



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
QUÍMICA LICENCIATURA

DARLAN SÓSTENES DOS SANTOS CÂNDIDO

POTENCIAL DE FUNGOS DA PODRIDÃO BRANCA NA DEGRADAÇÃO DE
PLÁSTICOS: UMA REVISÃO.

Volume 1

Maceió
2023

DARLAN SÓSTENES DOS SANTOS CÂNDIDO

POTENCIAL DE FUNGOS DA PODRIDÃO BRANCA NA DEGRADAÇÃO DE
PLÁSTICOS: Uma Revisão
Volume 1

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, como requisito a Obtenção do grau de Licenciado em Química.

Orientador: Profa.^a Dra.^a Sonia Salgueiro Machado
Coorientador: Prof^o Dr^o. José Edmundo Accioly de Souza

Maceió
2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Maria Rejane Ferreira – CRB-4 – 1665

C217p Cândido, Darlan Sóstenes dos Santos.
Potencial de fungos da produção branca na degradação de plásticos: uma
revisão / Darlan Sóstenes dos Santos Cândido. - 2002.
36 f. : il. color

Orientadora: Sônia Salgueiro Machado.
Coorientador: José Edmundo Accioly de Souza.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química:
Licenciatura) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e
Biotecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 32-36.

1. Hidrólise enzimática. 2. Polímeros. 3. Fungos. 4. Biorremediação
I. Título.

CDU: 582.28

DARLAN SÓSTENES DOS SANTOS CÂNDIDO

**POTENCIAL DE FUNGOS DA PODRIDÃO BRANCA NA
DEGRDAÇÃO DE PLÁSTICOS: UMA REVISÃO.**

Trabalho de conclusão de curso aprovado pelo corpo docente do Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Campus A. C. Simões, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado de Química.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
SONIA SALGUEIRO MACHADO
Data: 05/01/2023 14:45:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Sônia Salgueiro Machado
Instituto de Química e Biotecnologia - UFAL
Orientador



Documento assinado digitalmente
JOSE EDMUNDO ACCIOLY DE SOUZA
Data: 05/01/2023 17:37:34-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza
Instituto de Química e Biotecnologia - UFAL
Coorientador



Documento assinado digitalmente
FRANCIS SOARES GOMES
Data: 23/12/2022 07:01:40-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dr^o. Francis Soares Gomes
Instituto de Química e Biotecnologia - UFAL
Examinadora



Documento assinado digitalmente

VITOR LOPES DE ABREU LIMA

Data: 23/12/2022 14:40:17-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Profa. Dr^o. Vitor Lopes de Abreu Lima
Instituto de Química e Biotecnologia - UFAL
Examinadora



Documento assinado digitalmente

JULIANA CRISTINA PEREIRA LIMA PAULINO

Data: 23/12/2022 08:35:25-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Profa. Ma. Juliana Cristina Pereira Lima Paulino
Centro de Tecnologia - UFAL
Examinadora

Maceió, 20 de Dezembro de 2022

Dedico este trabalho à minha família e amigos que sempre estiveram presentes direta ou indiretamente em todos os momentos de minha formação. [Aos meus orientadores, professora Sônia e Edmundo, e também aos professores do IQB].

AGRADECIMENTOS

Agradeço a cada um dos mencionados anteriormente, professores e familiares, pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis. Tenho imensa gratidão aos vários professores que conheci na instituição como: Monique, Esther, Daniela, Dimas, Edma, Jadriane, Josué, Mário, Simoni, Valéria, Paulo Roldan (in memória) e Fábio Adriano (in memória). Agradeço a todos, sem exceção, pelas contribuições.

"O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário".

RESUMO

A crescente demanda de polímeros, como os plásticos, tornou-se algo preocupante, pois seu descarte incorreto pode causar diversos problemas sociais e ambientais. Uma forma de contornar este problema é a reciclagem destes materiais, entretanto nem sempre é possível recicla-los, pois muitas vezes estes vêm contaminados com materiais orgânicos, por exemplo. Portanto é necessário que haja uma política educacional voltada ao descarte correto e sobre a separação dos resíduos sólidos para os alunos e comunidade em geral, isto causaria um menor descarte de materiais sólidos em ambientes inadequados e o aumento da porcentagem de plásticos reciclados. Em outra mão vem se buscando novas formas de reduzir o volume de polímeros plásticos através da biodegradação através da utilização das enzimas presentes nos fungos da podridão branca, que são capazes de degradar diversos tipos de polímeros. Nesse contexto, o trabalho traz um compilado de revisão bibliográfica a respeito da utilização do potencial enzimático de fungos Basidiomicetos na biodeterioração de polímeros plásticos.

Palavras-chave: hidrólise enzimática, poliméricos, fungicos, polímeros Plásticos, biorremediação

ABSTRACT

The growing demand for polymers, such as plastics, has become a concern, as their incorrect disposal can cause various social and environmental problems. One way around this problem is the recycling of these materials, however it is not always possible to recycle them, as they often come contaminated with organic materials, for example. Therefore, there must be an educational policy aimed at correct disposal and the separation of solid waste for students and the community in general, this would cause a lower disposal of solid materials in inappropriate environments and the increase in the percentage of recycled plastics. In another hand, new ways have been sought to reduce the volume of plastic polymers through biodegradation through the use of enzymes present in white rot fungi, which are able to degrade various types of polymers. In this context, the paper brings a bibliographic review compiled regarding the use of the enzymatic potential of basidiomycete fungi in the biodeterioration of plastic polymers.

Keywords: enzymatic hydrolysis, polymeric, fungics, polymers Plastics, bioremediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Estrutura genérica de um homopolímero.....	16
Figura 2 — estrutura genérica de um copolímero.....	16
Figura 3 — distribuição de meros na estrutura dos copolímeros.....	16
Figura 4 — Modelo do micélio com borda para um polímero semicristalino, indicando as regiões cristalinas amorfas.....	18
Figura 5 — esquema das classificações dos polímeros.....	18
Figura 6 — identificação dos plásticos pertencentes aos termoplásticos.....	21
Figura 7 — Esquema de reciclagem mecânica.....	22
Figura 8 — Esquema de reaproveitamento do plástico como fonte de energia.....	22
Figura 9 — Esquema da reciclagem química.....	23
Figura 10 — ataque de fungos da podridão branca em frutos de pinheiro.....	26
Figura 11 — fungos da espécie <i>Pleurotus Ostreatus</i> deteriorando madeira.....	26
Figura 12 — Vias de degradação de polímeros por micro-organismos.....	30
Figura 13 — Mecanismo de Hidrólise de um éter, produzindo como produtos ácidos graxos e álcool.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Quadro de características das cadeias e suas estruturas.....	16
Quadro 2 - Classificação das enzimas.....	26

SUMÁRIO

1	Introdução	14
2	Revisão bibliográfica.....	15
2.1	Os polímeros.....	15
2.1.1	A evolução do uso de polímeros plásticos.....	15
2.1.2	Tipos e classificações químicas.....	15
2.1.3	Plásticos na biosfera.....	18
2.1.4	Os efeitos poluentes dos polímeros plásticos na saúde humana.....	19
2.1.5	Conceito de reciclagem e seus pilares	20
2.1.6	Tipos de tratamentos clássicos e suas desvantagens	21
2.1.6.1	Reciclagem mecânica.....	21
2.1.6.2	Reciclagem energética.....	22
2.1.6.3	Reciclagem química.....	23
2.1.7	Metodologia.....	24
2.1.8	Fungos na degradação de polímeros plásticos.....	24
2.1.9	Ensaio a respeito do potencial de fungos na biodegradação de plásticos.....	25
2.2	Fungos da podridão branca.....	25
2.3	Enzimas e suas classificações.....	27
2.4	Mecanismo de degradação de polímeros plásticos por fungos.....	28
2.5	Resultados e Discussão.....	32
2.5.1	Métodos de avaliação.....	32
2.6	Potencial de fungos na degradação de polímeros plásticos.....	33
2.7	Características que afetam a biodegradabilidade dos polímeros.....	33
2.8	Vantagens e desvantagens da biodegradação de polímeros.....	35
2.9	Aplicação Tecnológica e perspectiva futura.....	35
3	Considerações finais e conclusões.....	36
	Referências.....	37

1 Introdução

A biodegradação é um processo natural de quebra de moléculas orgânicas maiores em menores que podem ser utilizadas novamente por outros organismos, como as plantas. Este processo todo é chamado de ciclagem de nutrientes, em que restos de um organismo são alimentos de outros, criando a cadeia e teia alimentar. (E.I. CORNELL. 2022). Alguns fungos, como o *Pleurotus ostreatus*, possuem a capacidade de degradar polímeros, como a lignina, e deixando-os com um aspecto de coloração branca. (ALCÂNTARA et al., 2022). Sendo os plásticos formados por cadeias de polímeros, estes podem ser quebrados em seus monômeros. Porém, quando dispersos em locais inadequados causam grandes impactos ambientais, sendo objeto de estudo da educação ambiental.

