



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

YWKELLY DE LIMA ALVES

**PRODUÇÃO DE ENZIMAS UTILIZANDO RESÍDUOS DE CAFÉ COMO
SUBSTRATO EM PROCESSOS FERMENTATIVOS: UMA REVISÃO.**

RECIFE - PE
2021

YWKELLY DE LIMA ALVES

**PRODUÇÃO DE ENZIMAS UTILIZANDO RESÍDUOS DE CAFÉ COMO
SUBSTRATO EM PROCESSOS FERMENTATIVOS: UMA REVISÃO.**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^o Raquel Pedrosa Bezerra.

Co-orientador: Prof^o Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa.

RECIFE - PE
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A474p

Alves, Ywkelly de Lima

PRODUÇÃO DE ENZIMAS UTILIZANDO RESÍDUOS DE CAFÉ COMO SUBSTRATO EM
PROCESSOS FERMENTATIVOS: UMA REVISÃO / Ywkelly de Lima Alves. - 2021.
51 f.

Orientadora: Raquel Pedrosa .

Coorientador: Romero Marcos Pedrosa Brandao Costa.

Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Ciências Biológicas, Recife, 2022.

1. Resíduo de café. 2. Polpa de café. 3. Enzimas. 4. Fermentação em estado sólido (FES). 5.
Aspergillus. I. , Raquel Pedrosa, orient. II. Costa, Romero Marcos Pedrosa Brandao, coorient. III. Título

CDD 574

YWKELLY DE LIMA ALVES

**PRODUÇÃO DE ENZIMAS UTILIZANDO RESÍDUOS DE CAFÉ COMO
SUBSTRATO EM PROCESSOS FERMENTATIVOS: UMA REVISÃO.**

Comissão de Avaliação:

Professora Raquel Pedrosa Bezerra – UFRPE
(1º Titular: Orientadora)

(Professora Daniela de Araújo Viana Marques) – UPE
(2º Titular)

(Juanize Matias da Silva Batista) – UFRPE
(3º Titular)

(Marllyn Marques da Silva) – UFRPE
(Suplente)

RECIFE - PE
2021

Dedico e entrego este trabalho à Ciência, sem ela, nenhuma linha deste seria possível. E creio que sem Deus, nenhuma Ciência seria possível, então, quando agradeço a ela, em causa primeira, e em suma, agradeço a Deus.

Também, a todos os que poderão usá-lo como base para discussão de novos conhecimentos no futuro.

AGRADECIMENTOS

O que escrevo data do início, não apenas do fim. Como uma carta, dedico e agradeço a todos abaixo.

Como de costume, agradeço primeiramente a Deus, não por bênçãos caindo do céu, mas pela força que me concedeu, principal item que O pedia. Nunca pedi a Deus algo como “por favor, me faça entrar na universidade”, mas sim: “Dê-me forças para que meus esforços somados a sua graça tornem o alcance disso possível”. E posso te dizer, Ele tem me dado, em cada um dos meus feitos, entre eles esse tal TCC, tem a Sua força impressa, obrigada meu Deus.

E agradeço muito a mim mesma, como não poderia!? Por toda força, coragem, persistência, sede de conhecimento, pelo ir fundo em tudo que quer conquistar, sim, agradeço a mim, pois sei quanto custou para eu ser exatamente como sou neste momento no tempo, e ainda tem muito pela frente, pois quero muito mais.

De igual modo, agradeço aos meus familiares que de alguma forma me incentivaram e ajudaram a trilhar o caminho da universidade. É muito gratificante ser a primeira da família a ter uma graduação concluída, talvez eu tenha sido a primeira com a oportunidade e escolha para tal, e isso também foi graças a minha família, em especial, meus pais e irmão, *Carlos, Jacicleide e Ywgleidson*, obrigada! Meus sonhos futuros incluem pensamentos de ver todos vocês melhores do que hoje um dia, e eu, de alguma forma, ser a causadora disso, pois amo vocês.

Além disso, agradeço aos meus amigos e irmãos de outras famílias, eu certamente não imaginaria ter tantos e valiosos amigos na minha trajetória, mas Deus foi bom, me deu os melhores possíveis. E vocês me perdoem, mas não vou citar nomes em geral, pois a lista é média, mas sei que quando lerem essas palavras sentirão em seus corações que é para vocês que escrevo. Vocês são muito especiais para mim, obrigada por ouvirem e trocarem desabafos, tornam a caminhada para qualquer destino mais leve. Amo vocês!

Ainda, sou grata as minhas “Girls Ruralensis”: *may*, *nay* e *beca*, eu aprendi a amar vocês em cada uma de suas personalidades, ajudaram-me a entender tanta coisa que nem sabem, algo muito superior a qualquer conhecimento acadêmico, obrigada por terem sido sofridas (sabemos que muito kkk) e extremamente felizes comigo nessa universidade. É isso que importa no final. Bem como aos amigos do whatsapp haha e *polly* que me ajudou revisando o inglês do resumo.

Também, a melhor turma que a Rural já viu (fato comprovado por diversos professores, monitores, alunos e nós mesmos): *SB3 pisa*, um “mói” de gente diferente e inteligente juntas, essa foi a nossa turma e rural jamais terá algo assim novamente, provavelmente hehe.

Como disse Carl Sagan, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com todos vocês.

Ademais, agradeço ao LABTECBIO, que me acolheu por alguns anos e me trouxe bons conhecimentos práticos desse mundo científico, lá também ganhei amigos e experiências que levarei para vida, sobre o mundo científico e humano. Também agradeço aos professores que tornaram esse trabalho possível, em especial, a professora e minha orientadora neste trabalho, *Raquel Pedrosa*, que caiu como um anjo no caos que estava esse TCC antes dela (kkkk), sua dedicação e cuidado com o “pobi” do graduando é algo que muitos deveriam seguir como um belo modelo, parabéns. Professor *Romero* e *Felype*, meus agradecimentos pelo que fizeram também, boa sorte em suas jornadas. Bem como aos membros da minha banca avaliadora: *Juanize*, *Daniela* e *Marllyn*, muito obrigada pela disponibilidade. Ainda, agradeço ao coordenador do curso: Professor *Marcus*, sem o senhor todo esse trabalho teria sido ainda mais difícil (misericórdia), obrigada pela excelência no seu trabalho, és um modelo a ser seguido também.

Por fim, mas nunca menos importante, agradeço a minha universidade, UFRPE, a carinhosamente chamada *Ruralinda*, cada pessoa, “doguinhos”, animais em geral e árvores que tornam esse lugar incrível, bem como os cantos geladinhos onde o graduando podia se largar (6º andar do DB nunca vou te esquecer). Entre as duas opções, foi a melhor escolha que poderia ter feito, fui muito feliz aqui, principalmente no RU hahaha. Você dificilmente encontrará alguém que viveu aqui e não a amou, a Rural é isso, mais que uma universidade, um lar. Obrigada!

“Não devemos ter como lema ‘Seja boa, doce menina, e deixe a inteligência para quem a possui’, mas sim ‘Seja boa, doce menina, e não se esqueça de ser o mais inteligente que puder’.”

-C. S. Lewis.

RESUMO

As enzimas microbianas se destacam devido às inúmeras aplicações biotecnológicas, e aliado a isso a possibilidade do uso de resíduos como substrato no processo fermentativo pode trazer vantagens na produção em escala industrial. Os resíduos de café, por exemplo, tem se mostrado como um bom meio para a obtenção de uma variedade de enzimas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática acerca da utilização de três tipos diferentes de resíduos de café para produção de enzimas, através de processos fermentativos, a fim de identificar as principais classes de enzimas produzidas e os microrganismos empregados como agentes fermentadores, tais como os fungos, bactérias, cianobactérias e microalgas. Assim, foi realizada pesquisa bibliográfica nas bases de dados desde a última década utilizando as palavras-chave “waste pulp coffee and enzyme” e, através de critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 26 artigos. Cerca de 30,76% dos trabalhos foram produzidos na Indonésia e apontaram celulase como a principal enzima produzida. A fermentação em estado sólido (FES) foi o processo mais utilizado para produção das enzimas, representando 92,59%, e os fungos do gênero *Aspergillus* mais largamente utilizados nesse processo, com 23,07% de ocorrência nos artigos. Entre os resíduos de café, a polpa teve maior ocorrência, aparecendo em 76,92% dos artigos. Ademais, o tempo de fermentação, volume do resíduo, temperatura e pH foram parâmetros essenciais no resultado final de obtenção das enzimas. Com isso, observou-se que o resíduo de café tem potencial como substrato para a obtenção de diferentes enzimas, principalmente as celulósicas, utilizando-se de fungos, em especial os do gênero *Aspergillus*, em processos sólidos de fermentação.

Palavras-chave: Resíduo de café. Polpa de café. Enzimas. Fermentação em estado sólido (FES). *Aspergillus*.

ABSTRACT

Microbial enzymes stand out due to their numerous biotechnological applications, and allied to this, the possibility of using residues as a substrate in the fermentation process can bring advantages in production on an industrial scale. Coffee residues, for example, have been shown to be a good means of obtaining a variety of enzymes. Thus, the objective of this work was to carry out a systematic review of the use of three different types of coffee residues for enzyme production, through fermentation processes, in order to identify the main classes of enzymes produced and the microorganisms used as fermenting agents, such as fungi, bacteria, cyanobacteria and microalgae. Thus, a bibliographic search was carried out in the databases since the last decade using the keywords “waste pulp coffee and enzyme” and, through inclusion and exclusion criteria, 26 articles were selected. About 30.76% of the works were produced in Indonesia and pointed to cellulase as the main enzyme produced. Solid state fermentation (SSF) was the most used process for the production of enzymes, representing 92.59%, and the fungi of the genus *Aspergillus* were most widely used in this process, with 23.07% of occurrence in the articles. Among coffee residues, pulp had the highest occurrence, appearing in 76.92% of the articles. Furthermore, fermentation time, residue volume, temperature and pH were essential parameters in the final result of obtaining the enzymes. Thus, it was observed that the coffee residue has potential as a substrate for obtaining different enzymes, mainly cellulosic ones, using fungi, especially those of the *Aspergillus* genus, in solid fermentation processes.

