

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

HIGOR DONIZETE FERREIRA DA SILVA

**PLÁSTICO RESIDUAL: POLUENTE EXPANDIDO PELA COVID-19 E A
ATUAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA EM MITIGAR O DANO AMBIENTAL**

PATOS DE MINAS – MG
JUNHO DE 2021

HIGOR DONIZETE FERREIRA DA SILVA

**PLÁSTICO RESIDUAL: POLUENTE EXPANDIDO PELA COVID-19 E A
ATUAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA EM MITIGAR O DANO AMBIENTAL**

“Monografia apresentada ao Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, como requisito para obtenção do título de bacharel em Biotecnologia”.

Prof. Dr. Gilvan Caetano Duarte

PATOS DE MINAS – MG

JUNHO DE 2021

HIGOR DONIZETE FERREIRA DA SILVA

Plástico residual: poluente expandido pela covid-19 e a atuação da biotecnologia em mitigar o dano ambiental

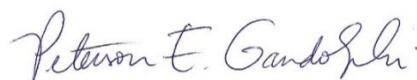
“Monografia apresentada ao Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de bacharel em Biotecnologia”.

Banca Examinadora:



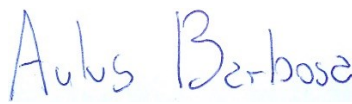
Prof. Dr. Gilvan Caetano Duarte – IBTEC UFU

Presidente



Prof. Dr. Peterson Elizandro Gandolfi

Membro



Prof. Dr. Aulus Estevão Anjos de Deus Barbosa

Membro

Patos de Minas/MG, 10 de junho de 2021.

AGRADECIMENTO

Fica aqui expresso meus sinceros agradecimentos ao professor Dr. Gilvan Caetano Duarte, e aos membros da banca, Dr. Peterson Elizando Gandolfi, Dr. Aulus Estevão Anjos de Deus Barbosa e a Dr^a. Enyara Rezende de Moraes por terem aceitado o convite para fazer parte da banca e estarem presente neste momento único e especial na minha vida acadêmica. Muito obrigado a todos vocês.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, diversos produtos passaram a ser produzidos com polímeros sintéticos, o conhecido plástico. Por possuir características como flexibilidade e maleabilidade que lhe fornece um grande poder de transformação, torna-o a matéria-prima para os mais diversos itens. Devido ao atual cenário de pandemia global (COVID-19), medidas de segurança e saúde foram implementadas para se buscar o controle do avanço e fatalidade da doença, dentre as quais destaca-se o isolamento social. Essa medida contribuiu para o aumento da produção dos derivados de polímeros sintéticos, como por exemplo, as embalagens para alimentos, sacolas, filmes plásticos entre outros. Esse aumento também pode ser verificado na área da saúde, pois houve uma elevação na fabricação dos utensílios hospitalares como máscaras, luvas, bolsas de sangue, aventais cirúrgicos, tubo endotraqueal, seringas tendo em vista a tentativa de diminuição da contaminação cruzada entre pessoas. O objetivo desta revisão é discutir o aumento dessa produção de plástico influenciada pelos novos hábitos provenientes da pandemia, seus impactos na natureza e qual o potencial da biotecnologia para auxiliar na melhor degradação destes polímeros no meio ambiente e assim diminuir seus impactos nos ecossistemas. Utilizando os bancos de dados online e buscando por palavras chaves, estima-se que a produção de plástico tenha aumentado pela necessidade de materiais plásticos durante a pandemia e que a biotecnologia guiada pelas ciências ômicas pode ser útil na produção de biopolímeros e auxiliar na degradação ecologicamente correta desses polímeros.

Palavras-chaves: Plástico residual. Polímeros sintéticos. Biotecnologia. COVID-19. Biodegradação.

ABSTRACT

With the advancement of technology, several products started to be produced with synthetic polymers, the well-known plastic. Because it has characteristics such as flexibility and malleability that provide it with great transformation power, it makes it the raw material for the most diverse items. Due to the current global pandemic scenario (COVID-19), safety and health measures were implemented to seek to control the advance and fatality of the disease, among which social isolation stands out. This measure contributed to the increase in the production of synthetic polymer derivatives, such as food packaging, bags, plastic films, among others. This increase can also be seen in the health area, as there was an increase in the manufacture of hospital utensils such as masks, gloves, blood bags, surgical gowns, endotracheal tubes, syringes in an attempt to reduce cross-contamination between people. The objective of this review is to discuss the increase in this plastic production influenced by new habits arising from the pandemic, its impacts on nature and what is the potential of biotechnology to help improve the degradation of these polymers in the environment and thus reduce their impacts on ecosystems. Using online databases and searching for keywords, it was estimated that plastic production has increased due to the need for plastic materials during the pandemic and that biotechnology guided by the omic sciences can be used to produce biopolymers and assisting in the eco-friendly degradation those polymers.

Keywords: Residual plastic. Synthetic polymers. Biotechnology. COVID-19. Biodegradation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST: Associação Brasileira da Indústria do Plástico.