Em conformidade ao segundo artigo da lei 9.795 de 27 de abril de 1999, a educação ambiental é uma peça imprescindível na educação nacional em que deve estar estruturada em cada grau de nível educacional e suas modalidades. E este processo educativo deve ser amplo e síncrono. (CRUZ; FREITAS; SOUZA, 2020). De acordo com Cruz, Freitas e Souza (2020), a problematização nasce da observação e análise da realidade, e através das contradições em que os sujeitos estão imersos, ocorre os processos de exploração e estudo para a obtenção de uma grande eficiência.

E esta advém do uso de estratégias que fomenta a consciência ambiental e o pensamento crítico do aluno. Portanto, a figura do educador é bastante importante para sedimentar os conceitos pertinentes ao uso racional dos plásticos e parecer questionador a respeito do meio ambiente como um todo.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Os polímeros

Polímeros são compostos por macromoléculas que conseqüentemente são constituídas de monômeros unidos por ligações covalentes e que se repetem durante toda cadeia. O termo plástico advém do termo grego “plastikus” que é definido como objeto próprio para moldagem. Isso se deve ao fato destes polímeros, embora sejam sólida a temperatura ambiente, podem ser amolecidos para obtenção de uma consistência fluida para serem remodelados. (PAOLI e SPINACÉ, 2005)

2.1.1 A evolução do uso de polímeros plásticos

O uso de polímeros não é algo atual, pois desde a antiguidade são utilizados, entretanto, estes eram materiais poliméricos presentes na natureza. A produção artificial destes compostos, que exigem tecnologias sofisticadas, somente começou com as modificações dos polímeros naturais no século XIX. E a partir do século XX, as diversas técnicas de polimerização começaram a desenvolver-se, o que possibilitou a larga produção de diversos compostos poliméricos e de seus derivados.

O primeiro polímero sintético produzido surgiu por volta de 1835, onde Regnault produziu o monômero de policloreto de vinila e três anos mais tarde, este mesmo descobriu o nitrato de celulosa. Em 1840, Alexandre Parkes desenvolveu a parkesina utilizando o nitrato de celulose. De 1840 até 1920, foram desenvolvidos e descobertos diversos polímeros como celofane, viscosa, silicone e baquelita, por exemplo.

A década de 1920 foi o auge das descobertas e sínteses de diversos compostos poliméricos e isto se estendeu por várias décadas. No Brasil, a primeira fábrica de poliestireno, um tipo de polímero, foi instalada em 1949 em São Paulo com o nome de Bakol S.A, no ano seguinte iniciou-se a produção de poliestireno de alto impacto, fibras de poliéster, politetrafluoroetileno (PTFE). (GORN, 2003.)

2.1.2 Tipos e classificações químicas

Os polímeros são classificados em naturais, encontrados na natureza, como o látex, e sintéticos, que são aqueles produzidos sinteticamente. E estes podem ser constituídos de apenas um monômero, chamado de homopolímero, ou formado por mais de um tipo de monômero. A figura 1 e 2 mostram as estruturas de homopolímero e copolímero respectivamente.

Figura 1 — Estrutura genérica de um homopolímero



Fonte: Adaptado de Arruda (2020)

Figura 2 — estrutura genérica de um copolímero



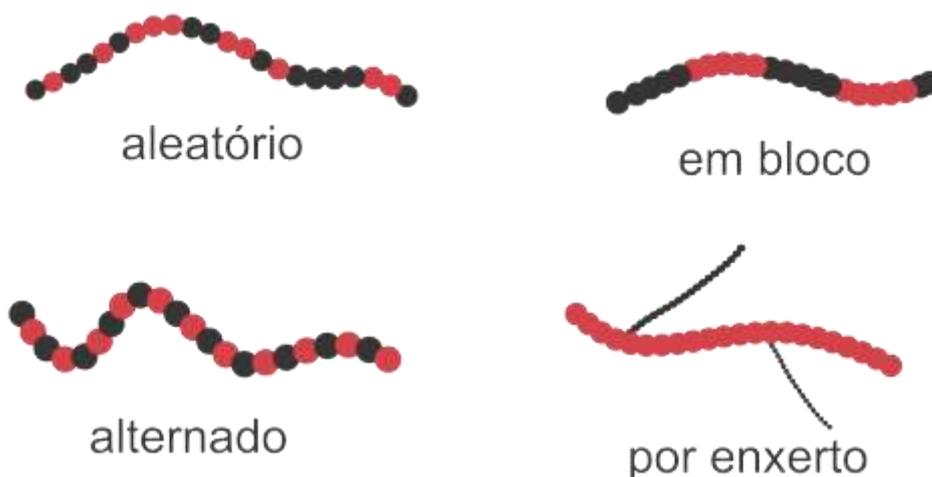
Fonte: Adaptado de Arruda (2020)

Os ordenamentos da cadeia dos polímeros podem ser classificados em:

- Alternados: os meros são posicionados de forma alternada
- Em bloco: os meros são dispostos em grupos de meros iguais.
- Aleatório: Neste ordenamento, os meros são posicionados de forma aleatória
- Enxertada: Neste caso, a cadeia principal é constituída por um sequencia de unidades.

A figura 3 traz um compilado das estruturas de cada tipo de copolímero

Figura 3 — distribuição de meros na estrutura dos copolímeros.



Fonte: Adaptado de Arruda (2020)

Estas estruturas podem ser organizadas em diversos tipos de cadeias, como: linear, ramificada, com ligações cruzadas e reticuladas, como pode ser visto

No quadro 1, onde se pode ver o tipo, características, exemplo e a cadeia.

Quadro 1 — QUADRO DE CARACTERÍSTICAS DAS CADEIAS E SUAS ESTRUTURAS

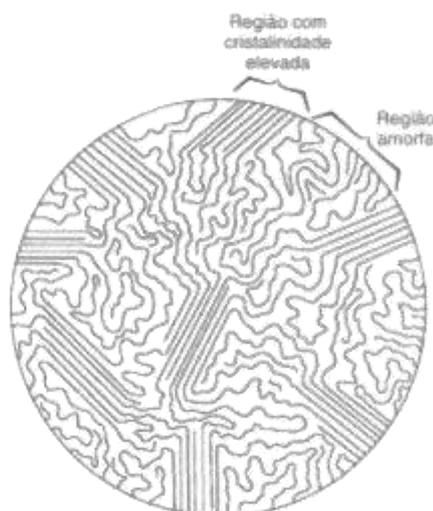
Tipos de	Características	Exemplos	Cadeias
Linear	os monomeros são unidos em cadeias sem ramificações	Poliétileno, poliestireno, náilon	
Ramificada	os polimeros possuem cadeias com estruturas ramificadas e isoladas	poliétileno de baixa densidade.	
Com ligações cruzadas	As cadeias lineares estão unidas por meio de ligações covalentes	Borrachas, elásticos, materiais borrachosos	
Reticulado	Polímeros que possuem muitas ligações cruzadas formando redes tridimensionais	Epóxis Fenol-poliuretanas.	

Fonte: Adaptado de Arruda (2020)

O plástico é um material polimérico que apresenta consistência sólida na temperatura ambiente. E são subdivididos em termoplásticos, termorrígidos e elastômeros. Os termoplásticos são aqueles que quando submetidos a diferença de pressão e temperatura amolecem e podem se tornar fluidos, o que possibilita a sua moldagem. Já os termorrígidos apresentam estrutura reticulada e quando são submetidos a aumento de temperatura e pressão, sofrem amolecimento e se tornam fluidos, porém, aumentando a temperatura e pressão, não ocorrem modificações em sua estrutura que os torna insolúveis, infusíveis e não recicláveis.

Além dos termoplástico e termorrígido, há também os elastômeros que possuem a capacidade de deformar-se, no mínimo, duas vezes o seu comprimento inicial, e retornando ao seu formato inicial após a retirada do esforço. (CANEVAROLO, 2002). Estas cadeias podem apresentar arranjos espaciais cristalinos ou amorfo. A região cristalina é formada por uma estrutura ordenada e alinhada, e a região amorfa é formada por moléculas ordenadas de forma aleatória. (PUC RIO, 2022). A figura 4 exibe estas características presentes no polímero.