Keywords: Coffee residue. Coffee pulp. Enzymes. Solid state fermentation (SSF). *Aspergillus*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de fermentação em estado sólido.....	23
Figura 2 - Processo de fermentação submersa.....	24
Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada para a seleção dos artigos que relataram a produção de enzimas utilizando resíduos de café como substrato em processos fermentativos, presentes nos bancos de dados analisados e publicados entre os anos de 2012 a 2021.....	26
Figura 4 - Número de artigos sobre a produção de enzimas microbianas utilizando resíduos de café a partir de processos de fermentação, entre os anos de 2012 a 2021, de acordo com os dados do levantamento bibliográfico.....	32
Figura 5 - Proporção entre os tipos de resíduos de café utilizados nas fermentações para a produção de enzimas microbianas de acordo com o banco de dados.....	32
Figura 6 - Proporção entre enzimas produzidas a partir das fermentações em resíduos de café de acordo com o banco de dados.....	34
Figura 7 - Proporção entre as espécies de microrganismos produtores de enzimas sob FES e FSm nos resíduos de café investigados, segundo o banco de dados.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fungos produtores de enzimas.....	19
Tabela 2 - Tipos de resíduos que podem ser usados em processos de FES.....	20
Tabela 3 - Relação de artigos que apresentam a produção de enzimas por diferentes microrganismos, o material utilizado, o tipo de fermentação e suas características.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS

FES: Fermentação em estado sólido

FSm: Fermentação submersa

Conab: Companhia Nacional de Abastecimento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	17
	2.1. PRINCIPAL.....	17
	2.2. ESPECÍFICO.....	17
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
	3.1. ENZIMAS MICROBIANAS E SUAS APLICAÇÕES.....	18
	3.2. MICRORGANISMOS PRODUTORES.....	19
	3.3. PROCESSOS FERMENTATIVOS.....	20
	3.4. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.....	21
	3.5. RESÍDUOS DE CAFÉ.....	23
4.	METODOLOGIA	25
	4.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	25
	4.2. SELEÇÃO DOS ARTIGOS.....	25
	4.2.1. Identificação	25
	4.2.2. Rastreamento	24
	4.2.3. Elegibilidade	24
	4.2.4. Seleção	25
	4.2.5. Inclusão	26
	4.3. ANÁLISE DE DADOS.....	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.	CONCLUSÃO	41
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A utilização de enzimas no mercado mundial vem aumentando e, concomitantemente, a necessidade de desenvolver processos de produção mais eficientes e economicamente viáveis. O mercado global de enzimas deverá chegar a US\$ 10,5 bilhões até 2024, e grande parte será produzida por microrganismos (PAPADAKI et al., 2020). Esse mercado mostra-se promissor devido às inúmeras aplicações das enzimas, sendo empregadas em diferentes tipos de indústria, como a alimentícia, farmacêutica, na fabricação de alimentação animal, produtos de limpeza, e na área biotecnológica (SRIVASTAVA, 2019). Além disso, as enzimas apresentam alta seletividade, condições amenas de reação (pressão, temperatura e pH) e menores problemas ambientais e toxicológicos. A produção dessas enzimas se dá por meio da tecnologia de fermentação, podendo ser sólidas ou submersas (PRASAD & ROY, 2018).

A fermentação em estado sólido (FES) é definida como o processo de crescimento microbiano em um substrato sólido sem água livre aparente, apresentando condições biológicas, físicas-químicas e ambientais particulares que podem afetar diretamente o processo, assim como o tipo de substrato e o microrganismo utilizado. A FES torna viável a possibilidade de uso de resíduos sólidos, que servem para o crescimento dos microrganismos, contribuindo também para uma destinação adequada desses resíduos (AITA et al., 2019). Também consegue simular o habitat natural do microrganismo, além de possuir baixa possibilidade de contaminação, fácil manutenção e obtenção de produtos em alta concentração (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2018). Esse processo é muito utilizado para a produção de enzimas microbianas, devido a essas vantagens em comparação com a fermentação submersa convencional.

Em contrapartida, a fermentação submersa (FSm) é conduzida em meio líquido, e tem como característica a homogeneidade e eficiência na transferência de nutrientes, que estão solúveis no meio. Além de apresentar maior facilidade de controle de parâmetros físico-químicos e maior capacidade de recuperação enzimática. O efeito da temperatura, pH, umidade, conteúdo, concentração de inóculo, tempo de fermentação e o tipo de substrato são de importância essencial

para o desenvolvimento desses bioprocessos e alcance de uma produção eficiente de enzimas (ABIDI et al., 2011; LIMA, 2019; SANTOS et al., 2018).

Portanto, quando se trata de resíduos agrícolas, o Brasil obtém especial destaque, visto que possui uma economia fortemente ligada à agricultura, gerando uma quantidade alta de resíduos agrícolas. Diante disso, o reaproveitamento desses resíduos é uma questão que vem sendo considerada no cenário atual como forma de minimizar o impacto ambiental. E como forma de reaproveitamento, os processos fermentativos apresentam uma boa alternativa, visto que geram produtos finais de alto valor agregado e de importância industrial e biotecnológica, entre esses, as enzimas (RODRIGUES, 2021; AMARAL, 2017). Existe uma grande variedade de resíduos que podem ser reaproveitados pelos processos fermentativos, entre esses, os resíduos de café vem obtendo atenção no cenário científico atual (RANI & APPAIAH, 2011; XAVIER et al., 2019).

Em relação aos resíduos, o café é uma alternativa promissora pois a produção mundial e nacional alcança grandes proporções, segundo relatórios sobre o mercado de café e companhias nacionais de abastecimento (Conab), o que também reflete a grande e concomitante produção de resíduo advindo dessa produção como resultado final (TOKIMOTO et al., 2005). Ademais, como maneira de reaproveitamento, resíduos de casca, polpa e borra de café vem sendo utilizados como eficientes substratos em processos sólidos de fermentação (FES) para a obtenção de biocompostos, e com isso vem ganhando cada vez mais destaque. Isso se deve principalmente à rica composição nutricional desses resíduos, o que proporciona um ambiente perfeito para que os microrganismos se multipliquem e produzam compostos de valor industrial com baixo custo (PANDEY et al., 1999; PANDA et al., 2016).

Diante disso, percebe-se a importância de pesquisas que relacionem e investiguem aspectos ligados à produção de enzimas utilizando resíduos de café, visando a melhoria dos parâmetros fermentativos da produção de enzimas, a fim de analisar como a utilização desses resíduos pode se mostrar promissora na obtenção de bioprodutos que possuem alto valor agregado e diversas aplicabilidades.

2. OBJETIVOS

2.1. PRINCIPAL

Realizar uma revisão sistemática sobre a produção de enzimas por processos fermentativos que utilizem resíduos de café como substrato.

2.2. ESPECÍFICOS

- Identificar os países e anos com maior concentração de pesquisas sobre o tema;
- Qual processo fermentativo mais utilizado e variáveis relevantes;
- Os principais microrganismos fermentadores utilizados;
- Identificar as principais classes de enzimas obtidas;
- Identificar aspectos que devem ser explorados e melhorados cientificamente.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ENZIMAS MICROBIANAS E SUAS APLICAÇÕES

A produção mundial de enzimas mostra-se promissora e em expansão, devido à diversidade de aplicações em diferentes tipos de indústria, como a alimentícia, farmacêutica, na fabricação de alimentação animal, produtos de limpeza, e na área biotecnológica (SRIVASTAVA, 2019). O mercado global de enzimas deverá chegar a US\$ 10,5 bilhões até 2024, seguindo uma taxa de crescimento anual de 5,7%, sendo estimado que 70% da quota dessas enzimas seja produzida por microrganismos (PAPADAKI et al., 2020).

Além disso, a utilização de enzimas especialmente microbianas tem movimentado o mercado mundial industrial e/ou ambiental, também pelo interesse nos processos que envolvem baixo custo energético e fácil produção e pela eficácia das enzimas (SRIVASTAVA, 2019). Segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica, as vantagens no uso de enzimas em tecnologias é que elas possibilitam uma gama de reações com benefícios de alta seletividade, condições amena de reação (pressão, temperatura e pH) e menores problemas ambientais e toxicológicos. Dentre os microrganismos capazes de produzir enzimas e industrialmente relevantes estão as bactérias, fungos filamentosos e leveduras, microalgas e cianobactérias (PRASAD & ROY, 2018).

Diversos autores descreveram aplicações definidas para cada tipo enzimático, por exemplo, as peroxidases foram aplicadas na descoloração de corantes industriais e têxteis (HARTWIG, et al., 2014). Já as lipases são umas das classes de enzimas que podem ser utilizadas como biocatalisadores e são mais valorizadas no campo da biotecnologia porque podem ser utilizadas em indústrias de alimentos, detergentes, têxteis, farmacêuticas, energia e cosméticos, o que a torna o terceiro maior grupo de enzimas utilizado mundialmente (PHUKON et al., 2020). As lipases são capazes, através da modificação das propriedades de lipídios, de produzir sabor e aroma, obtendo produtos de maior valor nutricional, além de facilitarem a remoção de gordura de produtos de carne e peixe, etc (MEHTA et al., 2021). Segundo Murugan et al. (2020), as pectinases podem ser aplicadas na produção de vinho, clarificação de suco, e extração de óleo vegetal. Já as proteases microbianas, têm sido empregadas na preparação de hidrolisados de proteína de

alto valor, podendo ser usada em formulações de alimentos infantis, produtos alimentares terapêuticos específicos, fortificantes de sucos e refrigerantes e como aditivos alimentares funcionais (AGUILAR & SATO, 2017). Essas enzimas são exemplos de produtos advindos da produção microbiana, por meio da tecnologia de fermentação.

3.2. MICRORGANISMOS PRODUTORES

Os microrganismos apresentam uma grande variedade metabólica, constituindo assim uma importante fonte de produtos bioativos de importância industrial e biotecnológica. Alguns gêneros de bactérias vêm sendo isolados e avaliados como potenciais produtores desses compostos, como *Bacillus*, *Acinetobacter*, entre outros, especialmente quando se trata de produção enzimática. Diversas enzimas podem ser produzidas pelas bactérias, como lipases, amilases, celulasas, etc (ALVES, 2018; LIMA, 2018; SELVAM et al., 2014). Entretanto, segundo Abidi et al. (2011), mais da metade das enzimas utilizadas industrialmente são produzidas por fungos e leveduras, enquanto que as bactérias produzem cerca de 30% do total. Os cogumelos também foram relatados como produtores de enzimas em processos de fermentação, como os cogumelos da espécie *Lentinula edodes*, produtores de celulasas (MATA, G.; SALMONES & PÉREZ-MERLO, 2016). Assim, os fungos filamentosos se destacam por possuírem alta produção de biocompostos, sendo ótimos produtores desses metabólitos primários e secundários de interesse industrial, além de apresentarem adaptações a diferentes condições ambientais e baixo custo no processo de produção (GONÇALVES et al., 2018, GUO et al., 2018; SANTOS, 2020; AMARAL, 2017), tornando-os ferramentas biotecnológicas de interesse para áreas como a medicina e farmacêutica, gerando impacto social e científico significativo (TSANG, 2018).

Como exemplo de microrganismos produtores de enzimas estão os fungos, como exemplificado na tabela 2, juntamente com as enzimas que são capazes de produzir através.

Tabela 1 - Fungos produtores de enzimas.