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AC: Acrilato.

APV: Aglomerado de acrilatos.

BHET: Tereftalato de bis-hidroxietila.

BioPET: Tereftalato de biopolietileno.

COVID-19: Coronavirus Disease 2019 (Doença por Coronavírus – 2019).

DPP: polietileno de baixa densidade (LDPE).

EG: Etilenoglicol.

EPDM: Borracha de etileno-propileno-dieno.

EPI's: Equipamento e proteção individual.

EPM: borracha de etileno-propileno.

EVA: etileno acetato de vinilo.

GPGP: Great Pacific Garbage Patch (Grande Mancha de Lixo do Pacífico).

MHET: Monoetil-2-hidroxietiltereftalato.

MP: Microplástico.

NCBI: National Center for Biotechnology Information.

NP: Nanoplástico.

OMS: Organização Mundial da Saúde.

ONU: Organização das Nações Unidas.

PA: Poliamina.

PAN: Poliacrilonitrila.

PAS: Poliarilsulfona.

PE: Polietileno.

PEAD: Polietileno de alta densidade.

PES: Poliéster; PA: Poliamida.

PET: Tereftalato de polietileno.

PHB: Biopolímero polihidroxibutirato.

PM: Material Particulado.

PP: Polipropileno.

PS: Poliestireno.

PU: Poliuretano.

PVA: Acetato polivinílico.

PVC: Cloreto de polivinila.

RSS: Resíduos Sólidos da Saúde.

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos.

RY: Rayon (Raiom).

SAN: Estireno Acrilonitrilo.

SARs-CoV-2: Síndrome respiratória aguda grave – coronavírus 2.

TCA: Ciclo do Ácido Tricarboxílico.

TPA: Ácido Tereftálico.

UNEP: UN Environment Programme.

VCE: Poli (cloreto de vinil-etileno).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de degradação de plástico	13
Figura 2 – Esquema ilustrativo de um polímero semicristalino apresentando regiões cristalinas e amorfas.....	15
Figura 3 – Uso do plástico durante a pandemia do COVID-19.....	18
Figura 4 - Produção de plásticos em formas primárias (em mil toneladas), EU27	18
Figura 5 - Vida útil média de vários itens de plástico (em anos).	19
Figura 6 – Gráfico da composição do RSU 2019 no Brasil (à esquerda), gráfico de geração total e per capita nos anos de 2010 e 2019 no Brasil (à direita)	20
Figura 7 – Disposição final adequada x inadequada de RSU no brasil (t/ano)	21
Figura 8 – Concentração de Partículas finas (PM 2,5) em diferentes países em 2016.....	24
Figura 9 - Módulo geral da infecção viral.	25
Figura 10 - Capacidade global de produção de bioplásticos, 2018 – 2024 (em mil toneladas)	27
Figura 11 – Mecanismo geral de degradação biológica de plástico em condições aeróbias...	28
Figura 12 - PETase catalisa a despolimerização de PET em BHET, MHET e TPA. MHETase converte MHET em TPA e EG.....	29
Figura 13 – Interação entre as “Ômicas”	30
Figura 14 - Apresentação sistemática da metagenômica.....	31
Figura 15 - As abordagens “Ômicas” facilitam o desenvolvimento de novas biotecnologias.	32
Figura 16 - Árvore filogenética mostrando todos os microrganismos identificados como tendo potencial capacidade de degradação de plástico.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1 Polímeros sintéticos	14
2.2 Produção de plástico, COVID-19 e Isolamento Social.....	17
2.3 Impactos Ambientais	20
2.3.1 Ecossistema Terrestre	20
2.3.2 Ecossistema Aquático.....	21
2.3.3 Ecossistema Aéreo.....	23
2.4 Biotecnologia Aplicada.....	25
2.4.1 Biopolímeros	26
2.4.2 Degradação microbiana	27
2.4.3 Biotecnologia guiada pelas “ômicas”	29
3 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Quando se analisa dados referentes ao aumento da população mundial, é visualizada uma curva crescente e, dessa forma é possível relacionar que a demanda por alimentos, vestimentas, medicamentos, entre outros itens necessários para a sobrevivência cresce de forma igualitária. Sendo assim, uma das grandes preocupações dos últimos tempos é a respeito de todos os resíduos gerados dessas atividades humanas e os impactos que os mesmos têm sobre o meio ambiente (FRIEDE, 2021; RHODES, 2018).