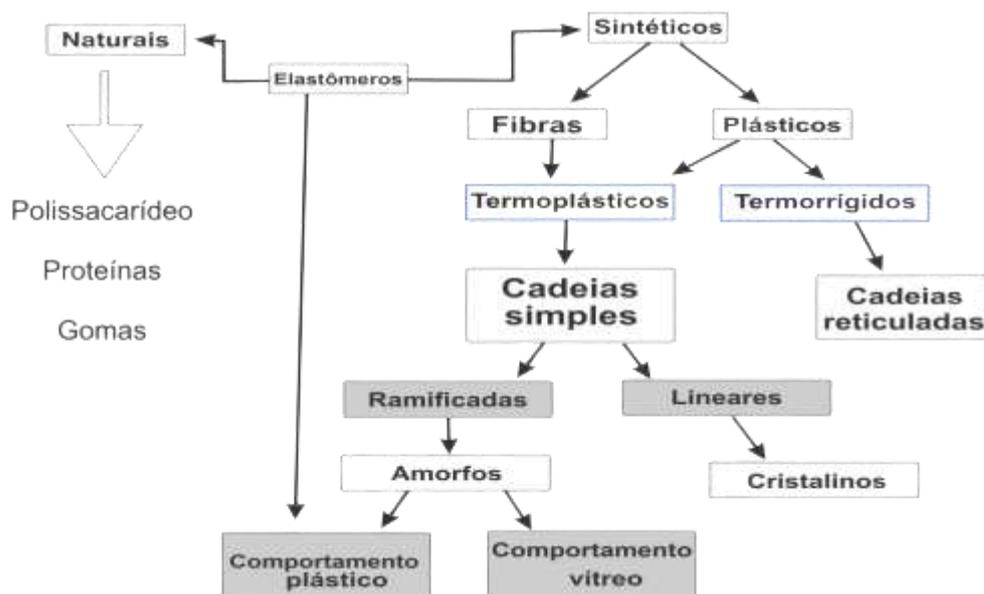
Figura 4 — Modelo do micélio com borda para um polímero semicristalino, indicando as regiões cristalinas e amorfas



Fonte: Adaptado de Puc (2020)

De uma forma geral, estas características podem ser descritas em um fluxograma, como mostrado na figura mostrando os tipos, cadeias e arranjos. Como na figura abaixo.

Figura 5 — esquema das classificações dos polímeros



Fonte: Adaptado de Instituto de Macromoléculas Ima (2020).

2.1.3 Plásticos na biosfera

A demanda crescente por materiais resistentes, flexíveis e duradouros ocasionou um grande consumo de plásticos, que em sua maioria, são descartados de formas incorretas, causando problemas ambientais e sociais. Visto que descartes incorretos de derivados de petróleo, como o plástico, acarreta em enchentes e morte de animais

marinhos, causando a diminuição da oferta de peixes e crustáceos. (..)“A poluição por plástico é mais visível em algumas nações asiáticas e africanas que estão em desenvolvimento onde o sistema de coletas de resíduos é frequentemente ineficiente ou não existente”. (PARKER. LAURA. 2019).

Em contrapartida, países como Alemanha e Coréia do Sul apresentam reciclagem de matérias plástico de 60% e 59 %, respectivamente. No Brasil, o índice, em 2020, foi de 23%. Em 2019, antes da pandemia, este índice era de 24% e em 2018 era de 22%, mostrando uma tendência de estabilização. Este baixo número se deve muitas vezes às contaminações orgânicas em sucatas plásticas. (RECICLASAMPA. 2022).

De um modo geral, o crescimento da produção de plástico até a década de 60 até o ano de 2015, atingiu o montante de 322 milhões de toneladas. Sendo que uma parcela de 1,5 % a 4% são descartados em locais inapropriados e carreados por chuvas e recursos hídricos, acaba indo para o oceano. Cerca de 80% dos plásticos presentes nos oceanos, são advindos de descartes impróprios, e devidos seu baixo peso e estrutura, estes materiais têm grande facilidade de serem dispersos pelos ventos ou correntes marítimas, causando verdadeiras ilhas de resíduos plásticos, como a vortex de plástico do pacífico que possui uma área de cerca de 1,5 milhões de km².

Com relação aos detritos plásticos na litosfera cerca de 80% continuam no meio ambiente, seja em aterro ou solto, outros 8% são reciclados e os 12% são incinerados, contribuindo com 400 milhões de toneladas/ano para o aumento de CO₂ na atmosfera. Além deste problema há o micro plástico, produto da degradação do plástico no meio ambiente, que são confundidos com plânctons e são ingeridos animais marinhos como os peixes. Tornando o micro plástico presente na cadeia alimentar. Além do caráter ambiental, detritos de fontes não renováveis, plástico, causam problemas financeiros, devido à poluição visual dos oceanos e recursos hídricos. (GOMES. 2018)

2.1.4 Os efeitos poluentes dos polímeros plásticos na saúde humana.

Os plásticos podem ser caracterizados em duas categorias: micros plásticos primários, que são aqueles utilizados por transportadoras com o intuito de amenizar impactos físicos ou evitar a umidade em produtos farmacêuticos, alimentícios ou de higiene pessoal. E secundário, que são oriundos da degradação e intempéries climáticas, como raios ultravioletas (UV), ventos, ondas e temperatura, e o desgaste físico.(MARTINS et al, 2022).

Devido ao seu tamanho e sua biodisponibilização, muitos animais marinhos costumam se confundir com alimento e acaba ingerindo, mas como os micros plásticos

ficam alojados no intestino, e esta parte raramente consumida, não ocorre à exposição e conseqüentemente bioacumulação. Porém, a absorção pode acontecer através do consumo de alimentos ou por inalação, ao chegar ao estômago, pode ocorrer à liberação dos monômeros constituintes que levará deficiências fisiológicas que podem causar estresse ou até mesmo propensão ao desenvolvimento de câncer. (MARTINS et al, 2022)

Devido ao seu volume, os plásticos são comumente queimados, cerca de 40% do lixo em todo mundo é queimado, de acordo com a revisão do poluente tóxico de resíduo plástico. Ao ser queimado, ocorre a liberação de substâncias tóxicas como dioxinas, ftalatos, furanos, mercúrio e bifenil policloridratados, conhecidos como BCP's, E estes retornam ao solo através da chuva, fazendo com que haja contaminação dos recursos hídricos, vegetação e dos humanos. Estas substâncias são potencialmente letais, além de serem interruptoras endócrinas e tireoidianas, possuem caráter cancerígeno que afetam a fertilidade e o desenvolvimento embrionário.

Além destes problemas, a queima de material plástico causa um maior risco de ataque cardíaco, agravamento de doenças respiratórias como asma, enfisemas, náuseas, dores de cabeça e danos ao sistema nervoso. (UNEP. 2022). Uma forma de amenizar esses problemas é a reciclagem de materiais plásticos, que consiste no processo de reinserção de do material plástico, já utilizado e considerado inútil, no ciclo produtivo para a confecção de novos produtos. E cada material possui um tipo de reciclagem específico. (SOARES, 2022).

2.1.5 Conceito de reciclagem e seus pilares

A reciclagem objetiva a valorização de resíduos domésticos ou industriais, tornando-os úteis através da produção de novos produtos com a mesma finalidade de uso ou com outras. Isto contribui para um desenvolvimento ecologicamente e economicamente sustentável. Este processo é pautado em alguns conceitos como:

- Conceitos Econômicos;
- Conceitos Sociais;
- Conceitos Sanitários;
- Impacto Ambiental Adequado.

O processo de reciclagem é composto de várias etapas que são essenciais para reutilização de materiais descartados, estas fases são:

- Coleta e separação: onde é feita uma triagem de cada material e sua respectiva categoria (papel, plásticos, metal etc).

- Revalorização: é uma etapa em que os materiais, previamente selecionados, são preparados para a transformação.
- Transformação: processo em que o material é transformado, através fatores físicos, como a temperatura, para a confecção de novos produtos.

Devido sua capacidade de se moldar em uma variação de temperatura, os plásticos pertencentes aos termoplásticos são reciclados. (USP, 2018). Os símbolos descritos em embalagens para uma melhor separação dos resíduos podem ser visualizados na figura 6.

Figura 6 — identificação dos plásticos pertencentes aos termoplásticos.



Fonte: Adaptado de USP... (2018)

2.1.6 Tipos de tratamentos clássicos e suas desvantagens

A reciclagem de materiais plásticos pode ser realizada através de três vias: mecânica, química e energética. E cada via apresenta vantagens e desvantagens quanto a sua aplicação.

2.1.6.1 Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica consiste na triagem, onde ocorre a separação dos Materiais de acordo com seu grupo, trituração e lavagem. Todo processo é descrito na figura 7.