FUNGOS	ENZIMAS PRODUZIDAS
<i>Aspergillus niger</i>	Celulase
<i>Phellinus contiguus</i>	Lacase
<i>Penicillium verrucosum</i>	β - glucosidase
<i>Fusarium</i> sp.	Peroxidase
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Xilanase
<i>Pleurotus</i> sp.	Peroxidase
<i>Trichoderma</i> sp.	Celulase

Fonte: Autoral.

3.3. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

No cenário mundial, o advento da industrialização surgiu, e trouxe conjuntamente, questões posteriores acerca da destinação final de alguns subprodutos gerados inevitavelmente pelo processo. Com isso, uma intensa conscientização iniciou-se no fim do século XX, quando começou a preocupação acerca da necessidade humana de se adequar ao descarte dos subprodutos gerados (PINTO et al., 2005). No Brasil, por ser um país cuja economia encontra-se fortemente ligada à agricultura, há uma grande produção de resíduos na agroindústria, e, devido a isso, as atenções vêm sendo voltadas para o reaproveitamento desses subprodutos.

Esse reaproveitamento minimizaria os problemas ambientais e energéticos, além de ser útil em outras vertentes, como a biotecnológica, onde podem ser empregados como substratos em processos de fermentação que gerarão produtos biotecnológicos de interesse e a baixo custo (RODRIGUES, 2021). Esse cenário tem estimulado os setores públicos e privados a buscarem tecnologias para o aproveitamento e valorização de resíduos (SANTOS et al., 2018).

Dessa forma, a utilização de resíduos provenientes das indústrias tem surgido como uma ótima alternativa para a formulação dos meios de produção em processos fermentativos, por apresentarem elevados índices de nutrientes em sua

composição, riqueza orgânica, baixo custo e ampla disponibilidade (AMARAL, 2017). Esses resíduos possuem uma composição rica baseada em carboidratos, fibras, minerais e proteínas, que os tornam fontes alternativas de nitrogênio e carboidratos, podendo substituir as fontes sintéticas desses nutrientes empregados em bioprocessos, como a fermentação (GUO et al., 2018; GRAJALES et al. 2016). Por exemplo, resíduos agrícolas vindos da produção de arroz, trigo, sementes oleaginosas e grãos estão entre os mais abundantes subprodutos agrícolas no mundo.

Além disso, os resíduos vêm ganhando mais atenção na FES devido à maior capacidade de produzir enzimas que degradam polímeros vegetais complexos presentes nos resíduos agroindustriais que o processo permite utilizar, diferentemente da FSm, que se utiliza de substratos mais solúveis (SALAZAR et al., 2019; CAVALCANTE et al., 2018). A composição rica em açúcares fermentáveis e nutrientes é um ambiente perfeito para os microrganismos, que têm a capacidade de utilizar esses substratos, convertendo-os em diversos produtos de importância industrial, como as enzimas (PANDEY et al., 1999).

Assim, desenvolveram-se, ao longo dos anos, diversos estudos envolvendo o uso de subprodutos provenientes dos resíduos com certa frequência na literatura. Exibindo assim, uma grande variedade de resíduos que podem ser utilizados como substrato no processo de FES, conforme exemplifica a tabela 1.

Tabela 2 - Tipos de resíduos que podem ser usados em processos de FES.

TIPO DE RESÍDUO	REFERÊNCIA
Bagaço da cana-de-açúcar	GRAJALES et al. 2016.
Coco de babaçu	SILVA, 2017.
Farelo de arroz	SALAZAR et al., 2019.
Farelo de trigo	GRAJALES et al. 2016.
Casca de mandioca	SANTANA, 2012.
Borra de café	XAVIER et al., 2019.

Fonte: Autoral.

3.4. RESÍDUOS DE CAFÉ

Segundo o Relatório sobre o Mercado de Café, a produção global de café para o ano-cafeeiro 2020–2021 está estimada em 171,9 milhões de sacas de 60kg. No mundo, 1/3 do café consumido é produzido no Brasil, e este ocupa o segundo lugar em número de consumidores atrás, apenas, dos Estados Unidos. Ademais, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a expectativa de produção de sacas de café no Brasil é de 49 milhões de sacas na safra de 2021, tendo recorde dentro da série histórica do grão no ano de 2020, com 63,08 milhões de sacas. No Nordeste, o estado da Bahia representa quase 100% do total de produção regional, ocupando o 4º lugar na esfera nacional, com 6,6% da produção (BRAINER, 2020).

Desse modo, esses valores podem ser refletidos também no resultado final caracterizado pela produção inevitável de resíduos durante o processamento físico do café nas usinas, bem como após a colheita. Acrescenta-se a isso, segundo relata Tokimoto et al. (2005), os resíduos gerados após o uso final pelo consumidor individual, restaurantes e refeitórios, por exemplo, que acabam por gerar a borra de café como resíduo final.

A borra de café pode ser utilizada como vantagem em processos de FES devido às características importantes como a riqueza de compostos orgânicos e minerais, sendo uma ótima fonte de carbono em processos fermentativos (XAVIER et al., 2019). A composição de 100 gramas (composição centesimal) em média apresenta: 5,2 a 9,63 % de umidade; 13,76 a 17,69 % de proteínas; 6,93 a 11,12 % de lipídeos; 62,67 a 71,96 % de carboidratos e 14,60 a 21,48 de fibra bruta (SILVA et al., 2007; ZAINOL et al., 2020).

A casca do café também se constitui como um subproduto das indústrias de processamento de café. Por exemplo, para cada tonelada de café cereja, há quase 0,18 toneladas de resíduo (RANI & APPAIAH, 2011). A casca de café é composta por celulose (43%), carboidratos (22,8%), proteínas (11,2%), além de minerais e grande quantidade de polifenóis (MURTHY & ANONANI, 2008). Há entretanto, problemas em seu descarte, devido a presença de substâncias como a cafeína, taninos e outros polifenóis, o uso na agricultura por exemplo, tem sido restrito, sendo o descarte causa de poluição nas unidades de processamento (VENUGOPAL et al., 2004). Por outro lado, a aplicação desses resíduos em bioprocessos fornece

substrato mais barato e ajuda a resolver a problemática do descarte (RANI & APPAIAH, 2011).

Segundo Teixeira (1995 apud BARCELOS et al., 2001), há equivalência entre os nutrientes da casca e da polpa do café, independente da variedade do mesmo. Bressani et al. (1972 apud BARCELOS et al., 2001) analisou a polpa desidratada, encontrando os valores de 87,4% de matéria seca, 2,5% de extrato etéreo, 21,9% de fibra bruta, 11,2 de proteína bruta e menores valores de minerais.

Apesar disso, atualmente não existem aplicações mais diretas para esses resíduos, especialmente os de café, problema agravado devido a grande parcela dos agricultores não possuírem conhecimentos técnicos específicos para a destinação final desses resíduos. Assim, há uma intensificação da problemática ambiental causada por esse resíduo quando descartado na natureza, levando em conta a grande produção do mesmo. Dessa forma, esses resíduos podem constituir um eficiente substrato em processos de reaproveitamento, como os processos fermentativos, que possuem parâmetros próprios que os caracterizam e diferenciam.

3.5. PROCESSOS FERMENTATIVOS

A fermentação em estado sólido (FES) é definida como o processo de crescimento microbiano em um substrato sólido sem água livre aparente, apresentando condições de umidade necessárias para que ocorra o desenvolvimento e crescimento celular no meio fermentativo (figura 1).

Dessa forma, deve-se levar em conta que particulares condições biológicas, físicas-químicas e ambientais podem afetar diretamente o processo de FES, assim como o tipo de substrato e o microrganismo utilizado (SANTOS et al., 2018; RAHARDJO et al., 2006).

Figura 1 - Processo de fermentação em estado sólido.



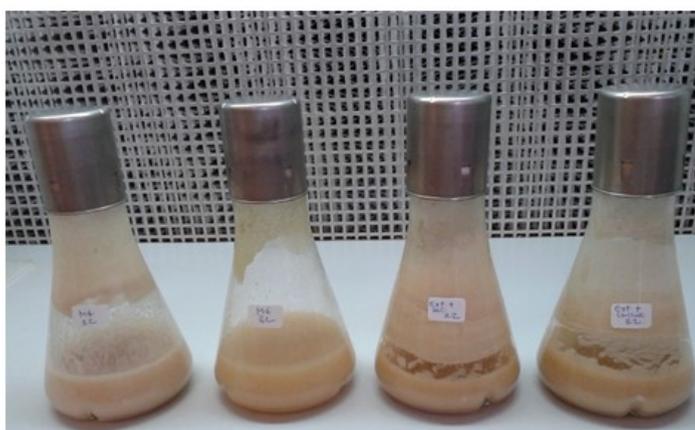
Fonte: Torres & Silva, 2016.

Ademais, devido a essas características a FES consegue simular o habitat natural do microrganismo, além de possuir baixa possibilidade de contaminação, ser de fácil manutenção e resultar no alto rendimento de produtos (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2018; SINGHANIA et al., 2010). A FES torna viável a possibilidade de uso de resíduos sólidos, que servem como fonte de carbono, nitrogênio, sais e energia para o crescimento dos microrganismos, contribuindo também para uma destinação adequada desses resíduos (AITA et al., 2019), o que é um fator de grande importância ambiental, visto que quantidades significativas de resíduos são descartados por indústrias. Alguns estudos têm sido realizados com fungos filamentosos para produção de enzimas, tais como: celulase, hemicelulases e ligninases, através de FES em resíduos de lignocelulose. No entanto, nem todas as enzimas necessárias foram produzidas em altas concentrações por uma única espécie de fungo. Como uma alternativa, poderia ser feita a utilização de uma

associação fúngica, com duas ou mais espécies, resultando em uma estratégia interessante para aumentar a produção de coquetéis enzimáticos com alto potencial catalítico (RODRIGUES et al., 2020). Sendo esse processo muito utilizado para a produção de enzimas microbianas, devido a essas vantagens econômicas e biotecnológicas em comparação com a fermentação submersa, outro tipo de fermentação utilizado.

Em contrapartida, a fermentação submersa (FSm) difere no microambiente mais aquoso quando comparado com FES, o que permite a produção de diferentes tipos de enzimas (MAHADIK et al., 2002). Assim, enzimas de interesse industrial são produzidas através desse processo de cultivo submerso, que tem como característica a homogeneidade e eficiência na transferência de nutrientes, já que os mesmos estão solúveis no meio. Além de apresentar maior facilidade de controle de parâmetros físico-químicos (pH, temperatura e agitação) e maior capacidade de recuperação enzimática após o processo (SANTOS, 2007). Esse tipo de processo fermentativo pode ser desenvolvido em frascos agitados, fermentadores de bancada (figura 2) ou em fermentadores em escala industrial e, segundo Rodríguez Zúñica et al. (2011), é utilizado em 90% dos processos de produção de enzimas nas indústrias.