Um fator importante nesse aumento populacional, é que todos somos propensos a ser hospedeiros de algum patógeno, e no ano de 2019, após um surto de infecção ocorrida na cidade de Wuhan na China que se espalhou por todo o mundo, mudou o cenário de uma infecção local para uma pandemia. Há muitas hipóteses sobre a real origem desse agente infeccioso, de toda forma, nos fez questionar sobre nossos hábitos e o quanto estamos susceptíveis à infecção por microrganismos, neste caso o vírus Sars-CoV-2. A doença do coronavírus ou como ficou conhecida COVID-19 fez e ainda faz muitas vítimas em todo o mundo, o que exigiu a adoção de medidas a fim de diminuir a curva de contaminação e de mortes. Entre as medidas tomadas está a utilização de máscaras, em alguns casos luvas, a utilização de álcool 70% (principalmente em gel) e o isolamento social, fazendo com que o máximo de pessoas permaneçam em casa e assim reduzir o contato entre as pessoas infectadas com as não-infectadas (COCCIA, 2020; HU et al., 2021; POLLARD et al., 2020).

Em decorrência desse isolamento social, houve um aumento expressivo nos serviços de *delivery*, uma vez que a população foi orientada a sair de casa apenas para assuntos essenciais. Neste sentido, as empresas de embalagens tiveram uma alta em seus níveis de produção, principalmente em materiais derivados de polímeros sintético, devido às características provenientes dos plásticos, o fez ser utilizado em várias embalagens, tanto nas áreas alimentares quando de produtos em geral (ABIPLAST, 2019).

Esse mesmo aumento de produção pode ser visto na área da saúde, uma vez que para reduzir a contaminação cruzada entre pacientes/pacientes e pacientes/funcionários, foram fabricados uma quantidade maior de máscaras, luvas, embalagens de bolsas de sangue, aventais cirúrgicos, tubos endotraqueais e seringas. Tendo em vista esse cenário, uma preocupação surge, afinal o tempo de degradação do plástico no meio ambiente é essencialmente elevado, o que resulta em acúmulo na natureza, causando poluição nos rios, mares, oceanos, florestas,

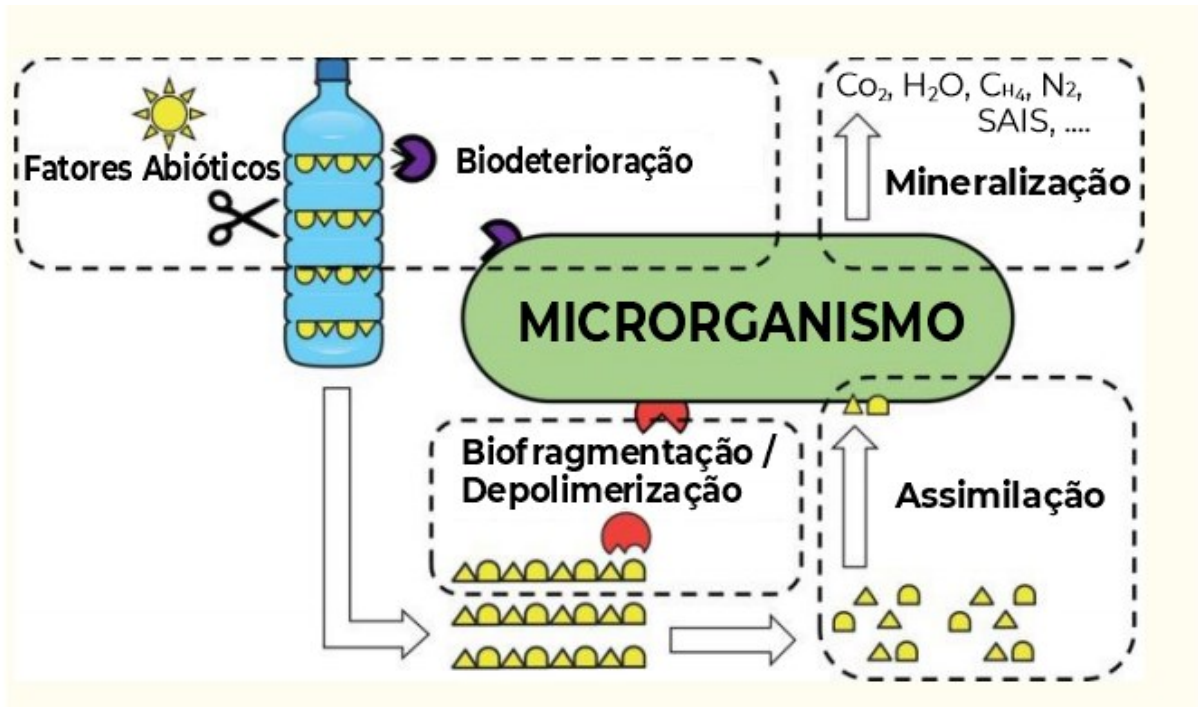
estradas e nas cidades. Alternativas não tão eficazes de mitigar seu impacto, como a queima em incineradores geram poluentes liberados no ar, o depósito em aterros não é uma solução muito ecológica e a reciclagem ainda apresenta vários empecilhos para um bom rendimento de material reciclado. Ou seja, percebe-se que este resíduo influencia tanto o solo, a água e o ar (COLLIN; CHRISTOPHER, 2020; RHODES, 2018).

