeconomy strategy**. Joensuu, Finland: European Forest Institute, 2017.

HUSSAIN, N. et al. Cadmium (II) removal from aqueous solution using magnetic spent coffee ground biochar: Kinetics, isotherm and thermodynamic adsorption. **Materials Research Express**, v. 7, n. 8, p. 085503, 26 ago. 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal (PAM)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=18051&t=publicacoes>>. Acesso em: 2 jun. 2023

IRIONDO-DEHOND, A. et al. Coffee Silverskin Extract Protects against Accelerated Aging Caused by Oxidative Agents. **Molecules** 2016, Vol. 21, Page 721, v. 21, n. 6, p. 721, 1 jun. 2016.

KERSHAW, Eleanor Hadley; HARTLEY, Sarah; MCLEOD, Carmen; POLSON, Penelope. The Sustainable Path to a Circular Bioeconomy. **Trends in Biotechnology**, Volume 39, Issue 6, p. 542-545, 2021. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167779920302924>>

KIM, J.; KIM, H.; LEE, C. Ulva biomass as a co-substrate for stable anaerobic digestion of spent coffee grounds in continuous mode. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 1182–1190, 1 out. 2017.

KUMAR, N.; WELDON, R.; LYNAM, J. G. Hydrothermal carbonization of coffee silverskins. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102145, 1 set. 2021.

KWON, E. E.; YI, H.; JEON, Y. J. Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 475–480, 1 maio 2013.

LE, V. T. et al. Adsorption of Ni(II) ions by magnetic activated carbon/chitosan beads prepared from spent coffee grounds, shrimp shells and green tea extract. **Environmental technology**, v. 41, n. 21, p. 2817–2832, 18 set. 2019.

LEONG, Y. K.; CHANG, J. S. Valorization of fruit wastes for circular bioeconomy: Current advances, challenges, and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 359, p. 127459, 1 set. 2022.

LIU, S. et al. Enhancement of As(v) adsorption from aqueous solution by a magnetic chitosan/biochar composite. **RSC Advances**, v. 7, n. 18, p. 10891–10900, 10 fev. 2017.

LOUKRI, A. et al. Green extraction of caffeine from coffee pulp using a deep eutectic solvent (DES). **Applied Food Research**, v. 2, n. 2, p. 100176, 1 dez. 2022.

LOULIDI, I. et al. Assessment of Untreated Coffee Wastes for the Removal of Chromium (VI) from Aqueous Medium. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2021, 2021.

MABEE, Warren E. Conceptualizing the circular bioeconomy. In: STEFANAKIS, Alexandros; NIKOLAOU, Ioannis, (Ed.). **Circular Economy and Sustainability**. Elsevier, p. 53-69, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128198179000338>>

MAHJOUB, B.; DOMSCHEIT, E. Chances and challenges of an organic waste–based bioeconomy. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 25, p. 100388, 1 out. 2020.

MAK, T. M. W. et al. Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 297, p. 122497, 1 fev. 2020.

MANASA, V.; PADMANABHAN, A.; APPAIAH, K. A. A. Utilization of coffee pulp waste for rapid recovery of pectin and polyphenols for sustainable material recycle. **Waste Management**, v. 120, p. 762–771, 1 fev. 2021.

MARTINEZ, F. A. C. et al. Lactic acid properties, applications and production: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 30, n. 1, p. 70–83, 1 mar. 2013.

MARTINEZ-SAEZ, N. et al. A novel antioxidant beverage for body weight control based on coffee silverskin. **Food Chemistry**, v. 150, p. 227–234, 1 maio 2014.

MARTINS, R. S. F. et al. Investigation of agro-industrial lignocellulosic wastes in fabrication of particleboard for construction use. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102903, 1 nov. 2021.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: BOREM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 159-201.

MAXISELLY, Y. et al. Digestibility, Blood Parameters, Rumen Fermentation, Hematology, and Nitrogen Balance of Goats after Receiving Supplemental Coffee Cherry Pulp as a Source of Phytochemical Nutrients. **Veterinary Sciences** **2022**, Vol. **9**, Page **532**, v. 9, n. 10, p. 532, 28 set. 2022.

MESA, Jaime A.; SIERRA-FONTALVO, Lesly; ORTEGON, Katherine; GONZALEZ-QUIROGA; Arturo. Advancing circular bioeconomy: A critical review and assessment of indicators. **Sustainable Production and Consumption**, Volume 46, 2024, p. 324-342. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550924000678#bb0035>>

MIRÓN-MÉRIDA, V. A. et al. Valorization of coffee parchment waste (*Coffea arabica*) as a source of caffeine and phenolic compounds in antifungal gellan gum films. **LWT**, v. 101, p. 167–174, 1 mar. 2019.

MOHAN, S. V. et al. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 2–12, 1 set. 2016.

MONTOYA, A. C. V. et al. Hydrogen, alcohols and volatile fatty acids from the co-digestion of coffee waste (coffee pulp, husk, and processing wastewater) by applying autochthonous microorganisms. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 39, p. 21434–21450, 13 ago. 2019.

MORONE, P., D'AMATO, D., BEFORT, N., & YILAN, G. **The circular bioeconomy: Theories and tools for economists and sustainability scientists**. Cambridge University Press, 2023.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 45–58, 1 set. 2012.

NAM, G. et al. An Environmentally Benign Approach for As (V) Absorption from Wastewater Using Untreated Coffee Grounds—Preliminary Results. **Water** **2017**, Vol. **9**, Page **867**, v. 9, n. 11, p. 867, 7 nov. 2017.