Figura 7 — Esquema de reciclagem mecânica



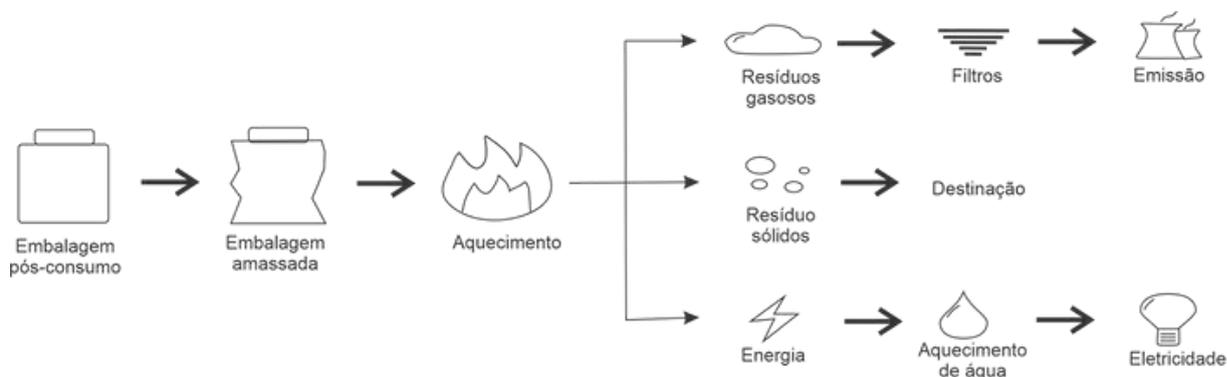
Fonte: Adaptado de USP... (2018)

Porém, este processo nem sempre pode ser realizado, pois materiais contaminados, com adesivos ou matéria orgânica, representam um custo a mais no processo de reciclagem, tornando o processo mais caro e trabalhoso. (REPENSO. ECO. 2022).

2.1.6.2 Reciclagem energética

Consiste na utilização de material plástico e outros resíduos como fontes de combustível para produção de energia elétrica ou térmica. (JBS, 2018). A figura 08 descreve o processo da reciclagem energética.

Figura 8 — Esquema de reaproveitamento do plástico como fonte de energia.



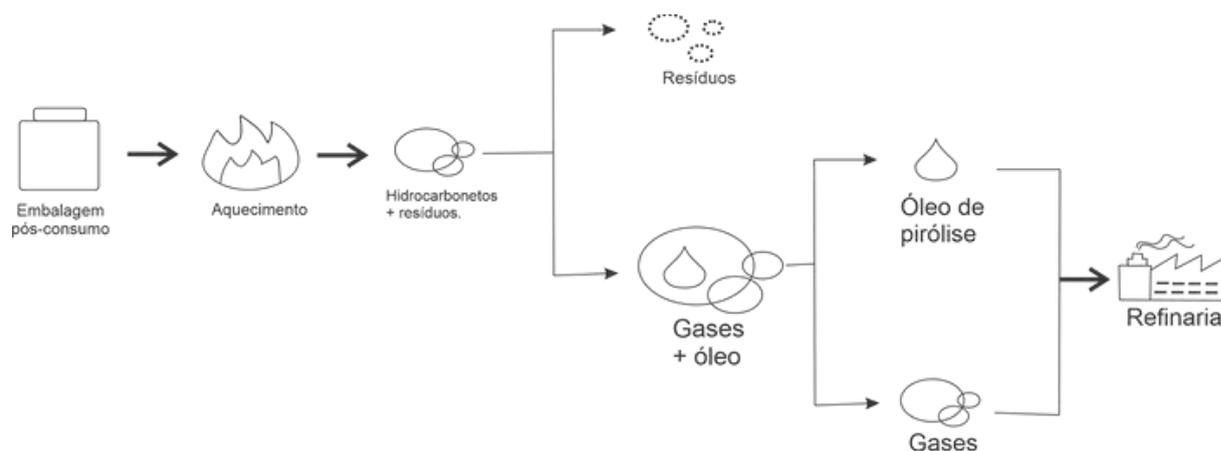
Fonte: Adaptado de Jbs (2018).

Este processo lança gases, como o CO₂, que estão ligados ao efeito estufa e consequentemente ao aumento da temperatura da terra.

2.1.6.3 Reciclagem Química

Técnica que consiste na quebra do plástico para obtenção de seus monômeros de origem ou de cadeias menores de polímeros. Este processo facilita a retirada de qualquer contaminante, resultando em produtos com as mesmas características da resina de origem. (JBS. 2018. p, 29). O processo é exemplificado na figura 09:

Figura 9 — Esquema da reciclagem química.



Fonte: Adaptado de Jbs (2018).

Apesar de ser uma reciclagem mais eficaz, ela envolve alto gasto energético, alta tecnologia e alto grau de capacitação. E ainda está em processo de pesquisa para se tornar um meio economicamente viável. (JBS, 2018).

2.1.7 Metodologia

Como meio de atingir os objetos propostos deste estudo, realizou-se um levantamento literário nas seguintes plataformas: Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Academia Edu e sites, além de; periódicos, teses, dissertação e artigos presentes em repositórios. Não foi utilizado um período de tempo determinando. Sendo, portanto, uma pesquisa atemporal.

Os critérios de inclusão utilizados para composição da amostra foram: artigos em português e inglês com cenário em utilização de enzimas na degradação de polímeros plástico, e tendo como direção do estudo: a utilização de fungos da podridão branca na degradação dos polímeros plásticos. Em relação aos critérios de exclusão foram: artigos duplicados e indisponíveis em sua totalidade.

2.1.8 Fungos na degradação de polímeros plásticos

O plástico se tornou uma necessidade diária para toda população mundial, chegando à produção anual de 300 toneladas, porém isto acarreta problemas como o descarte em locais inadequados, até 2015, a quantidade resíduo plástico foi de cerca de 6300 milhões de toneladas, em que 79% deste montante acaba em aterros sanitários ou simplesmente descartados no meio ambiente.

Porém há estimativas que sugerem um acúmulo, na terra, de 12,000 milhões de toneladas de plástico até 2050. Devido a essa persistência, podendo alguns plásticos levar mais de mil anos para ser degradado, o desenvolvimento de um meio para acelerar esse processo é de essencial importância.

Há alguns mecanismos como fotodegradação, degradação termal ou degradação causada por raios gama, porém estes métodos causam impactos ambientais como perturbação do equilíbrio ecológico, acumulação de metais pesados, além de serem métodos onerosos e que necessitam de mão de obra especializada para realização. Porém, cientistas em todo mundo investigam e buscam meios menos danosos para a degradação do plástico, e encontrou-se mais de 400 espécies de micróbios que são capazes de degradar polímeros plásticos. (Ekanayaka et al., 2022). Fungos da podridão branca, como o *Pleurotus ostreatus*, vêm ganhando notoriedade devido às suas capacidades de degradação que são exibidos em experimentos.

2.1.9 Ensaio a respeito do potencial de fungos na biodegradação de plásticos.

Fungos degradadores de lignina como os da podridão branca, têm chamado atenção dos pesquisadores devido a sua eficiência em tratamento de efluentes oriundos de industriais de celulose e têxteis, além da aplicabilidade em biorremediação e na síntese de antibióticos. Além disso, vem sendo discutido o papel fungos no processo de reciclagem de nutrientes presentes em madeira.

Os fungos da podridão branca são capazes de quebrar a lignina causando o surgimento de manchas brancas. E este processo se deve a alta capacidade desses microrganismos em produzir enzimas celulíticas e ligninolíticas que agem em diversos substratos ricos em lignina, celulose e hemicelulose, por meio de enzimas pertencentes as classes da hidrolases e oxirredutases. (SILVA, 2009).

2.2 Fungos da podridão branca.

Os fungos da podridão branca são responsáveis pela degradação da lignina na madeira que a torna opaca e com uma coloração esbranquiçada devido à degradação de seus pigmentos naturais, o que pode ser detectado através de linhas escuras presentes entre as áreas afetadas e não afetadas. (ALCÂNTARA et al, 2022).

Kirk et al. (2008) registraram 29.914 espécies conhecidas de basidiomicetos, incluindo desde os populares cogumelos e orelhas-de-pau, até os carvões, as ferrugens, os gasteromicetos e os gelatinosos. A maioria das espécies é sapróbia, mas ocorrem muitas espécies parasitas obrigatórias ou facultativas, bem como micorrízicas. (SALVI, 2011).

Diversas espécies de basidiomicetos são conhecidas por degradar madeira e são divididos em dois grandes grupos: os fungos que ocasionam a podridão branca e os que causam a podridão parda (SALVI, 2011) Este ataque, pelos fungos da podridão branca, pode ser visualizado na figura 10, onde se observa uma camada de um material esbranquiçado sobre a madeira.

Figura 10 — ataque de fungos da podridão branca em frutos de pinheiro.



Fonte: Dreamstime (2022).