Com o intuito de diminuir a influência dos polímeros sintéticos, alternativas estão sendo buscadas e debatidas e sua aplicação fora da área acadêmica sendo avaliadas. Entre as descobertas temos os biodegradáveis, que apresenta um tempo de degradação e impacto menor na natureza (RHODES, 2018; ABIPLAST, 2019). Porém, essa alternativa contribui pouco para diminuir os efeitos do plástico no futuro, uma vez que a maior parte das embalagens já presentes nos ecossistemas não são biodegradáveis, e com isso, é necessária uma adicional para se alcançar a degradação desse plástico residual.

Uma aliada dessa procura é a biotecnologia, visto que possui inúmeras áreas que podem auxiliar na descoberta de novas tecnologias, contribuindo para um melhor destino a esses resíduos originados das mais diversas atividades humanas. Dentre as possibilidades estudadas dentro da biotecnologia temos a utilização de enzimas naturais produzidas por microrganismos, que também agrega valores a outros insumos da humanidade (como por exemplo, os subprodutos da agricultura) e tem um impacto menor nos ecossistemas que outros agentes químicos e até mesmo se comparada a incineração. A metagenômica se destaca na biotecnologia, como uma ferramenta científica capaz de encontrar, dentre diversos microrganismos, sequências genéticas que contribuem para um aumento na expressão enzimática, enzimas mais resistentes às condições extracelulares, de melhor desempenho e com amplo poder de degradação, podendo até mesmo atuarem em mais de um tipo de polímero sintético (PUROHIT, 2020; DANSO et al., 2019; WEI; ZIMMERMANN, 2017).

Ao analisar a biodegradação na natureza (Figura 1), é perceptível uma colaboração de fatores abióticos (influenciados pelo sol, chuvas, ventos entre outros) que promovem a fragmentação do poluente em pedaços menores. Isso, por sua vez, aumenta a área de contato para enzimas que são secretadas por microrganismos; tais enzimas conseguem degradar mais do composto, liberando polímeros curtos que podem ser facilmente assimilados pelos microrganismos; outros compostos são liberados no meio como CO₂, H₂O, íons, sais entre outros.

Figura 1 – Esquema de degradação de plástico.



Fonte: Adaptado de Wei; Zimmermann (2017).

Explorando a literatura disponível em bancos de dados científicos e portais de pesquisa como National Center for Biotechnology Information – NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>) e Scientific Eletronic Library Online – Scielo (<https://www.scielo.br/>), foram selecionados artigos que correlacionaram com os seguintes termos: produção de plástico COVID-19; degradação microbiana de plástico; degradação enzimática de plástico; biotecnologia e ciências ômicas; polímeros sintéticos e biopolímeros; impacto do plástico no meio ambiente; plástico e ecossistema aquático; plástico e ecossistema terrestre; plástico e ecossistema aéreo.

Os objetivos desta revisão é buscar evidências e discutir o aumento da produção dos derivados de polímeros sintéticos motivados pela COVID-19, correlacionado com os impactos que os plásticos tem no meio ambiente e, principalmente, o potencial da biotecnologia para trazer um destino mais apropriado aos resíduos produzidos, utilizando as informações mais recentes disponíveis em tais plataformas de dados.

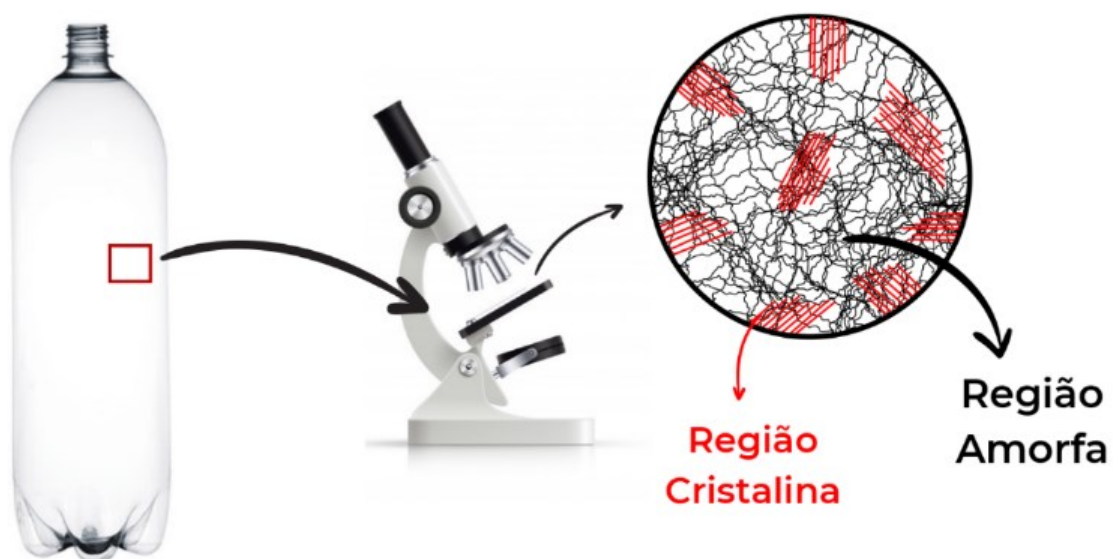
2 DESENVOLVIMENTO

Ao longo da história humana, foram necessárias várias evoluções tecnológicas e, principalmente, o desenvolvimento de novas ciências, novos métodos e novas matérias que pudessem acompanhar o ser humano nesse caminho evolutivo. Um desses materiais são os polímeros sintéticos, tão diversificados e utilizados nos mais diversos âmbitos da sociedade. Porém, esses mesmos polímeros sintéticos podem apresentar suas consequências substancialmente quando analisado seus impactos em toda biosfera.