Figura 2 - Processo de fermentação submersa.



Fonte: Santos et al., 2021.

As vantagens do uso da FSm em relação a FES são a facilidade no escalonamento, controle dos processos fermentativos e na purificação dos produtos finais. Entre os controles dos processos fermentativos, destacam-se o controle do pH, agitação e aeração, parâmetros importantes para o crescimento de

microrganismos (MUSATTI et al., 2017). Entretanto, na FSm a possibilidade de contaminação é maior, devido a alta quantidade de água, também necessita de grande espaço físico para instalação dos equipamentos onde será feita a fermentação, necessita de equipamentos mais complexos, sendo os biorreatores não tão compactos devido ao grande volume de água, e possui maior custo operacional e alta demanda de energia (MAHADIK et al., 2002).

4. METODOLOGIA

4.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O presente trabalho de revisão foi desenvolvido no ano de 2021, por meio de pesquisa bibliográfica nas bases de dados online/portais de pesquisa: *Scielo (Scientific Eletronic Library Online)*, *Science Direct* e *Google Acadêmico*. Os artigos foram selecionados nos últimos 10 anos, utilizando como palavras-chave “*waste pulp coffee*” and “*enzyme*”. Foram excluídos trabalhos de revisão bibliográfica, capítulos de livros, livros, resumos publicados em eventos científicos, bem como estudos que não identificaram algum dos pontos relevantes para essa revisão.

4.2. SELEÇÃO DOS ARTIGOS

O processo de identificação até a inclusão de artigos neste trabalho foi feito por meio de cinco fases, descritas abaixo.

4.2.1. Identificação

Onde foram identificados todos os artigos encontrados nas três bases de dados a partir da utilização das palavras chaves para pesquisa.

4.2.2. Rastreamento

Artigos duplicados, ou seja, encontrados em mais de um banco de dados, foram excluídos.

4.2.3. Elegibilidade

Os artigos foram avaliados de acordo com critérios de elegibilidade: trabalhos originais que analisaram a produção de enzimas por meio de resíduos de café em processos de fermentação microbiana, publicados em língua inglesa, espanhola ou portuguesa entre os anos de 2012 até 2021. Os artigos que não se enquadraram nos critérios foram excluídos.

4.2.4. Seleção

Alguns artigos ainda foram filtrados com base na análise do título e resumo, não sendo nesses identificados correspondências ao tema desta revisão, foram excluídos.

4.2.5. **Inclusão**

Na última fase, foram excluídos os artigos após leitura do texto completo e não identificação de correspondência temática com o da presente revisão ou falta de informações relevantes. Os artigos que restaram foram incluídos no banco de dados.

4.3. ANÁLISE DE DADOS

Os artigos incluídos foram analisados e agrupados em uma tabela cujos dados foram extraídos e simplificados em forma de gráficos ao longo da seção de resultados e discussão, contendo as características do processo de produção, bem como as peculiaridade da fermentação como: tipo de resíduo, volume do resíduo, tipo de fermentação, parâmetros da fermentação, agente fermentador utilizado, tipo de enzima produzida, autores, ano e país de origem da publicação. Essas informações foram avaliadas para obtenção de dados quantitativos através da utilização de recursos de média e porcentagem numérica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento bibliográfico, seguindo a metodologia de pesquisa resumida na Figura 3, foram selecionadas 26 publicações sobre a produção de enzimas através de microrganismos por meio de processos fermentativos sólidos ou submersos que utilizaram resíduos de café como substrato (Tabela 3).

Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada para a seleção dos artigos que relataram a produção de enzimas utilizando resíduos de café como substrato em processos fermentativos, presentes nos bancos de dados analisados e publicados entre os anos de 2012 a 2021.

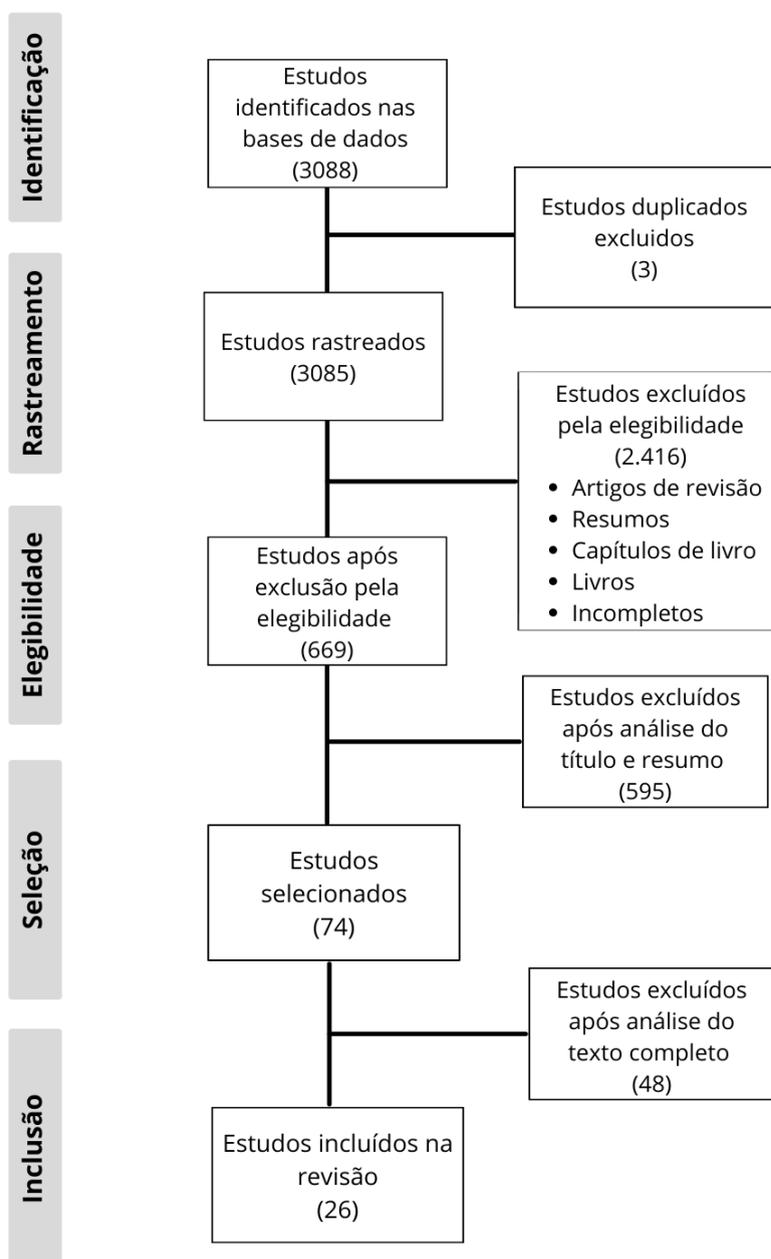


Tabela 3 - Características do processo fermentativo presentes nos artigos selecionados.

Autores/Ano	País	Substrato	Microrganismo produtor	Tipo de fermentação	Características da fermentação	Tipo de enzima produzida
RUSDIANTE <i>et al.</i> , 2021.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus sp.</i>	FES	¹ V: 10g ² TI: 48h pH: 5 ³ T: 30°C	Celulase
SUNARTO <i>et al.</i> , 2021.	Indonésia	Polpa	Fungo	FES	V: 10g TI: 96h pH: 4,5 T: 30°C	Celulase
HIDAYAH <i>et al.</i> , 2020.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus sp.</i>	FES	V: 150g TI: 168h pH: 5 T: 37°C	Pectinase
ELIDA <i>et al.</i> , 2020.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus sp.</i>	FES	V: 10g TI: 120h pH: 7 T: 37°C	Celulase
MUZAKHAR & WINARSA, 2019.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus niger</i>	FES	V: 500g TI: 120h pH: 5 T: 30°C	α -L-Rhamnosidase
RAVINDRAN <i>et al.</i> , 2019.	Irlanda	Borra	<i>Aspergillus niger</i>	FES	V: 50g TI: 120h pH: 5 T: 35°C	Xilanase
KUSUMAATM AJA <i>et al.</i> , 2021.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus sp.</i>	FES	V: 10g TI: 168h pH: 4 T: 30°C	Pectinase

MUZAKHAR <i>et al.</i> , 2017.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus niger</i>	FES	V: 10g TI: 120h pH: 5 T: 30°C	Celulase
FAVARO <i>et al.</i> , 2020.	Brasil	Borra	<i>Aspergillus niger</i>	FES	V: 10g TI: 120h pH: 5,5 T: 30°C	α -L-Rhamnosidase
MARAVILHA <i>et al.</i> , 2017.	México	Polpa	<i>Penicillium citrinum</i>	FES	V: 5g TI: 144h pH: 5,5 T: 28°C	Xilanase
FRÓMETA <i>et al.</i> , 2020.	Espanha	Polpa	<i>Aspergillus sp.</i>	FES	V: 5g TI: 168h pH: 5,5 T: 45°C	Poligalacturonase
KANDASAMY <i>et al.</i> , 2016.	Índia	Polpa	<i>Bacillus sp.</i>	FES	V: 3g TI: 96h pH: 8 T: 37°C	Protease
BHOITE <i>et al.</i> , 2013.	Austrália	Polpa	<i>Penicillium verrucosum</i>	FES	V: 10g TI: 56h pH: 5,5 T: 30°C	β -glucosidase
PARANI & EYINI, 2012.	Índia	Polpa	<i>Pleurotus eous</i>	FES	V: 10g TI: 720h pH: 5 T: 28°C	Peroxidase
PEÑA-LUCIO, E. <i>et al.</i> , 2020.	México	Polpa	<i>Rhizopus oryzae</i>	FES	V: 500g TI: 120h pH: 7 T: 30°C	n-desmetilase
MURTHY & NAIDU, 2012.	Índia	Polpa; Borra; Casca	<i>Penicillium sp.</i>	FES	V: 100g TI: 120h	Xilanase

					pH: 5 T: 30°C	
DIAS <i>et al.</i> , 2015.	Brasil	Polpa	<i>Bacillus subtilis</i>	F5m	V: 36,8g TI: 24h pH: 3,64 T: 36,6°C	β-glicosidase
SELVAM <i>et al.</i> , 2014.	Índia	Polpa	<i>Acinetobacter</i> sp.	FES	V: 3g TI: 60h pH: 7 T: 37°C	Celulase; Laminarinase; Xilanase
MATA <i>et al.</i> , 2016.	México	Polpa	<i>Lentinula edodes</i>	FES	V: 500g TI: 840h pH: 5 T: 25°C	Arabinofuranosidase ; Celulase
MUZAKHAR, K., 2019.	Indonésia	Polpa	<i>Aspergillus</i> sp.	FES	V: 500g TI: 120h pH: 5 T: 30°C	Celulase
BHOITE <i>et al.</i> , 2013.	Austrália	Polpa	<i>Penicillium verrucosum</i>	FES	V: 100g TI: 144h pH: 5 T: 30°C	Tanase
NAVYA & PUSHPA, 2012.	Índia	Casca	<i>Rhizopus stolonifer</i>	FES	V: 100g TI: 96h pH: 5 T: 30°C	Endoglucanase
NAVYA <i>et al.</i> , 2012.	Índia	Casca	<i>Rhizopus stolonifer</i>	FES	V: 100g TI: 99,8h pH: 5,5 T: 30°C	Celulase
BHOITE & MURTHY, 2013.	Austrália	Polpa	<i>Penicillium verrucosum</i>	FES	V: 10g TI: 96h pH: 5 T: 30°C	Tanase

RANI & APPAIAH, 2013.	Índia	Casca	<i>Gluconacetobact er hansenii</i>	FSm	V: 100g TI: 336h pH: 5 T: 27°C	Celulase
SALDAÑA-ME NDOZA <i>et al.</i> , 2020.	Índia	Polpa	<i>Aspergillus niger</i>	FES	V: 10g TI: 120h pH: 5 T: 30°C	Celulase

Fonte: Autoral.