Os fungos pertencentes ao filo *Basidiomycota* são formam, durante o período de reprodução sexuada, células especiais, chamados basídios, que formam os esporos sexuais. (TERRABRASILIS, 2023). Dentre os vários fungos que compõem o da podridão branca, destaca-se o *Pleurotus ostreatus*, também conhecido como “cogumelo ostra” que é uma espécie distribuída em todos continentes, com exceção da Antártica, e comercializado desde o período da primeira guerra mundial. Um exemplo deste fungo é visualizado na figura 11, onde se observa sua ação sobre um tronco de árvore, causando a podridão do mesmo.

Figura 11 — fungos da espécie *Pleurotus Ostreatus* deteriorando madeira



Fonte: Dreamstime (2022).

Esta ampla comercialização deve-se a alta concentração de metabólitos primário, secundários e compostos químicos importantes para o processo fisiológico, além de ser rico em ácido oleico, linoleico que são substâncias importantes para diminuição do colesterol ruim. Cerca de 100 gramas deste fungo, cogumelo, contém cerca de 15% de vitamina C necessária para um dia, além de possuir 40% de niacina, riboflavina e

tiamina, além de contém 0,5 mg de vitamina B12. É uma espécie bastante tolerante a temperaturas baixas, mas requer bastante luz para que haja desenvolvimento de seu “corpo”. Entretanto esta espécie tem exibido um grande crescimento em comparação com outros cogumelos plantados.

O que culminou em aumento da produção em virtude de sua tolerância a fatores agroclimáticos, como o citado acima. Porém, comercialmente, esta espécie fica atrás da espécie *Agaricus bisporus* como espécie comestível mais cultivada (MUSZYŃSKA e PISKA, 2017). Além de seu valor nutricional, os fungos possuem outra utilidade que é degradar ou isolar contaminantes do meio natural através da técnica de micorremediação. Esta técnica consiste na introdução do fungo ou a utilização de fungos já existentes no local.

Este método tem se mostrado bastante eficiente na descontaminação de contaminantes como pesticidas, herbicidas e cianotoxinas a um custo mais baixo e ecologicamente correto. (GALLAGHER, 2021). Porém, pesquisas têm mostrado que fungos da podridão são bastante eficientes na degradação do plástico.

2.3 Enzimas e suas classificações

As enzimas são catalisadores biológicos que aumentam as velocidades das reações sem serem consumidos. Os reagentes catalisados pelas enzimas são denominados de substratos e cada enzima possui um caráter específico fazendo com que haja em determinado substrato ou substratos para produzir um determinado produto ou produtos. Todas as enzimas são proteínas, porém, sem a presença de um componente não proteico, chamado de cofator, diversas enzimas perdem suas atividades catalíticas, e nesta situação recebe o nome de apoenzima, quando a enzima está ativa, incluindo o cofator, recebe o nome de holoenzima.

O cofator pode ser uma molécula orgânica, que juntamente com enzima recebe o nome de coenzima, ou pode ser também um íon metálico. Estes cofatores podem se ligar firmemente a enzima a ponto de danificar a mesma, e neste caso recebe o nome de grupo protético. (BONNER e PALMER, 2007).

As enzimas são tradicionalmente nomeadas pela adição do sufixo “-ase”, a exceção é a classe das enzimas proteolíticas, que estão relacionadas com a quebra das cadeias proteicas, que recebem o sufixo “-ina”, como por exemplo a tripsina. (BONNER e PALMER, 2007). Estas são classificadas em seis classes principais que podem ser visualizadas no quadro 2 mostrado onde se observa a atuação de cada classe em uma atividade específica.

Figura 12 — CLASSIFICAÇÃO DAS ENZIMAS

Classe nº	Nome da classe	Tipo de reação catalisada
1	Oxirredutases	Transferência de eletróns (íons híbridos ou átomos de H)
2	Transferases	Reações de transferência de grupos
3	Hidrolases	Reações de hidrólases (transferência de grupos funcionais para a água)
4	Liases	Clivagem de C-C, C-O, C-N ou outras ligações por eliminação, rompimento de ligações duplas ou anéis, ou adição de grupos a ligações duplas
5	Isomerases	Transferência de grupos dentro de uma mesma molécula produzindo formas isoméricas
6	Ligases	Formação de ligações C-C, C-S, C-O e C-N por reações de condensação acopladas à hidrólise de ATP ou cofatores similares.

Fonte: Adaptado de Princípios... (2004)

As enzimas presentes nos fungos da podridão branca pertencem, em sua maioria, as classes 1 e 3, oxirredutases e hidrolases, que são as responsáveis pela quebra das cadeias poliméricas dos plásticos.

2.4 Mecanismo de degradação de polímeros plásticos por fungos

O processo de degradação dos polímeros consiste em quebras de suas estruturas e conseqüentemente alterações em suas propriedades físicas. E isto se inicia durante a sua fabricação até os seus usos finais, tornando-os suscetíveis ao intemperismo físico e químico, que desencadeia reações de cisão polimérica, substituição ou eliminação nas cadeias laterais e ruptura da estrutura do retículo cristalino. Estas reações podem ser causadas por diversos fatores como: atrito mecânico, temperatura, radiações, água, ácidos, bases e até mesmo microrganismos. A biodegradação, causada por microrganismo, é uma técnica bastante conhecida e empregada há bastante tempo, entretanto é um processo bastante lento, o que por muitas vezes o torna menos atrativo para implementação. A confecção de materiais de polímeros biodegradáveis veio como uma alternativa mais branda ao meio ambiente. (NEVES e PIRES, 2011).

De acordo com Flemming (1998), a biodegradação ocorre através da estabilização de microrganismo sob a superfície do polímero, formando biofilmes, em que este é embebido por uma matriz polimérica formada por proteínas, polissacarídeos e microrganismos, como: fungos, bactérias, protozoários e algas. E esta estrutura, biofilme, causa a degradação do polímero plástico. E esta colonização causa alguns efeitos como o: mascaramento das propriedades superficiais e posteriormente a contaminação do

meio adjacente, além do aumento da contaminação causada pela liberação de aditivos, presentes nos polímeros, liberação de monômeros, acúmulo de água, na superfície causando o inchaço do material, e atividade microbiana que causará o surgimento de rugosidades, furos, fraturas e fragmentos do polímero atacado. (FLEMMING, 1998).

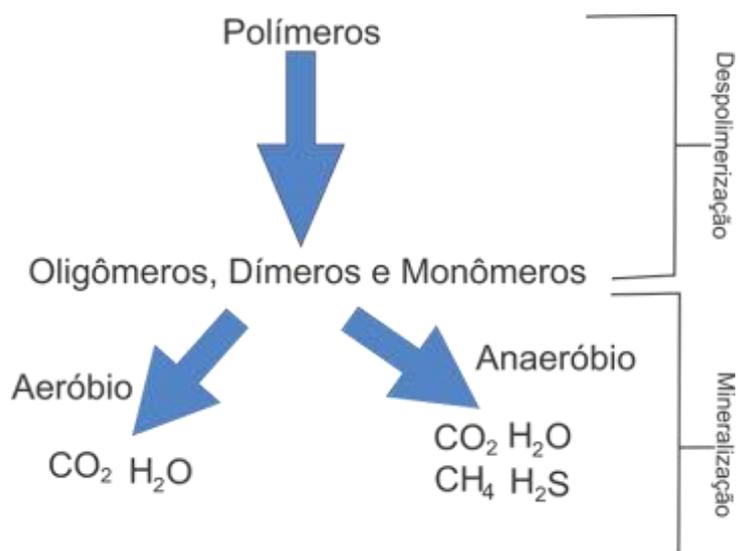
Porém, a modificação mais comum é a cristalização que é causada por enzimas que atuam sobre a interface amorfa/ cristalina do material plástico ocasionando a formação de pequenas esferas na superfície do material. (SINGH; SHARMA, 2008.). Devido à seletividade das enzimas e a estrutura menos ordenada, que corresponde a região amorfa é mais atacada por estas enzimas, tornando mais fácil a difusão sob o material, e, portanto causando sua rápida biodegradação.

Esta difusão faz com que a parte amorfa desapareça mais rapidamente e deixando as partes cristalinas, juntamente com o esferulitos, deixando um aspecto de cristal. (SHAH et al., 2008).

Devido à granulometria e a insolubilidade dos polímeros, os microrganismo não conseguem fagocitar para dentro de si, porém eles podem expelir enzimas que quebram os polímeros em pedaços menores, reduzindo-o o peso molecular, formando compostos intermediários hidrossolúveis. Estes compostos são introduzidos no interior das células que posteriormente entraram nas rotas metabólicas, processo conhecido como despolimerização. (MULLER, 2003).

Os produtos finais deste processo são: dióxido de carbono e água, em um processo aeróbio. Já na degradação anaeróbica ocorre a formação de metano, gás sulfídrico, CO_2 além de outros gases. Este processo é chamado de mineralização. (NEVES et al, 2011). Na figura 12 pode-se observação o fluxograma do processo de despolimerização e mineralização.