2.1 Polímeros sintéticos

Polímero sintético são compostos criados pelo homem, formado por uma longa cadeia de moléculas poliméricas e ligações incomuns e com uma grande massa molecular. Polímeros que têm sua matéria-prima provinda do petróleo como o tereftalato de polietileno (PET), cloreto de polivinila (PVC), poliuretano (PU), polietileno (PE), poliestireno (PS), polipropileno (PP) e poliamida (PA), e vem sendo utilizados pela humanidade nas últimas 5 décadas, por suas características como resistência, flexibilidade, maleabilidade, baixo custo de fabricação e por demais propriedades físicas que os tornam atrativos para as mais variadas funções. A rigidez dos plásticos se distingue pela quantidade de regiões cristalinas formada por cristais regulares ou por regiões amorfas formadas por grupos irregulares (Figura 2); ou seja, quanto mais regiões cristalinas possuir, mais rígido este será, como por exemplo o polietileno. Em contrapartida, também são pouco resistentes a impacto. E quanto mais rígidos (alto número de regiões cristalinas), menor é a taxa de degradação biológica e maior a permanência do mesmo no meio ambiente. Alguns plásticos podem ultrapassar os 600 anos no meio ambiente, sendo que em ecossistemas aquáticos esse tempo de permanência é ainda maior devido às baixas concentrações de oxigênio e temperaturas reduzidas (MOHANAN, 2020; PATHAK; NAVNEET, 2017; PITT et al., 2011).

Figura 2 – Esquema ilustrativo de um polímero semicristalino apresentando regiões cristalinas e amorfas.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com suas características e propriedades, cada polímero é utilizado para uma finalidade diferente, ou seja, sua cristalinidade e densidade varia de acordo com o produto final. Como forma de facilitar a reciclagem, cada polímero recebe um identificador (um número no centro do símbolo de reciclagem que representa seu polímero), tais informações podem ser vista na Tabela 1 (CARAM, 2021; LAMBERT; WAGNER, 2018; HAGE JR, 1998).

Tabela 1 – Características de alguns polímeros

Polímeros	Siglas	Ano de início de comercialização	Identificador de reciclagem*	Utilização	Cristalinidade**	Densidade (g cm⁻³)
Policloreto de vinila	PVC	1927	3	Produtos de encaimento, isolamento para cabos elétricos, vestuário, tubos hospitalares.	Alta	1,38
Poliestireno	PS	1930	6	Recipientes, garrafas, isolamento para construção, embalagens	Baixa	0,96-1,05
Polietileno de baixa densidade	LDPE	1939	4	Sacolas, recipientes alimentícios, embalagens.	70-95%	0,91-0,93
Poliuretano	PU	1954	-	Revestimento, adesivos, elastômeros, roupas de cama e moveis, isolantes e eletrônicos.	Baixa/Alta	0,032-0,5
Polietileno Tereftalato	PET	1954	1	Garrafas, recipientes, vestuários.	Alta e 30-40%	1,34-1,39
Polietileno de alta densidade	HDPE	1954	2	Sacolas, recipientes alimentícios, embalagens.	45-60%	0,94-0,97
Polipropileno	PP	1957	5	Carpetes, tapetes, equipamentos para laboratório, peças automotivas e dispositivos médicos.	50-80%	0,85-0,94

* Alguns polímeros recebem um número para ajudar a diferencia-lo nos programas de coleta de resíduos e assim facilitar a separação dos tipos de plásticos para a reciclagem, estes números são encontrados no centro do símbolo de reciclagem.

** A cristalinidade é relacionada com a forma de organização das longas cadeias de polímeros que formam o produto.

Fonte: Próprio autor, a partir de adaptados de: Caram (2021); Lambert; Wagner (2018).