¹Volume. ²Tempo de Incubação. ³Temperatura.

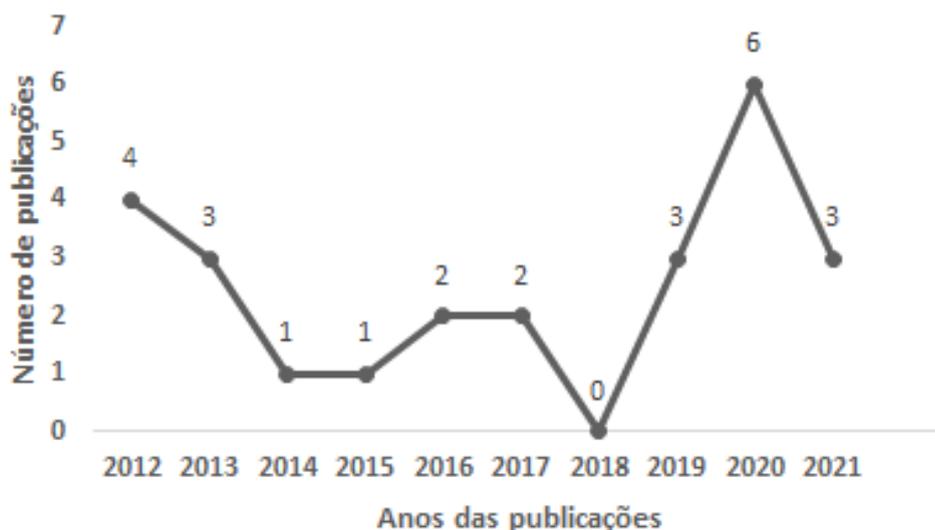
Do total de publicações, o país com maior número de publicações utilizando o café como substrato para o processo fermentativo foi a Indonésia, com 30,76% do total de artigos. Isso poderia ser explicado pelo fato da indústria cafeeira da Indonésia ser a quarta maior do mundo e a terceira maior produtora da variedade *Robusta*, uma das principais culturas do país. A produção atingiu 35 mil toneladas em 2019 com previsão de aumento de 50% a 60% nos próximos 5 anos (MANDELBAUM, 2019). Além disso, possui uma das maiores áreas de cultivo comercial de café, com 1.229 mil hectares (BRAINER, 2018). Diante desse cenário de produção, há de se constatar que existe conseqüente geração de grandes quantias de resíduos de café, o que pode explicar uma busca, através desses estudos, de uma solução para esses resíduos, podendo ser empregados, por exemplo, em tecnologias de reaproveitamento e valorização, sendo assim, bons apresentadores de alternativas ambientalmente mais sustentáveis.

Entretanto, esse fato contrasta com o encontrado por Silva et al. (2018), que em seu trabalho de revisão levantou não a Indonésia, mas o Brasil como sendo o maior detentor de publicações entre os anos de 2006 a 2017, com 49%. Isso mostra que nos anos anteriores aos estudados nessa revisão, o Brasil detinha o maior número de artigos sobre o tema. Entretanto, tal estudo leva em consideração a produção de enzimas em qualquer tipo de resíduo agroindustrial, não apenas os resíduos de café, o que pode explicar a discrepância e alertar para a diversidade de resíduos existentes que podem ser também utilizados em estudos. Além disso, o segundo maior país a produzir esse tipo de publicação, também encontrado por Silva et al. (2018), foi a Índia, com 30,76% do total de artigos, fato que se repetiu no presente trabalho, onde a Índia deteve um total de 26,92% das publicações, mostrando que o país, apesar de não possuir as maiores porcentagens, continua constante e emergente no seu ritmo de publicações sobre o tema.

Levando em conta os anos de publicações observados nessa revisão, entre os anos de 2014 a 2017, o número de artigos encontrados não foi tão alto, se comparado aos anos anteriores (2012 a 2013). Apenas no ano de 2018 não houveram artigos sobre a produção de enzimas a partir de resíduos de café, dentro do período que compreendeu essa revisão (Figura 4). O ano de 2020 apresentou o maior número de publicações, o que parece demonstrar que, apesar da queda em 2018, as pesquisas sobre o tema podem aumentar ao longo dos anos. Isso pode ser

corroborado pelo fato das preocupações sobre a diminuição e destinação de resíduos virem se tornando cada vez mais frequentes na temática sobre o meio ambiente na sociedade.

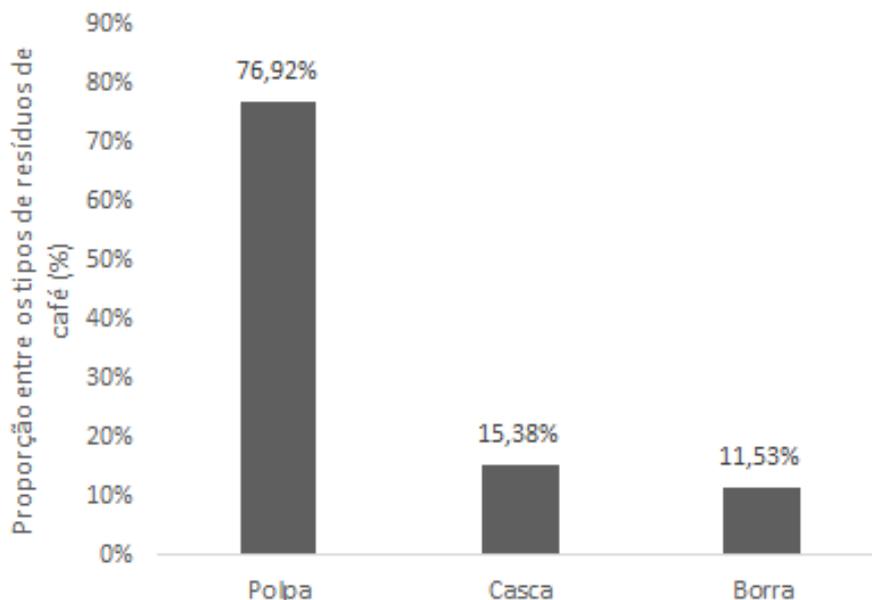
Figura 4 - Número de artigos sobre a produção de enzimas microbianas utilizando resíduos de café a partir de processos de fermentação, entre os anos de 2012 a 2021, de acordo com os dados do levantamento bibliográfico.



Fonte: Autoral.

Entre os tipos de resíduos de café encontrados nos trabalhos, e utilizados nas fermentações, estavam a polpa, borra e a casca do café. Sendo a polpa o mais largamente utilizado nas pesquisas, o que pode ter como justificativa o fato desse tipo de resíduo possuir uma composição rica em polímeros complexos, tais como fibra, além de outros componentes, como carboidratos e proteínas em boas quantidades, o que a torna eficiente uma fonte eficiente de nutrientes nos processos fermentativos. Dos 26 artigos selecionados nesta revisão, 76,92% utilizaram a polpa de café, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Proporção entre os tipos de resíduos de café utilizados nas fermentações para a produção de enzimas microbianas de acordo com o banco de dados.



Fonte: Autoral.

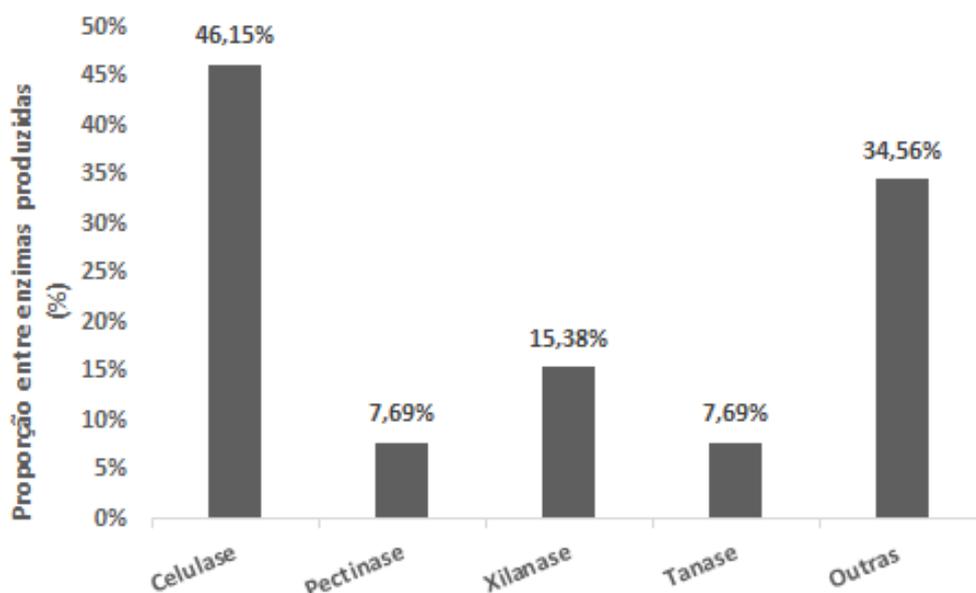
A casca e a borra de café ficaram com porcentagens relativamente próximas uma das outras e discrepantes em relação à utilização da polpa. Murthy & Naidu (2012) observaram que a polpa foi o substrato que melhor produziu enzimas do tipo xilanase (9.475 U/ml), quando comparado com os resíduos da casca (5.480 U/ml) e borra (1.542 U/ml). Fato também corroborado por outros trabalhos que constataram uma produção maior de enzimas como a laminarinase em polpa (8.00 U/ml) em comparação com a produção de endoglucanase em casca (5.619 U/ml) e protease em borra (256 U/ml), por exemplo. Isso pode ser explicado pela composição rica em fibra bruta presente nesse tipo de resíduo, bem como a presença de outros compostos nutritivos para os microrganismos que participam dos processos fermentativos de produção enzimática (MATA et al., 2016; NAVYA & PUSHPA, 2012).