NEU, A. K. et al. Fermentative utilization of coffee mucilage using *Bacillus coagulans* and investigation of down-stream processing of fermentation broth for optically pure l(+)-lactic acid production. **Bioresource Technology**, v. 211, p. 398–405, 1 jul. 2016.

OIC. ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Dados históricos sobre o comércio global de café**. Disponível em: <https://www.ico.org/new_historical.asp>. Acesso em: 2 jun. 2023.

O'CALLAGHAN, K. Technologies for the utilisation of biogenic waste in the bioeconomy. **Food Chemistry**, v. 198, p. 2–11, 1 maio 2016.

ORREGO, D.; ZAPATA-ZAPATA, A. D.; KIM, D. Ethanol production from coffee mucilage fermentation by *S. cerevisiae* immobilized in calcium-alginate beads. **Bioresource Technology Reports**, v. 3, p. 200–204, 1 set. 2018.

OSONG, S. H.; NORGRÉN, S.; ENGSTRAND, P. Processing of wood-based microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. **Cellulose** **2015** **23:1**, v. 23, n. 1, p. 93–123, 27 out. 2015.

PARDO, L. M. F. et al. Comprehensive analysis of ethanol production from coffee mucilage under sustainability indicators. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 182, p. 109183, 1 dez. 2022.

POLIDORO, A. DOS S. et al. Valorization of coffee silverskin industrial waste by pyrolysis: From optimization of bio-oil production to chemical characterization by GC × GC/qMS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 129, p. 43–52, 1 jan. 2018.

RABBI, Mohammad Fazle; AMIN, Mohammad Bin. Circular economy and sustainable practices in the food industry: A comprehensive bibliometric analysis. **Cleaner and Responsible Consumption**, Volume 14, 2024. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666784324000391>>

REIS, R. S. et al. Characterization of coffee parchment and innovative steam explosion treatment to obtain microfibrillated cellulose as potential composite reinforcement. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 4, p. 9412–9421, 1 jul. 2020

RODRIGUES, F. et al. In vitro and in vivo comparative study of cosmetic ingredients Coffee silverskin and hyaluronic acid. **Experimental Dermatology**, v. 25, n. 7, p. 572–574, 1 jul. 2016.

RODIGUEZ, M. H. et al. Adsorption of Ni(II) on spent coffee and coffee husk based activated carbon. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1161–1170, 1 fev. 2018.

SANTANA, M. S. et al. Hydrochar production from defective coffee beans by hydrothermal carbonization. **Bioresource Technology**, v. 300, p. 122653, 1 mar. 2020.

SANTOS, É. M. DOS et al. Coffee by-products in topical formulations: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 111, p. 280–291, 1 maio 2021.

SERNA-JIMÉNEZ, J. A. et al. Advanced extraction of caffeine and polyphenols from coffee pulp: Comparison of conventional and ultrasound-assisted methods. **LWT**, v. 177, p. 114571, 1 mar. 2023.

SHANMUGAM, M. K.; RATHINAVELU, S.; GUMMADI, S. N. Self-directing optimization for enhanced caffeine degradation in synthetic coffee wastewater using induced cells of *Pseudomonas* sp.: Bioreactor studies. **Journal of Water Process Engineering**, v. 44, p. 102341, 1 dez. 2021.

SHEN, M. Y. et al. Improvement of gaseous bioenergy production from spent coffee grounds Co-digestion with pulp wastewater by physical/chemical pretreatments. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 96, p. 40664–40671, 12 dez. 2022.

SHENOY, D. et al. A study on bioethanol production from cashew apple pulp and coffee pulp waste. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 10, p. 4107–4111, 15 out. 2011.

SOLARTE-TORO, J. C.; ALZATE, C. A. C. Biorefineries as the base for accomplishing the sustainable development goals (SDGs) and the transition to bioeconomy: Technical aspects, challenges and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 340, p. 125626, 1 nov. 2021.

STEGMANN, Paul; LONDO, Marc; JUNGINGER, Martin. The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 6, p. 100029, 2020.

SWAMINAATHAN, Pavithra; SARAVANAN, A.; THAMARAI, P. Utilization of bioresources for high-value bioproducts production: Sustainability and perspectives in circular bioeconomy. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Volume 63, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138824000687>>

TALAN, A. et al. Biorefinery strategies for microbial bioplastics production: Sustainable pathway towards Circular Bioeconomy. **Bioresource Technology Reports**, p. 100875, 6 nov. 2021.

TORRACO, R. J. Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), p. 356-367, 2005. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1534484305278283>>

UBANDO, A. T.; FELIX, C. B.; CHEN, W. H. Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. **Bioresource Technology**, v. 299, p. 122585, 1 mar., 2020.

VÍTĚZ, T. et al. ON THE SPENT COFFEE GROUNDS BIOGAS PRODUCTION. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 64, p. 143, 2016.

WEI, X. et al. Knowledge Mapping of bioeconomy: A bibliometric analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 373, p. 133824, 1 nov. 2022.

YAASHIKAA, P. R.; KUMAR, P. S.; VARJANI, S. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. **Bioresource Technology**, v. 343, p. 126126, 1 jan. 2022.

YADIRA, P. S. B. et al. Bioethanol Production from Coffee Mucilage. **Energy Procedia**, v. 57, p. 950–956, 1 jan. 2014.

YEN, H. Y.; HUANG, S. L. Ni(II) removal from wastewater by solar energy-degreased spent coffee grounds. **New pub: Balaban**, v. 57, n. 32, p. 15049–15056, 8 jul. 2015.

YÉPEZ, A. et al. Biopreservation potential of lactic acid bacteria from Andean fermented food of vegetal origin. **Food Control**, v. 78, p. 393–400, 1 ago. 2017.