2.2 Produção de plástico, COVID-19 e Isolamento Social

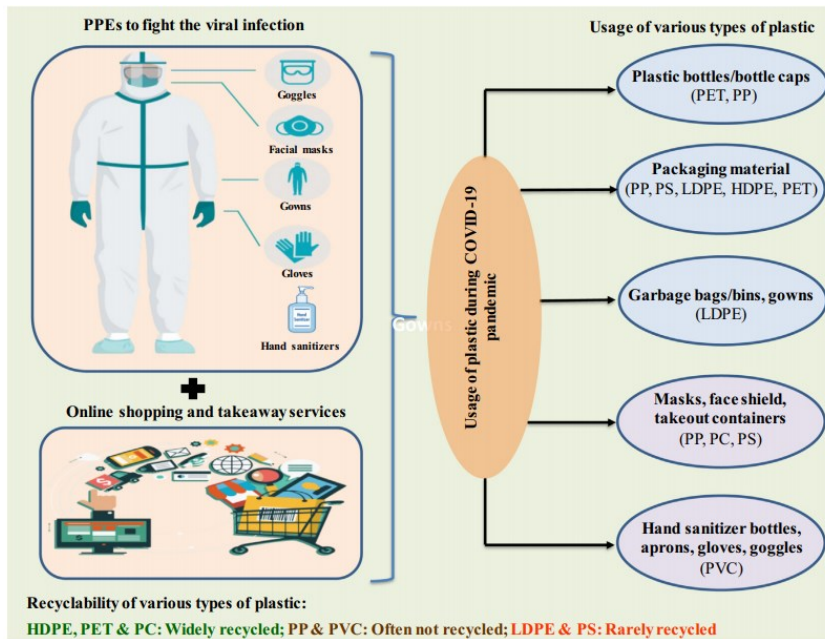
Devido a sua reduzida taxa de degradação, os plásticos têm um grande impacto nos ecossistemas, pois, perduram na natureza por muitos anos até serem decompostos por microrganismos e por fatores abióticos. Essa poluição proveniente do plástico afeta e muito a qualidade de vida de todos os seres.

Desta forma, vários países criaram leis para diminuir a utilização de plásticos, forçando até mesmo as indústrias a procurarem substitutos para esses polímeros. Entretanto, com a mudança global vinda da tentativa de diminuir a exposição ao novo coronavírus (SARS-Cov-2), colocando como prioridade a saúde humana, essas políticas de redução da utilização dos materiais plásticos foram adiadas e algumas suspensas (SILVA et al., 2020; PRATA et al., 2019; AXELSSON; VAN SEBILLE, 2017).

Entre as medidas tomadas para retardar a transmissão da COVID-19, as mais encorajadas pelos governos foram a utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI's), higienização das mãos e superfícies com detergentes e álcool 70% e o isolamento social. Tais medidas influenciaram e muito no aumento da produção dos EPI's, pois se tornou quase obrigatório em todo o mundo a utilização de máscaras, protetores faciais, luvas para cidadãos comuns; embalagens plásticas em geral (Figura 3). Adicionalmente, vários estabelecimentos foram proibidos de exercer suas atividades presenciais e recorreram aos sistema de envio de mercadoria como o *delivery*; os estabelecimentos comerciais que vendem mercadorias variadas (mercados, supermercados e hipermercados) com a alta demanda de compras foram disponibilizadas mais sacolas plásticas, filmes plásticos entre outros itens; e nos utensílios hospitalares pois com o aumento no números de pacientes acometidos por doença respiratória aguda grave nos leitos hospitalares está sendo necessário um número maior de materiais descartáveis e de proteção (VANAPALLI et al., 2021; PARASHAR; SUBRATA, 2021; DHAMA et al., 2020; SILVA et al., 2021).

Apesar da escassez de dados sobre a real produção de plástico nos anos de 2020 e 2021 (anos em que a COVID-19 tornou uma pandemia, afetando o mundo de forma geral) nos bancos de dados online, essa escassez é justificada, pois regulamente os dados do ano atual são publicados no final do ano subsequente. Dessa forma, haverá uma melhor compreensão da mudança de produção de plástico no ano de 2020 apenas nos últimos meses de 2021, e assim por diante.

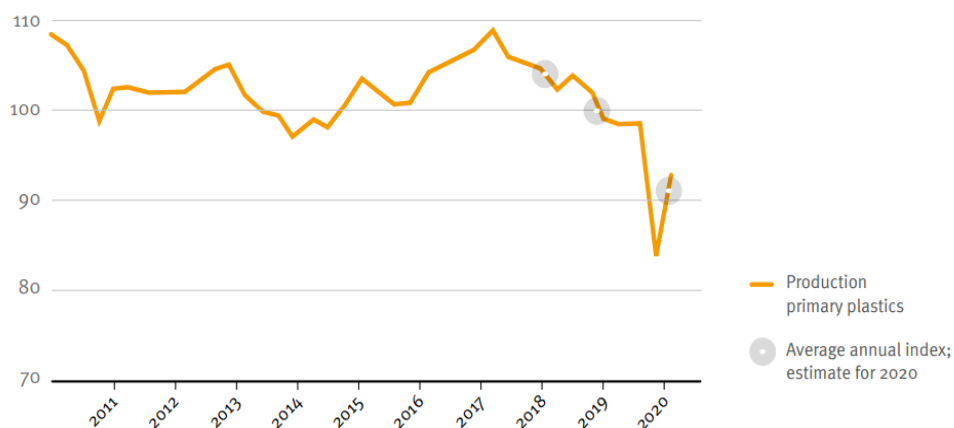
Figura 3 – Uso do plástico durante a pandemia do COVID-19



Fonte: Adaptado de Parashar; Subrata (2021).