Os resíduos como café têm ganhado atenção em processos fermentativos, devido também à capacidade de fornecer fontes utilizadas por microorganismos para produção de enzimas, como as citadas acima, que degradam polímeros vegetais complexos, como por exemplo as celulasas e xilanas. O resíduo de café pode ter em média 14,60% a 21,48% de fibra bruta a cada 100g, além de que como resíduo apresenta composição rica em hemicelulose, celulose e lignina (SILVA et al.,

2007; TAMANINI & HAULY, 2004). As enzimas podem degradar essas substâncias através, por exemplo, de fermentações em estado sólido (SALAZAR et al., 2019; RODRÍGUEZ ZÚÑIGA et al. 2011).

Essas informações podem justificar, por exemplo, o fato de enzimas como a celulase terem sido as enzimas de maior produção e destaque nos trabalhos selecionados, apresentando uma porcentagem de ocorrência de 46,15% nos artigos (Figura 6). Outras enzimas somaram um total de 34,56%, fato que demonstra a diversidade desses compostos que vêm sendo estudados e produzidos por meio do resíduo de café, como ilustra a Figura 3. Além da capacidade dessas enzimas de degradar os compostos complexos presentes nos resíduos, elas também são de grande interesse devido as suas aplicações em diferentes setores de indústrias de combustível, têxtil, de papel, química, entre outras, e seu potencial para aplicação biotecnológica (NCUBE et al., 2012).

Figura 6 - Proporção entre enzimas produzidas a partir das fermentações em resíduos de café de acordo com o banco de dados.



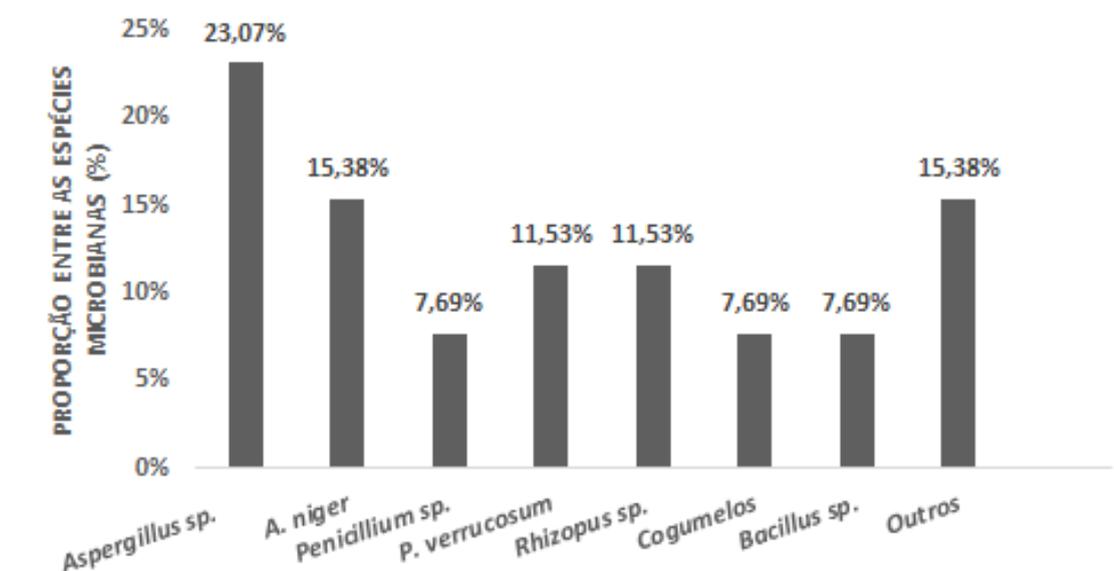
Fonte: Autoral.

*Outras: α -L-Rhamnosidase, β -mananase, poligalacturonase, protease, peroxidase, n-desmetilase, laminarinase, tanase, endoglucanase, arabinofuranosidase.

*Alguns artigos produziram mais de um tipo de enzima.

Do total de trabalhos selecionadas para essa revisão, os fungos foram os maiores produtores de enzimas, observados em 76,89% dos trabalhos selecionados, com destaque para as celulases, tanases, xilanases, β -mananases, peroxidases, entre outras, utilizando a casca, a borra ou a polpa do resíduo de café, tanto em fermentações sólidas como em submersas. Enquanto isso, as bactérias figuraram em 15,38% dos trabalhos, produzindo, especialmente, as enzimas celulase através de FSm em dois casos e FES em um, utilizando tanto a polpa como a casca do resíduo de café.

Figura 7 - Proporção entre as espécies de microrganismos produtores de enzimas sob FES e FSm nos resíduos de café investigados, segundo o banco de dados.



Fonte: Autoral.

*Outros: *Acinetobacter* sp., *Gluconacetobacter hansenii* e microrganismos sem espécie definida.

Há uma grande diversidade microbiana sendo empregada em processos fermentativos com resíduos agroindustriais com o objetivo de produzir enzimas. Apesar da predominante utilização de fungos para a produção de enzimas, as bactérias também foram verificadas como boas produtoras destas. Por exemplo, Selvam et al. (2014) utilizaram o gênero *Acinetobacter* em polpa de café para a produção de celulase, obtendo valores de produção de 888 U/ml. Assim como Selvam et al. (2014), outros autores como Rani & Appaiah (2013) e Kandasamy et al. (2016), também fizeram uso de bactérias como *Gluconacetobacter hansenii* e

Bacillus sp. para a produção de celulases e proteases, respectivamente. Porém, como pode ser visto na Figura 7, os fungos possuem uma atenção especial e são empregados mais largamente, quando comparados às bactérias. Isso se deve ao fato desses fungos possuírem características fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas mais adaptáveis às condições ambientais, como baixa umidade, crescendo mais facilmente nos substratos de cultivo (GUO et al., 2018; SANTOS, 2020; ZEN et al., 2014).

Entre os microrganismos analisados, *Aspergillus* foi o gênero mais utilizado nos artigos, essa grande utilização é devido ao fato de ser considerado como degradante primário de substâncias presentes nos resíduos, como a celulose e lignina, além de serem cosmopolitas, capazes de crescer em diferentes meios e secretam uma variedade de enzimas de interesse biotecnológico (AGUIAR, 2010; SANTOS et al., 2020; MALDONADO et al., 2014; CHANGYOU-SHI et al., 2016). *Aspergillus niger*, uma espécie de *Aspergillus*, foi o segundo mais reportado na presente revisão e o mais reportado entre os microrganismos estudados e utilizados para a produção de enzimas na hidrólise de parede celular vegetal por Rigo et al. (2021).

Ravindran et al. (2019), Favaro et al. (2020) e Saldoña-mendoza et al. (2020), utilizaram *Aspergillus niger* para a produção xilanase, β -mananase e celulase, respectivamente. Já Bhoite et al. (2013), encontraram valores máximo de produção de tanases (169,49 U/ml), quando utilizaram o fungo da espécie *Penicillium verrucosum* cultivado em FES em 100g de resíduo de polpa de café. Em outro estudo (BHOITE, R. N. & MURTHY, P. S., 2013), o mesmo autor quando variou a quantidade de substrato de 100g para 10g, encontrou um menor valor de produção para a mesma enzima (115,995 U/ml), indicando que o volume do resíduo pode ser um fator de variação no resultado final da produção, como será discutido posteriormente. Nos trabalhos analisados, o valor médio de volume em gramas dos resíduos utilizados foi de 113,712g, bem próximo ao valor de melhor produção verificado por Bhoite et al. (2013), porém a maior parte dos artigos (37,03%) utilizou um valor fixo de 10g de substrato. Por exemplo, Favaro et al. (2020), quando utilizaram 10g de borra de café, obtiveram produção de 96,7 U/ ml da enzima β -mananase. Assim, verifica-se que a quantidade de substrato a ser utilizado nas fermentações deve ser analisada como um fator relevante de variação nas fermentações quando se deseja obter valores máximos de produção.

A FES esteve presente em 92,59% dos artigos escolhidos, a grande ocorrência pode ser explicada pelo fato da FES ser mais amplamente utilizada para produção de enzimas utilizando resíduos agroindustriais sólidos, como os resíduos de café, afinal se utiliza de substratos sólidos para formação de sua matriz (AITA et al., 2019). Além disso, apresenta diversas características vantajosas que tornam o processo facilitado e adaptável ao microorganismo, baixo custo, visto que há a possibilidade de uso de resíduos, e alta produção de biocompostos, quando comparada com FSm (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2018; SINGHANIA et al., 2010; PIROTA et al., 2015). Já a FSm representou 7,40% das publicações, apesar das vantagens da FES e sua grande utilização, a FSm também é responsável por produzir diferentes tipos de enzimas de interesse industrial (SANTOS, 2007). Sendo, segundo Rodríguez Zúñica et al. (2011), utilizada em 90% dos processos de produção de enzimas industriais. Esse processo pode ser o mais utilizado em escala industrial devido a possuir maior facilidade no controle dos parâmetros físico-químicos como pH, temperatura e agitação, e maior capacidade de recuperação das enzimas após o processo fermentativo (SILVA et al., 2020).

A eficiência de ambos os processos fermentativos envolve boas escolhas desde o substrato até o controle de parâmetros do processo para uma produção eficiente do produto final. Além da escolha do substrato, parâmetros físico-químicos ditam os resultados finais, por isso são necessárias adequações desses. Nessa revisão, foram observados quatro parâmetros utilizados durante o processo fermentativo: tempo de fermentação, volume de resíduo, pH e temperatura e sua possível influência sobre a produção final de enzimas.

O tempo de fermentação foi um parâmetro avaliado nos artigos selecionados como fator importante no desenvolvimento da fermentação. A média de horas utilizadas no processo fermentativo foi de aproximadamente 170h, sendo 120h um tempo observado em um número considerável de artigos. Por exemplo, Frómata et al. (2017) observaram que o tempo ideal de fermentação para produção de poligalacturonase por *Aspergillus* sp. foi de 168h. Enquanto que Muzakhar et al. (2017) verificaram que 120h foi o suficiente para a produção de celulase utilizando o mesmo fungo. Esse tempo de fermentação deve ser analisado porque se relaciona diretamente com o esgotamento nutricional do substrato, o que implica na redução do metabolismo microbiano, tornando inviável a conversão da biomassa em produto e, por fim, reduzindo a produção das enzimas de interesse (SANTOS et al., 2013).

E, como dito em parágrafos anteriores, o volume do substrato é também é um parâmetro que pode influenciar no processo fermentativo, por exemplo, quando Bhoite et al. (2013) variaram, em estudos diferentes, a quantidade de substrato de polpa de café de 100g para 10g, acabaram encontrando um menor valor de produção para a enzima tanase, indo de 169,49 U/ml no primeiro estudo com 100g, para 115,995 U/ml no segundo, indicando que o volume do resíduo foi um fator de variação no resultado final da produção (BHOITE & MURTHY, 2013).