Figura 13 — Vias de degradação de polímeros por micro-organismos.

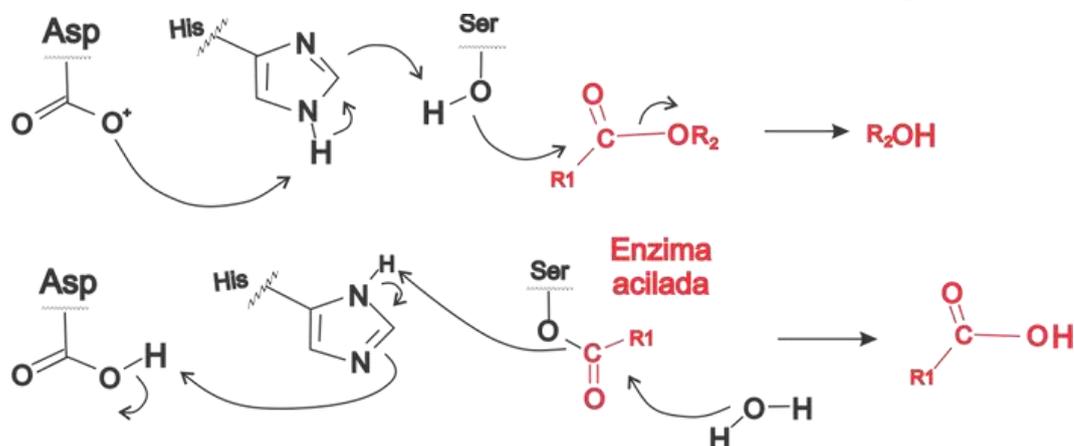


Fonte: Adaptado de Pires (2011)

Devido à granulometria dos polímeros, não há como fagocitar para dentro da célula, para contornar isso, os microrganismos excretam enzimas, despolimerases e hidrolases, que causam a ruptura das cadeias, através da adição de água, que irá funcionar como catalisador na quebra das ligações peptídicas e ligações de ésteres. (CHANDRA e RUSTGI, 1998). Este processo geralmente ocorre em duas etapas.

A primeira etapa do processo consiste na atuação das enzimas hidrolases, processo conhecido como hidrólise biológica, sobre o material. De acordo com Lucas et al (2001), há diversas formas da hidrólise ocorrer, dentre elas está a tríade catalítica: aspartato, histidina e a serina. O mecanismo da hidrólise pode ser visualizado na figura 13

Figura 14 — Mecanismo de Hidrólise de um éter, produzindo como produtos ácidos graxos e álcool.



Fonte: Adaptado de Pires (2011)

Neste processo, acontece o ataque nucleofílico do oxigênio pertencente à molécula de aspartato, a molécula de hidrogênio pertencente ao anel de histidina. Em seguida, a histidina desprotona a serina formando alcóxido de carácter nucleofílico. Em seguida, esta espécie ataca a ligação, que contém o grupo éster, ocasionando na formação de um álcool terminal e um complexo formado por um acil-enzima. Em diante, a água interage com a molécula de acil-enzima, originando um grupo carboxila terminal e uma enzima livre. Durante este período de deterioração, ocorre a perda das propriedades físicas dos polímeros, como descoloração, fragmentação e fragilidade. (NEVES, 2011).

Logo após a hidrólise, ocorre a oxidação do material, que é a segunda parte do processo de degradação dos polímeros, que é o processo de perda de elétrons dos compostos naturais ou sintéticos, que causará a produção de adenosina trifosfato (ATP), que servirá como fonte de energia. Em situação em que o oxigênio está presente, este age como um ácido de Lewis, aceitando elétrons, tornando a conversão da matéria em dióxido de carbono. Devido a este motivo, o monitoramento da biodegradação de polímeros se dá através da taxa de consumo de O_2 e produção de CO_2 durante a biodegradação. (SHAH et al, 2008).

Entretanto, estas taxas não são iguais para todos os polímeros, pois cada material, é constituído de polímeros diferentes, e portanto possui seu próprio tempo de degradação. (NEVES et al. 2011).

2.5 Resultados e Discussão.

2.5.1 Métodos de avaliação

A busca da redução de polímeros plásticos no meio vem desencadeando e fomentando várias pesquisas na área de micologia, ciência que estuda os fungos, com intuito de encontrar microrganismo com grande potencial de degradação dos plásticos. Os fungos pertencentes da podridão branca são conhecidos pela degradação de madeira, porém pesquisas mostram que eles são bastante eficientes na degradação de polímeros plásticos. Porém é necessário desenvolver técnicas que possam mensurar e avaliar a degradação. Entretanto, não há um método padronizado e que seja reconhecido por vários países e comunidades. (NEVES et al, 2011).

Nesse caso, é necessário lançar mão de métodos físico-químicos que não sejam totalmente padronizados, devido à complexidade entre polímeros e microrganismos. E devido à amplitude do meio ambiente, onde o polímero está inserido, pode ocorrer à degradação ou não. (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006; ROSA; PANTANO FILHO, 2003).

De acordo com Kumar et al. (1983) Há diversos métodos que podem ser utilizado para avaliar a biodegradabilidade, dentre eles há:

- Plaqueamento em ágar, onde ocorre a inoculação de espécies de microrganismos, objetos de estudos, na presença de um polímero, sob condições favoráveis de desenvolvimento. Logo após, os micro-organismos são retirados para avaliar as propriedades físico-químicas, após a degradação. Esta análise ocorre pela utilização por ensaios mecânicos e absorção de luz na região do infravermelho, ultravioleta e visível, além da análise da massa molar.

- Marcação de carbono 14 radioativo (^{14}C) - Este método se dá pela diferenciação do CO_2 decorrente do metabolismo do polímero e o dióxido de carbono produzido por outras fontes ricas em carbono. (teste realizado em colunas de solo ou quando ocorre no meio de cultura).

- Enriquecimento do solo - Método baseado no isolamento de microrganismo que se desenvolvem sobre o polímero. Onde ocorre a incubação do filme polimérico por um determinado tempo, em seguida é retirado contendo o agente responsável pela degradação. Logo após, ambos são incubados, para que ocorra o processo de deterioração, em seguida são analisadas as alterações causadas pelos microrganismos.

- Teste "in vitro" - Método que envolve duas técnicas biológicas quantitativas são elas: a respirometria, que consiste na mensuração das trocas gasosas,

absorção de O₂ e liberação de CO₂, ao decorrer da atividade do organismo (Chandra e RUSTGI, 1998).

2.6 Potencial de fungos na degradação de polímeros plásticos.

Há mais de 30 anos fungos, deteriorador de lignina, presente na madeira, demonstraram a capacidade de deteriorar diversos materiais xenobióticos, ou seja, que não pertencem àquele determinado meio, como poliaromáticos (HPAs), corantes, fenóis clorados e outros produtos tóxicos. (NEVES et al.2011, BENNET et al., 2002; SINGH; CHEN, 2008). Em seu trabalho, Costa (2001) demonstrou que fungos basidiomicetos, grupo que incluem fungos causadores da podridão branca, são capazes de degradar diversos polímeros, como polietileno tereftalato (PET), por exemplo.

E esta demonstração se deu através da determinação da eficiência do processo de biodegradabilidade, em diferentes análises que comprovaram a diminuição da massa do polímero por volta de 20%. Além disso, observou-se a produção de enzimas, como a lignina peroxidase, que têm papel principal no processo de biodegradação. Mostrando um grande potencial na biodegradação de polímeros plásticos. E esta produção é bem parecida com a que Niku-Paavola (1988) observou ao trabalhar acerca da atividade enzimática do fungo *Phiebia radiata*. (NEVES, 2011). Em seu estudo sobre o uso de fungos na degradação de garrafas PET, Silva (2009), observou-se que a fermentação semi-sólida foi a que resultou em uma biodegradação mais eficiente do polímero desde a década de 1970.

Em sua pesquisa, SILVA (2009), realizou mais de 600 ensaios para averiguar os fatores que interferem no desenvolvimento dos fungos e a degradação do polímero em questão, polietileno tereftalato (PET), e constatou-se que duas linhagem do fungo *Pleurotus sp*, pertencente aos fungos da podridão branca, apresentaram bons resultados que foram constatados pela alta produção de enzimas lignocelulolíticas, biossurfactantes e pelas mudanças na estrutura e viscosidade do polímero em questão. Os ensaios duraram 90 dias em uma estufa com a temperatura de 30° C. (SILVA, 2009).