Na União Europeia (EU27), onde tem-se uma maior preocupação sobre a produção e destinação final do plástico, muitas leis de diminuição no uso haviam sido criadas e houve uma redução expressiva na produção de plástico em forma primária. Porém, com a pandemia no final de 2019, é possível perceber a elevação dessa produção (Figura 4). Contudo, a previsão é que a produção não irá alcançar os níveis visto antes da COVID-19 antes de 2022. A produção global de plástico em 2018 foi de 359 milhões de toneladas e subiu para 368 milhões de toneladas em 2019; porém na União Europeia (EU28) houve uma redução de 61,8 para 57,9 milhões de toneladas de 2018 para 2019 (PLASTICS EUROPE, 2021).

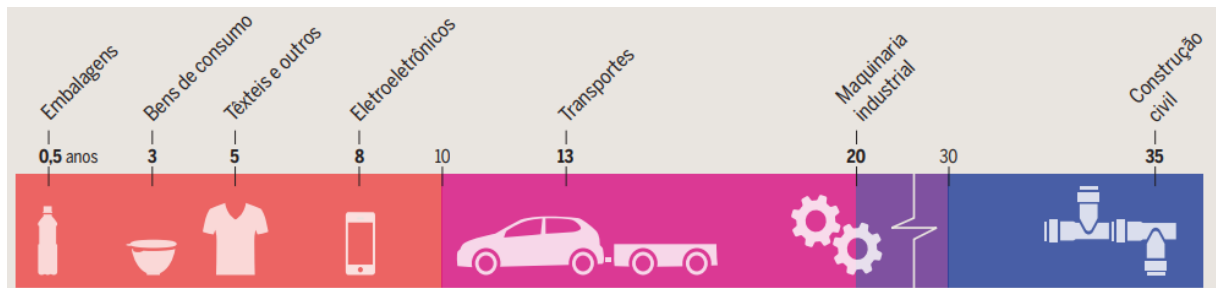
Figura 4 - Produção de plásticos em formas primárias (em mil toneladas), EU27



Fonte: Adaptado de Plastics Europe (2021).

Entre as principais resinas utilizadas no Brasil, tem-se o Polipropileno (PP) com 21%, o Policloreto de polivinila (PVC) com 13,6%, o Polietileno de alta densidade (PEAD) com 12,7% e o Polietileno Tereftalato (PET) com 5,4% de utilização. Essas três primeiras resinas são utilizadas em produtos mais rígidos e que possui um tempo de utilização maior. Já o PET por apresentar sua maior aplicação nas embalagens para bebidas e em fibras de tecelagem, possui um tempo de utilização bem pequeno conforme pode ser visto na Figura 5, visto que após consumida a bebida sua embalagem é descartável (ABIPLAST, 2019).

Figura 5 - Vida útil média de vários itens de plástico (em anos).

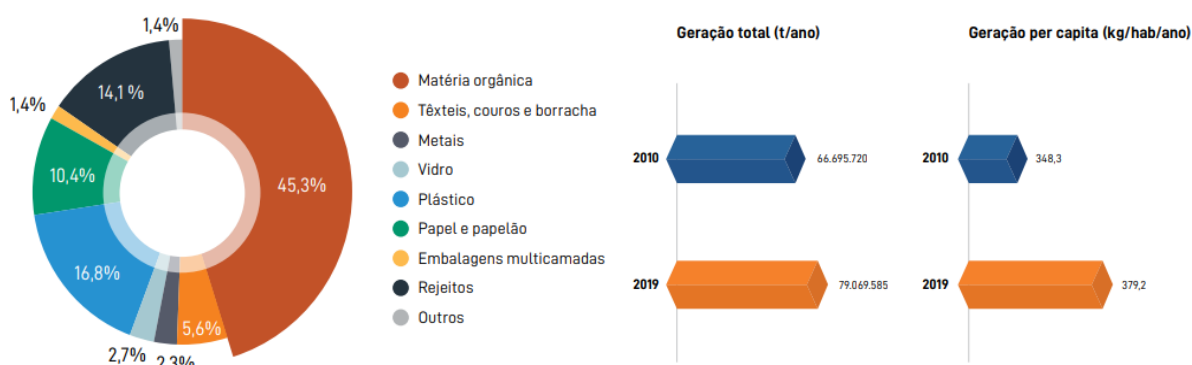


Fonte: Adaptado de Atlas do Plástico (2020).

Quando se analisa os resíduos provenientes de embalagens plásticas de algumas empresas é perceptível o quão grande é a produção de embalagens descartáveis, como por exemplo a Coca-Cola (3.000.000 ton./ano), Nestlé (1.700.00 ton./ano) e a Danone (750.000 ton./ano). A Coca-Cola possui uma produção global de 88 bilhões de garrafas por ano, colocando todas as garrafas uma sobre a outra, corresponde a distância entre a terra e a lua 31 vezes (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020).