Ademais, o pH é outro parâmetro considerável que pode influenciar no transporte de componentes importantes através das membranas das células (KAPOOR et al., 2008), podendo induzir alterações morfológicas nos microrganismos e interferir na estabilidade das enzimas. O que demonstra que esse seria um parâmetro interessante para se manipular, visando a otimização da produção durante o processo fermentativo (MRUDULA & MURUGAMMAL, 2011). A média do valor de pH nos trabalhos analisados foi de cerca de 5, o que torna o meio levemente ácido, característica vantajosa devido ao fato de que grande parte dos processos biotecnológicos ocorrem em pH ácidos (JÚNIOR et al., 2021). Por outro lado, a temperatura se relaciona com o transporte de massa e transferência de oxigênio através do substrato (WANG & YANG, 2007), sendo encontrado nas publicações selecionadas uma média de cerca de 33°C para os processos de fermentação. Essa temperatura próxima da temperatura ambiente pode indicar a intenção de simular as condições naturais e originais que muitos dos microrganismos vivem e se encontram, objetivando uma melhor adaptação e consequente eficiente produção enzimática (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2018). A termoestabilidade é uma interessante propriedade das enzimas utilizadas em processos biotecnológicos (RAY, 2010). Em ensaios de hidrólise, por exemplo, as enzimas termoestáveis apresentam várias vantagens, como atividade específica mais elevada, o que causa a diminuição na quantidade da carga enzimática utilizada no processo, conferindo maior estabilidade e podendo alongar o tempo da hidrólise, permitindo assim o aumento da flexibilidade de variações ao longo do processo (VILKARI et al., 2007)

6. CONCLUSÃO

Por fim, através do banco de dados formado nesta revisão pôde-se observar que a Indonésia foi o principal país onde as publicações sobre a produção de enzimas a partir de resíduos de café foram desenvolvidas na última década. Ademais, a polpa foi o resíduo de café mais amplamente utilizado e processos fermentativos sólidos os mais empregados. De maneira geral, a celulase foi a enzima obtida com maior frequência nas FES, mas houve grande variedade de outras enzimas também produzidas, o fungo *Aspergillus* foi o agente biológico mais usado nessas fermentações. Parâmetros desse processo, como volume do resíduo, tempo de fermentação, pH e temperatura foram aspectos de considerável influência no resultado final da produção enzimática e devem ser analisados a fim de tornar o processo mais eficiente. A utilização dos resíduos de café para a obtenção de enzimas através de processos fermentativos sólidos conduzidos por fungos apresenta crescente ascensão como rota biotecnológica alternativa e viável, representando uma contribuição científica em diversas áreas onde essas serão empregadas, porém necessita de maiores experimentações para que o processo seja conduzido da melhor maneira possível e com isso venha a ser mais utilizado em escala industrial. O que contribuirá com a produção de enzimas por meios mais econômicos, minimizando altos custos atuais de produção das mesmas, além de ser uma alternativa para o descarte dos resíduos, o que vem a ser uma forma de diminuir o impacto ambiental que os mesmos teriam se caso fossem descartados no meio ambiente. Além da agregação de valor a matérias primas naturais abundantes como o resíduo de café que, até então, não eram aproveitadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, F. A. P. C. Produção de protease por *Aspergillus niger* (SIS 18) em meios contendo resíduos agroindustriais utilizando planejamento fatorial. **Engevista**, v. 19, n. 05, 2017.

AITA, B. C. et al. Production of cell-wall degrading enzymes by solid-state fermentation using agro industrial residues as substrates. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, 103193, 2019.

BHOITE, R. N., NAVYA, P. N., MURTHY, P. S. Statistical optimization, partial purification, and characterization of coffee pulp β -glucosidase and its application in ethanol production. **Food Science and Biotechnology**, 22(S1), 205–212, 2013.

BHOITE, R. N.; NAVYA, P. N.; MURTHY, P. S. Purification and Characterisation of a Coffee Pulp Tannase Produced by *Penicillium verrucosum*. **Journal of Food Science and Engineering**, 3, 323-331, 2013.

BHOITE, R. N., & MURTHY, P. S. Biodegradation of coffee pulp tannin by *Penicillium verrucosum* for production of tannase, statistical optimization and its application. **Food and Bioproducts Processing**, 94, 727–735, 2015.

BRAINER, M. S. C. P. Panorama setorial do café. **Caderno Setorial ETENE**, n. 48, 2018. Disponível em:

<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4122020/48_cafe.pdf/60b7aede-a4df-3090-061e-33bbe1f5e91f > Acesso em: 23 de out. 2021.

BRESSANI, R.; ESTRADA, E.; JARQUIN, R. Pulpa e pergaminho de café. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. **Turrialba**, v. 22, n. 3, p. 299-304, 1972 apud BARCELOS, A. F. et al. Composição química da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. **II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 818-825, 2001.

CHANGYOU-SHI, J. H. et al. Physicochemical Properties Analysis and Secretome of *Aspergillus niger* in Fermented Rapeseed Meal. **Plos One**, 6; 11(4), 2016.

DIAS, M. et al. A new alternative use for coffee pulp from semi-dry process to b-glucosidase production by *Bacillus subtilis*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 1, p. 588-595, 2015.

ELIDA, F. S. et al. Efficiency of cellulase production using coffee pulp waste under solid state fermentation by *Aspergillus* sp. VT12. **AIP Conference Proceeding**, v. 2296, 2020. Disponível em:

<<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0030482>> Acesso em: 19 de set. 2021.

JÚNIOR, S. D. O. et al. Produção de enzimas por *Penicillium chrysogenum* em fermentação em estado sólido usando fibra de coco como substrato. **Revista de Biotecnologia e Ciência**, v. 10, n. 1, 2021. Disponível em:

<<https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/11322>> Acesso em: 12 de dez. de 2021.

TEIXEIRA, J. C. Café. **Simpósio sobre nutrição de bovinos**, p. 123-151, 1995 apud BARCELOS, A. F. et al. Composição química da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. **II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 818-825, 2001.

HARTWIG, E. S. et al. Utilização das enzimas peroxidases do nado no controle do escurecimento enzimático em maçãs minimamente processadas. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, 2014.

HIDAYAH, A. A. H. et al. Utilization of coffee pulp as a substrate for pectinase production by *Aspergillus* sp. VTM5 through solid state fermentation. **AIP Conference Proceeding**, v. 2296, ed. 1, 2020. Disponível em:
<<https://aip.scitation.org/doi/epdf/10.1063/5.0030474>> Acesso em: 13 de nov de 2021.

FAVARO, C. P. et al. β -Mannanase Production Using Coffee Industry Waste for Application in Soluble Coffee Processing. **Biomolecules**, v. 10, ed. 2, p. 227, 2020. Disponível em:
<<https://www.mdpi.com/2218-273X/10/2/227/htm>> Acesso em: 09 de nov de 2021.

FRÓMETA, R. A. R. et al. Evaluation of coffee pulp as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. 32(2): 117-124, 2020.

KAPOOR, M.; NAIR, L. M.; KUHAD, R. C. Cost-effective xylanase production from free and immobilized *Bacillus pumilus* strain MK001 and its application in saccharification of *Prosopis juliflora*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 38, n.1, p. 88-97, 2008.

KANDASAMY, S. et al. Optimization of protease production from surface-modified coffee pulp waste and corncobs using *Bacillus* sp. by SSF. **Biotech**, 6(2), 2016.

PANESAR, P. S.; KAUR, R.; SINGLA, G.; SANGWAN, R. S. Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: progress and prospects. **Appl Food Biotechnol**, v. 3, n. 4, p. 208-227, 2016.

PARANI, K.; EYINI, M. Production of ligninolytic enzymes during solid state fermentation of coffee pulp by selected fungi. **Science Research Reporter**, 2 (3), 202-209, 2012.

PEÑA-LÚCIO, E. M. et al. Use of coffee pulp and sorghum mixtures in the production of n-demethylases by solid-state fermentation. **Bioresource Technology**, 123112, 2020.

PIROTA, R. D. P. B. et al. Caracterização de fungos isolados da região Amazônica quanto ao potencial para a produção das enzimas envolvidas na conversão da biomassa vegetal. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1606-1612, 2015.

GRAJALES L. M.; IGNÁCIO, E. O; THOMÉO, J. C. Produção de celulases por fermentação em estado sólido em biorreator rotativo. **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. COBEQ. XVI Encontro brasileiro sobre o ensino de engenharia química ENBEQ**, Fortaleza, 2016.

GUO, H. Q.; CHANG, Y. Q.; LEE, D. Enzymatic saccharification of lignocellulosic biorefinery: Research focuses. **Bioresource Technology**, v. 252, p.198-215, 2018.

RANI, R. U.; APPAIAH, K. A. A. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husck. **Association of Food Scientists & Technologists**, v. 50, n. 4, p. 755–762, 2011.

RANI, M. U.; APPAIAH, K. A. A. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husk. **Journal of Food Science and Technology**, 50(4), 755–762, 2013.

RAHARDJO, Y. S. P.; TRAMPER, J.; RINZEMA, A. Modeling conversion and transport phenomena in solid-state fermentation: a review and perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 24, p. 161-179, 2006.

Relatório sobre a cafeicultura da Indonésia. **Revista cafeicultura**, 2008.

Disponível em:

< <https://revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=18698> > Acesso em: 23 de out. de 2021.

RIGO, D. et al. Comparison of the production of enzymes to cell wall hydrolysis using different carbon sources by *Penicillium echinulatum* strains and its hydrolysis potential for lignocellulosic biomass. **Process Biochemistry**, v. 66, p. 162-170, 2018.

RIGO, D. et al. Produção Microbiológica de Enzimas: uma Revisão. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p.9232-925, 2021.

RODRIGUES, E. M. G. Utilização de subprodutos da indústria cervejeira como substrato para a produção de amilase por fermentação em estado sólido. **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 11, n. 1, p. 46-57, 2021.

GONÇALVES, V. N. et al. **Biologia e Biotecnologia de Fungos**. Microbiologia Industrial, v. 1, cap. 3, 2018.

GUO, H. Q.; CHANG, Y. Q.; LEE, D. Enzymatic saccharification of lignocellulosic biorefinery: Research focuses. **Bioresource Technology**, v. 252, p.198-215, 2018.

TSANG, C. C. et al. Taxonomy and evolution of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* in the omics era - past, present and future. **Computational and Structural Biotechnology Journal**, v. 16, p. 197-210, 2018.