2.7 Características que afetam a biodegradabilidade dos polímeros.

Deve-se observar a estrutura química do polímero, pois esta é um dos fatores principais, pois irá determinar as propriedades química e física além de determinar a interação física com o meio que conseqüentemente determinará o mecanismos de biodegrdação.(PLATT, 2006). Os fatores determinantes para biodegradação dos

polímeros são: peso molecular, temperatura de fusão, no caso dos termoplásticos, presença de ligações que podem sofrer hidrólise/ e ou oxidação nas cadeias, a constituição dos substituintes, morfologia, estero configuração, área superficial do plástico, flexibilidade da conformação, grau de cristalinidade e a permeabilidade para o acesso das enzimas. (NEVES et al., 2011).

A característica hidrofílica é imprescindível, visto que a hidrólise enzimática necessita de grupos hidrolisáveis da cadeia principal acessíveis para ocorrer o ataque. (PLATT, 2006). Outra característica que dificulta a degradação é a ligação de carbono ramificada, que causa impedimento estérico, impedindo que haja o ataque enzimático. Outro fator é o peso molecular, pois moléculas com menor peso molecular são mais facilmente assimiladas e conseqüentemente degradadas pela via biológica. (Chandra e RUSTGI, 1998).

Além destes fatores, a cristalinidade influencia na biodegradação, pois quanto maior a cristalinidade menor será a difusão da água na estrutura, o que acarretará em um menor acesso das enzimas na estrutura. (NEVES et al, 2011. apud DE PAOLI, 2009). A presença de blenda, mistura de polímeros, é outro fator que influencia bastante no processo de degradação, pois pode facilitar ou dificultar o processo citado anteriormente. (NEVES et al. 2011. p, 50. Apud MÜLLER, 2003; PLATT, 2006; RIBEIRO, 2008).

Além destes fatores relacionados à estrutura e composição, há também os fatores do ambiente que afetam o processo de deterioração dos polímeros plásticos, pois estes interferem na população da microbiótica, além da atividade de diversos microrganismos. Outros fatores como: pH, umidade, salinidade, ausência ou não de oxigênio e ofertas de diversos nutrientes, para a microbiota, são importantes para o desenvolvimento dos microrganismos e conseqüentemente degradação. Portanto, estes fatores ambientais devem ser levados em conta quando realizasse testes de biodegradação. (FLEMMING, 1998; MÜLLER, 2003; FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Entretanto estes fatores devem estar em condições ideais para cada microrganismo objeto de estudo, visto que fungos tem um desempenho melhor em pH e temperatura maior do que as bactérias, que por sua vez possuem uma taxa de desenvolvimento maior que dos seres fúngicos. Portanto, é necessário considerar a subjetividade do microrganismo. (NEVES et al, 2011).

2.8 Vantagens e desvantagens da biodegradação de polímeros.

A facilidade de obter microbiota para o processo natural de micorremediação torna a biodeterioração uma técnica simples de ser executada, pois não exige condições ambientais difíceis para a sua implementação, e nem da sua simulação em laboratório. A capacidade de deterioração dos microrganismos é bem diversa, tornando a sua utilização uma ferramenta essencial para degradar diversos materiais, não sendo restrito aos polímeros.

Ademais, o processo de biorremediação com microrganismo, como os fungos, é ecologicamente correto e não causa desequilíbrio biológico, visto seu poder de incorporação de partes plásticas ao meio ambiente que posteriormente contribuirá para os ciclos biogeoquímicos, o que acarretará na redução de materiais sólidos na terra. Estes fatores tornam a técnica de biorremediação algo mais viável, se comparar com outros processos como a incineração. (NEVES et al. 2011).

Entretanto, a utilização de microrganismo traz consigo algumas desvantagens como: dependências de fatores do meio, como umidade e pH, por exemplo; e a estrutura e composição do polímero que será degradado. Podem-se citar os plásticos sintéticos recalcitrantes, pois embora seja caracterizado como um polímero biodegradável, este necessita de vários anos para ser decomposto. De uma forma geral, a os fungos necessitam de um tempo para se adequar ao ambiente. (KULSHRESHTHA, 2014)

2.9 Aplicação Tecnológica e perspectiva futura.

A aplicação mais difundida do uso dos fungos basidiomicetos, que inclui os fungos da podridão branca, é a biorremediação. Esta técnica consiste na utilização de organismo vivo em locais contaminados com o intuito de diminuir a concentrações de agentes poluentes em níveis estipulados pelas agências de controle ambiental. Os fungos da podridão possui esta capacidade graças ao sistema enzimático, degradador da lignina, inespecífico, extracelular e com grande capacidade oxidativa. (SALVI, 2011).

O uso dos basidiomicetos vai além da biorremediação e de seu uso na culinária, pois os mesmos podem ser utilizados para a confecção de painéis solares, móveis, tijolos etc. Projetos como os da MycoWorks, constituída de engenheiros, designers e cientistas, buscam utilizar utilizar o material resultante da degradação de diversos materiais, como o plástico, como alternativa para criação de produtos orgânicos ecologicamente corretos, como os já citados anteriormente. (TCU, 2019).

3. Considerações finais e conclusões.

Através de levantamento bibliográfico, foi mostrado o potencial dos fungos da podridão como uma alternativa ecologicamente correta para a degradação de polímeros plásticos, pois se observou capacidade de ser utilizado, pelos fungos da podridão branca, como fonte de carbono.

Além disto, os produtos, degradados e mineralizados, podem ser utilizados para a confecção de materiais como blocos de tijolos a placa de isolamento térmico, pois é um material ecologicamente correto que pode ser utilizado na criação de casas ou em ambientes internos, pois este material não sofrer ataques fungicos e resiste bem a fatores climáticos. Portanto, o trabalho respondeu satisfatoriamente aos objetivos propostos neste trabalho, entretanto é necessário promover um ambiente favorável, para ser haja uma maximização da degradação em um menor espaço de tempo.

REFERÊNCIAS

1. ALCÂNTARA, M. C.; LIMA, E. A. de; GOES, B. C. ; HELM, C. V.; AUER, C. Garcia; ZEFERINO, I.. Efeitos do ataque de fungos de podridão nas características da madeira de eucalipto. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131775/1/2015-EdsonL-CFP-Efeitos.pdf>. > Acesso em 08 Ago. 2022. 21: 00 hrs
2. ARRUDA, A.M. Polímeros Materiais que transformaram o mundo, 2020, p. 1- 69, Química orgânica - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <<https://www.profqui.ufv.br/wp-content/uploads/2021/03/Produto-Educacional-Adriana-Arruda.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2023.
3. CANEVAROLO JR., S. V. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros - São Paulo: Artliber Editora, 2002. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/Livros/Cie%CC%82ncia%20dos%20polimeros%20-%20Canevarolo%20Jr.,%20Sebastia%CC%83o%20V..pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.
4. CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable Polymers. Progress in Polymer Science, v. 23, p.1273-1335, 1998. Disponível em: < [\(85\) Biodegradable polymers | Renu Rustgi - Acad https://www.academia.edu/8805047/Biodegradable_polymers_emia.edu](https://www.academia.edu/8805047/Biodegradable_polymers_emia.edu) >. Acesso em: 18 jan. 2023.
5. COELHO, N. S.; ALMEIDA, Y. M. B.; VINHAS, G. M. A Biodegradabilidade da Blenda de Poli(β -Hidroxibutirato-co-Valerato)/Amido Anfótero na Presença de Micro-organismos. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 3, p. 270-276, 2008. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/po/a/mPmbdy9jZn9j6Z6dLJyzVff/?lang=pt> >. Acesso em: 13 set. 2022
6. COSTA, A. C; NUNES, A. É. B; SANTOS, C. R. C.; NASCIMENTO, C. V. ; ASSIS, F. S; MARQUES, F. A e LORENZO, F. L. O Filo Basidiomycota - Taxonomia de criptógamas. Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal De Minas Gerais — UFMG, 2023, p. 02. Disponível em: <[o-filobasidiomychttps://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/pdf/o-filo-basidiomycota.pdf](https://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/pdf/o-filo-basidiomycota.pdf) ota.pdf (terrabilis.org.br)>. Acesso em: 18 jan. 2023.
7. CRUZ, B. S M. da; FREITAS, A. B. R. de; Sousa, M. L. de. Reutilização de plásticos: uma forma de articular a educação ambiental e o ensino de polímeros através de uma feira de ciências. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, v, 12, p.105-106. 2020. Disponível em: <<https://scholar.archive.org/work/5757n7zzebbinh5rmixwq3zwzy/access/wayback/https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/revistapct/article/download/1645/969>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