PAPADAKI, E. et al. Feasibility of multi-hydrolytic enzymes production from optimized grape pomace residues and wheat bran mixture using *Aspergillus niger* in an integrated citric acid enzymes production process. **Bioresource Technology**, v. 309, 2020.

PANDEY, A. et al. Solid State Fermentation for the Production of Industrial Enzymes. **Current Science**: 77, p. 149-152, 1999.

PRASAD, S. & ROY, I. Converting enzymes into tools of industrial importance. **Recent Pat Biotechnol.** v. 12, n. 1, p. 33-56, 2018. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28606046/>> Acesso em: 18 de dez. 2021.

AGUILAR, J. G. DOS S.; SATO, H. H. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates. **Food Research International**, 2017.

MANDELBAUM, H. G. Indonésia aumenta a produção de café em antecipação ao crescimento da demanda chinesa. **Ceiri News**, 2019. Disponível em:

<<https://ceiri.news/indonesia-aumenta-producao-de-cafe-em-antecipacao-ao-crescimento-da-demanda-chinesa/>> Acesso em: 23 de out. 2021.

MURTHY P. S.; MANONMANI, H. K. Bioconversion of coffee industry wastes with white rot fungi *Pleurotus florida*. **Res. J. Env. Sci.**, 2:145–150, 2008.

MURTHY, P. S. & NAIDU, M. M. Production and Application of Xylanase from *Penicillium* sp. Utilizing Coffee By-products. **Food and Bioprocess Technology**, 5(2), 657–664, 2012.

MURUGAN, T. et al. Production and characterization of extracellular pectinase from a newly isolated *Bacillus* species from fruit waste soil. **Materials Today: Proceedings**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.607>> Acesso em: 14 de jul. 2021.

MRUDULA, S.; MURUGAMMAL, R. Production of cellulase by *Aspergillus niger* under submerged and solid state fermentation using coir waste as a substrate. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 42, n. 3, p. 1119-1127, 2011.

MUZAKHAR, K.; WINARSA, R. Activity of an A-L-Rhamnosidase Produced by *Aspergillus niger* During Solid State Fermentation of Coffee Pulp Wastes. **Journal Biodjati**, v. 4, n. 1, 2019.
<https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/biodjati/article/view/4411>

MEHTA, A. et al. The lipases and their applications with emphasis on food industry. **Microbial Biotechnology in Food and Health**, 2021.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819813-1.00006-2>.

NAVYA, P. N. & PUSHPA, S. M. Production, statistical optimization and application of endoglucanase from *Rhizopus stolonifer* utilizing coffee husk. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, 36(8), 1115–1123, 2012.

NAVYA, P. N.; BHOITE, R. N.; MURTHY P. S. Bioconversion of coffee husk cellulose and statistical optimization of process for production of exoglucanase by *Rhizopus stolonifer*. **World Applied Sciences Journal**, 20 (6): 781-789, 2012.

NCUBE, T. et al. **Jatropha curcas seed cake as substrate for production of xylanase and cellulase by *Aspergillus niger* FGSCA733 in solid-state fermentation**. *Industrial Crops and Products*, v. 37, n. 1, p. 118-123, 2012.

SELVAM, K. et al. Process optimization of cellulase production from alkali-treated coffee pulp and pineapple waste using *Acinetobacter* sp. TSK-MASC. **RSC Adv.**, 4(25), 13045–13051, 2014.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alim. Nutr.**, v. 18, n. 3, p. 325-330, 2007.

SINGHANIA, R. R. et al. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. **Enzyme and Microbial Technology**, v.46, p. 541-549, 2010.

SALAZAR, L. N. et al. Production, Partial Characterization and Application of Cellulases by Newly Isolated *Penicillium* sp. Using Agro-Industrial Substrate Solid-State Fermentation. **Industrial Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 79-88, 2019.

SANTANA, L. S. M.; GONÇALVES, Z. S; FRANCO, M. A produção de amilase a partir da fermentação em estado sólido do farelo de cacau. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 1981-1987, 2012.

SANTOS, A. F. A. et al. Bioprospecção de enzimas produzidas por *Aspergillus tamarii* URM 4634, isolado do solo da Caatinga, por fermentação em estado sólido. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 25663-25676, 2020.

SANTOS, P. S. et al. Nutritional impact of low-cost substrates on biphasic fermentation for conidia production of the fungal biopesticide *Metarhizium anisopliae*. **Bioresource Technology Reports**, v. 13, 2021. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100619>> Acesso em: 18 de dez. de 2021.

RAVINDRAN, R.; WILLIAMS, G. A.; JAISWAL, A. K. Spent Coffee Waste as a Potential Media Component for Xylanase Production and Potential Application in Juice Enrichment. **Foods**, 8(11), 585, 2019.

RODRIGUES, P. D. E. O. et al. Lignocellulose-degrading enzymes production by solid-state fermentation through fungal consortium among Ascomycetes and Basidiomycetes. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2683-2693, 2020.

TOKIMOTO, T. et al. Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. **Journal of Colloid na Interface Science**, v. 281, ed. 1, p. 56-61, 2005.

TORRES, B. H. C. & SILVA, M. A. B. Determinação da Atividade Enzimática de Extrato Bruto Obtido por Fermentação em Estado Sólido de Bagaço de Malte por *Aspergillus niger*. **Revista de Biociência, Biotecnologia e Saúde**, n. 16, 2016. Disponível em:

<<https://www.semanticscholar.org/paper/Determina%C3%A7%C3%A3o-da-Atividade-Enzim%C3%A1tica-de-Extrato-por-Torres-Silva/518ec7e25478735492b68286cebb83f06aff3bb5#related-papers>> Acesso em 18 de dez. de 2021.

LOPES, L. S et al. Production of fungal enzymes in Macaúba coconut and enzymatic degradation of textile dye. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 26, p. 101651, 2020.

KUSUMAATMAJA, A. et al. Pectinase production by using coffee pulp substrate as carbon and nitrogen source. **Key Engineering Materials**, v. 884, p. 165-170, 2021.

PHUKON, L. C. et al. Production and characterisation of lipase for application in detergent industry from a novel *Pseudomonas helmanticensis* HS6. **Bioresource Technology**, v. 309, 123352, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123352>> Acesso em: 10 de out. 2021.

PATEL, H. et al. Enhanced lipase production from organic solvent tolerant *Pseudomonas aeruginosa* UKHL1 and its application in oily waste-water treatment. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 28, 101731, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101731>> Acesso em: 10 de out. 2021.

SANTOS, P. S. et al. Fermentação em estado sólido em resíduos agroindustriais para a produção de enzimas: uma revisão sistemática. **The Journal of Engineering Sciences**, v. 04, n. 02, 2018.

SANTOS, A. F. A. et al. Bioprospecção de enzimas produzidas por *Aspergillus tamarii* URM 4634, isolado do solo da Caatinga por fermentação em estado sólido. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 25663-25676, 2020.

SILVA, L. S. et al. Fermentação em estado sólido e submerso para produção de celulase: revisão bibliográfica. **Congresso Internacional da Agroindústria (CIAGRO)**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0101>> Acesso em: 18 de Dez 2021.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SILVA, G. M. H. et al. Produção de amilase e protease obtidas por *Metarhizium anisopliae* var *anisopliae* através da fermentação em estado sólido. **Revista Saúde & Ciência**, v. 07, n. 02, 2018.

SUNARTO, N. I. et al. Preliminary Investigation of Cellulase Producer Candidate Isolate VT11 Using Coffee Pulp Waste Under Solid-State Fermentation. **Key Engineering Materials**, v. 884, p. 234-240, 2021. Disponível em: <<https://www.scientific.net/KEM.884.234>> Acesso em 28 de set. de 2021.

MALDONATO, R. R.; MACEDO, G. A.; RODRIGUES, M. I. Lipase Production Using Microorganisms from Different Agro-Industrial By-Products. **International Journal of Applied Science and Technology**, v.4, n.1, p. 108-115, 2014.

MATA, G.; SALMONES, D.; PÉREZ-MERLO, R. Hydrolytic enzyme activities in shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) strains cultivated on coffee pulp. **Revista Argentina de Microbiología**, 48(3), 191–195, 2016.

MUSATTI, A. et al. **Use of solid digestate for lignocellulolytic enzymes production through submerged fungal fermentation.** Journal of Environmental Management, v. 199, p. 1-6, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.022>> Acesso em: 22 de set. 2021.

MUZAKHAR, K. et al. Examination of Coffee Pulp Waste for Medium in Cellulase Production by *Aspergillus* Species. **Proceeding of the annual basic science international conference**, v 1, p. 120-123, 2017. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/162194081.pdf#page=14>> Acesso em: 18 de set. de 2021.

MUZAKHAR, K. A Consortium of Three Enzymes: Xylanase, Arabinofuranosidase, and Cellulase from *Aspergillus* sp. which liquefied Coffee Pulp Wastes. **Materials Science and Engineering**, 2019.

RAY, R. R. Extra Cellular Endoxylanase Production from Solid State Fermentation of Dried Grass by *Streptomyces* sp OM 09. **Journal of experimental Sciences**, v.1, p.33-36, 2010.

RUSDIANTI, R. et al. Cheap Cellulase Production by *Aspergillus* sp. VTM1 Through Solid State Fermentation of Coffee Pulp Waste. **Key Engineering Materials**, v. 884, p. 159-164, 2021.

COURI, S.; DAMASO, M. C. T. Enzimáticos. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CO NT000fid5sgif02wyiv80z4s473v6o7sud.html> Acesso em: 19 de out. 2021.

MARAVILHA, M. P. et al. Cellulases and xylanases production by *Penicillium citrinum* CGETCR using coffee pulp in solid state fermentation. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 16, n. 3, p. 757-769, 2017.

MAHADIK, N. D. et al. Production of acidic lipase by *Aspergillus niger* in solid state fermentation. **Process Biochemistry**, 38 (5), p. 715-721, 2002.

VENUGOPAL, C.; RAI, M. R.; APPAIAH, K. A. A. Mycotypha sps strain no. AKM 1801-Novel thermophilic fungi for alkalization of coffee husk effluent. **Asian J. Microbiol. Biotechnol. Env. Sci.**, 6:525–527, 2004.

VIIKARI, L. et al. Thermostable enzymes in lignocellulose hydrolysis. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v.108, p.121–145, 2007.

WANG, W. & YANG, S. Solid state fermentation and its application. Bioprocessing for value-added products from renewable resources. **Elsevier**, cáp. 18, p. 465-489, 2007.

XAVIER, K. A. S. et al. Design experimental utilizando borra de café e *Aspergillus* sp para produção de fosfatase alcalina. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 2, p. 10-18, 2019.

ZAINOL, K. et al. Antioxidative properties and proximate analysis of spent coffee ground (SCG) extracted using ultrasonic methanol assisted technique as a potential functional food ingredient. **Food Research**, v. 4, n. 3, p. 636-644, 2020.