8. DA SILVA, K. Rose I. Biodegradação de polietileno tereftalato (PET) por fungos ligninolíticos. 2021. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia de Alimentos, p. 63 -65. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/en/publicacao/76202/biodegradation-of-polyethylene-tereftalate-by-ligninolytic-f/>>. Acesso em: 17 jan. 2023.
9. Dreamstime. Fungos de podridão branca num pinho de pinus. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/fungos-de-podrid%C3%A3o-branca-num-pinho-p%C3%ADnus-feche-um-fungo-branco-que-decomp%C3%B5e-image164249647>> Acesso em: 14 Nov. 2022.
10. EKANAYAKA, A.H.; TIBPROMMA, S.; Dai, D.; Xu, R.; Suwannarach, N.; STEPHENSON, S.L.; Dao, C.; KARUNARATHNA, S.C. A Review of the Fungi That Degrade Plastic. *J. Fungi*, 2022, 8, 772. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/jof8080772>>. Acesso em: 18 set. 2022.
11. Environmental Inquiry - Cornell University and Penn State University. Disponível em: <<http://ei.cornell.edu/biodeg/>>. Acesso em: 11 Ago. 2022. 19:10 hrs
12. FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros Biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Química Nova*, Rio Claro, v. 29, n.4, p. 811- 816, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9P>
13. [rhbVsp8b3Pc/?lang=pt](https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9P)>. Acesso em: 13 set. 2022
14. FLEMMING, H.-C. Relevance of biofilms for the biodeterioration of surfaces of polymeric materials. *Polymer Degradation and Stability*, v. 59, p. 309-315, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391097001894?via%3DIhub>> Acesso em: 10 set. 2022.
15. GALLAGHER, K. Mushroom That Eats Plastic May Help in Fight Against Plastic Waste.- *Environment — Recycling & waste*. Disponível em: <<https://www.treehugger.com/mushroom-that-eats-plastic-5121023>>. Acesso em: 26 set. 2022.
16. Gomes, C. A. O plástico, a nova praga ambiental. *Revista do Ministério Público*. p. 277 - 304. Disponível em: <https://huespedes.cica.es/gimadus/35/35_02-plastico.html> acesso em: 25 Ago. 2022
17. GORNI, A. A.. A evolução dos materiais poliméricos ao longo do tempo. *Revista plástico industrial*, 2003. p. 1 -12. Disponível em: <[http://ingaprojetos.com.br/download/EVOLUCAO_MATERIAIS_POLIMERIC_OS\[1\].pdf](http://ingaprojetos.com.br/download/EVOLUCAO_MATERIAIS_POLIMERIC_OS[1].pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2023.

18. PAOLI, M. A. de; SPINACÉ, M. A. S. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005. Disponível em:
<[13-RV03270.pmd](https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/?format=pdf&lang=pt)
<https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/?format=pdf&lang=pt> (scielo.br)> Acesso em: 08 jan. 2023.
19. JBS. Manual de reciclagem de plástico — Estúdio Irá, 2018, p. 27 — 29. Disponível em: <[JBS corrigido_DEZ18.ihttps://jbs.com.br/wp-content/uploads/2021/07/-jbs-manual-plasticos-2018.pdf](https://jbs.com.br/wp-content/uploads/2021/07/-jbs-manual-plasticos-2018.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2023.
20. Kulshreshtha, S., Mathur, N. & Bhatnagar, P. Mushroom as a product and their role in mycoremediation. *AMB Expr* 4, 29 (2014). Disponível em:<<https://doi.org/10.1186/s13568-014-0029-8>>. Acesso em: 18 jan. 2023.
21. LEHNINGER, T. M., NELSON, D. L. & COX, M. M. Princípios de Bioquímica. 4ª Edição, 2006. Ed. Artmed, p. 193.
22. LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. Caracterização de Polímeros. Brasil: Epapers, 1 ed., 2001. 366 p. Disponível em: < [85\) Livro Caracterização de Polímeros Determinação de Peso Molecular e Polímeros Determina%C3%A7%C3%A3o de Peso Molecular e An%C3%A1lise T%C3%A9rmica senha pdf 4yuum725 2 lar e Análise Térmica senha pdf 4yuum725 \(2\) | Uidma Oliveira - Academia.edu](https://www.academia.edu/35203269/Livro_Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_d_e_Pol%C3%ADmeros_Determina%C3%A7%C3%A3o_de_Peso_Molecular_e_An%C3%A1lise_T%C3%A9rmica_senha_pdf_4yuum725_2_lar_e_An%C3%A1lise_T%C3%A9rmica_senha_pdf_4yuum725_(2)_Uidma_Oliveira_-_Academia.edu)>. Acesso em: 12 set. 2022.
23. Martins, J. B.; Ribeiro, R. G. C., Sanches; S. A., Tolussi, C. E.. Bioacumulação Por Microplásticos e Seu Impacto Na Saúde Pública. Universidade Anhembí Morumbi, Campus Mooca, São Paulo, SP, Brasil. pg. 03, 09 - 10. Disponível em:
<[https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/23747/1/Artigo Cientifico%20TCC%202022%20%281%29.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/23747/1/Artigo_Cientifico%20TCC%202022%20%281%29.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2022.
24. MÜLLER, R. J. Biodegradability of Polymers: Regulations and Methods for Testing. In: Steinbüchel A, editor. *Biopolymers*, v. 10. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. 516 p
25. Neves, Aline Abreu; Pires, Camila de Freitas. Biodegradação De Materiais Poliméricos Por Fungos Filamentosos. Universidade Estadual Paulista — UNESP, 2011. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120174/neves_aa_tcc_prud.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2022.
26. Palmer Trevor and Philip L. R. Bonner.. *Enzymes : Biochemistry Biotechnology and Clinical Chemistry*. 2nd ed. Chichester: Horwood, 2007, p. 02 -03. Disponível em: <[outputfile](https://pborhome.files.wordpress.com/2019/09/enzymes_-)
[wordpress.chhttps://pborhome.files.wordpress.com/2019/09/enzymes_-](https://pborhome.files.wordpress.com/2019/09/enzymes_-)

- [biochemistry-biotechnology-clinical-chemistry-pdfdrive.com-.pdfom](#)>. Acesso em: 17 jan. 2023.
27. Parker, L. The world's plastic pollution crisis explained. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution>>. Acesso em: 10 Ago. 2022
28. Recicla Sampa. Disponível em: <<https://www.reciclasampa.com.br/artigo/brasil-recicla-quase-25-do-lixo-plastico-mas-ainda-e-pouco>>. Acesso em: 11 Ago, 2022.
29. Repense Eco. O plástico é o vilão? — Movimento repense o plástico, BRASALPLA, 2022, p. 08. Disponível em: <<https://repense.eco.br/wp-content/themes/brasalpa/dist/img/ebook-o-plastico-e-o-vilao.pdf>>. Acesso em: 11 Set. 2022.
30. Salvi, Marina Bianchini de. Fungos basidiomicetos em biorremediação. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/04/Fungos_basidiomicetos_em_biorremediacao_Marina_Bianchini.pdf>. Acesso em: 06 Nov. 2022.
31. SILVA, S. A. A relevância da reciclagem de resíduos sólidos para a sustentabilidade. Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Iporá, Iporá, 2022. p. 02. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/750/1/mon_especializa%C3%A7%C3%A3o_Silvia%20Aparecida%20Soares.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.
32. SILVA, Kethlen Rose Inacio da. Biodegradação de polietileno tereftalato (PET) por fungos ligninolíticos. 2009. 193 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1608410>>. Acesso em: 18 jan. 2023.
33. SHAH, A. A.; HASAN, F.; HAAMED, A.; AHMED, S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, v. 26, p. 246-265, 2008. Disponível em: <www.academia.edu/1421344/Biological_degradation_of_plastics_a_comprehensive_review>. Acesso em: 11 set. 2022.
34. SINGH, B.; SHARMA, N., Mechanistic implications of plastic degradation, *Polym. Degrad. Stabil.*, v. 93, p. 561-584, 2008. Disponível em: <(85)Mechhttps://www.academia.edu/2501871/Mechanistic_implications_of_plastic_degradationhanistic_implications_of_plastic_degradation_|_Andy_Candy_-_Academia.edu> Acesso em: 11 set. 2022.
35. Tribunal de contas da união (TCU). Como tijolos remodelados podem ajudar no combate à poluição por plástico - TCU Sustentável, Ano 34, nº 039, p. 1-3, 219. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A81881F6916EECD0169926A26B8559F>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

36. UNEP. Disponível em: <[Banimentos de sacos plásticos podem reduzir gases tóxicos \(unep. https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/story/banimentos-de-sacos-plasticos-podem-reduzir-gases-toxicosorg\)](https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/story/banimentos-de-sacos-plasticos-podem-reduzir-gases-toxicosorg)>. Acesso em: 14 jan. 2023.

37. Usp. Plástico e Afins. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4566011/mod_resource/content/2/Re_ciclagem%20de%20PI%C3%A1sticos.pdf>. Acesso: 03 Set. 2022