Ao observar o gráfico da Figura 6, nota-se um aumento expressivo na geração de resíduo sólido urbano (RSU) entre 2010 e 2019, dando um salto de 67 milhões para 79 milhões ton/ano, da mesma forma, observa-se um aumento de 348 kg/ano para 379 kg/ano de RSU *per capita* (ABRELPE, 2020). Uma possível justificativa para tal aumento é a mudança do estilo de vida do povo brasileiro, procurando um alimento industrializado por ser mais prático de ser consumido. Desta forma, ganha tempo para seguir uma jornada trabalhista, elevando assim o número de produção das embalagens alimentícias e das sacolas plásticas, visto que, de todo o RSU produzido 16,8 % é formado por plástico (Figura 6).

Figura 6 – Gráfico da composição do RSU 2019 no Brasil (à esquerda), gráfico de geração total e per capita nos anos de 2010 e 2019 no Brasil (à direita)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2020).

2.3 Impactos Ambientais

Como mencionado acima, devido a sua alta permanência no meio ambiente, o plástico tem se tornado um dos materiais que mais poluem o planeta e tem fortes impactos na vida humana e de todos os seres vivos. Sua poluição não se limita a apenas um dos ecossistemas, atingindo o aquático, terrestre e até mesmo o aéreo.

2.3.1 Ecossistema Terrestre

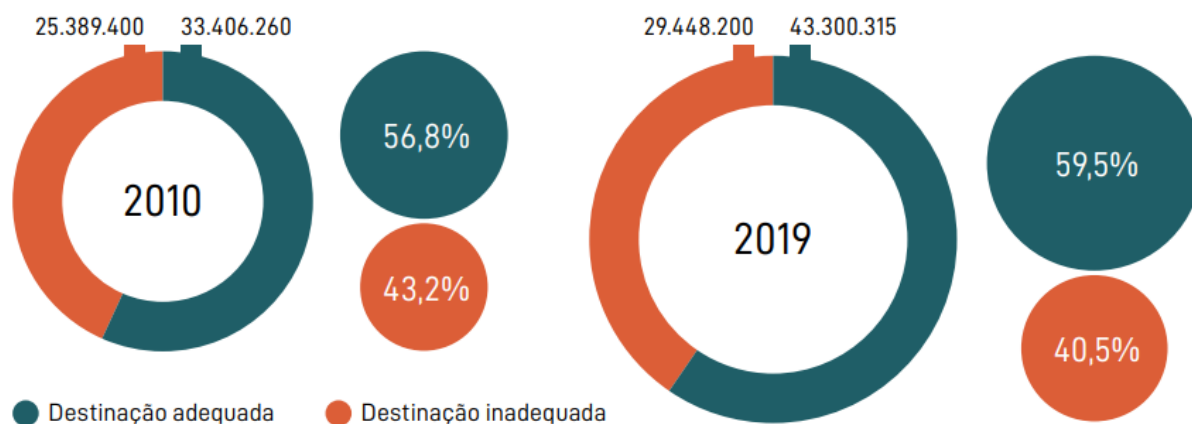
Os impactos ambientais provenientes do plástico no ecossistema terrestre ainda são amplamente desconhecidos, mesmo com vários relatos sobre os impactos nos organismos aquáticos, afinal a maioria dos plásticos que chegam nas águas, foram produzidos, utilizados e provavelmente descartados em terra. Desta forma, seu primeiro contato com o processo de degradação ou desintegração acontece no meio terrestre, e por isso tem fortes impactos ambientais (MACHADO et al., 2018; LWANGA; VEGA; QUEJ et al, 2017).

Vários fatores influenciam na poluição terrestre por plásticos em 4 a 23 vezes maior que no ambiente aquático (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020). Dentre estes temos as atividades agrícolas, por meio da degradação do maquinário agrícola, a utilização de condicionadores de solo que podem ter em sua composição os microplásticos (MP) e os nanoplásticos (NP), com tamanhos de <5 mm e de <1 µm, respectivamente, e o uso de cobertura de plásticos (utilizado para baratear o processo de enraizamento e controle de ervas daninhas). As atividades humanas nas zonas urbanas geram bastante resíduos que por mal gerenciamento acabam se depositando

no solo, e os próprios aterros. Uma vez que estes resíduos fornecessem um contato direto do plástico com o solo, e devido à grande necessidade de áreas de aterro, pode resultar em uma concentração maior de polímeros sintéticos no ecossistema terrestre em comparação ao ambiente aquático. Todavia, existem poucas informações sobre os reais impactos que causam ao solo e as implicações que esses plásticos têm quando entram na cadeia alimentar (WINDSOR et al., 2019; MACHADO et al., 2018; NIZZETTO et al., 2016).

Apesar da redução na destinação inadequada dos RSU de 43,2% em 2010 para 40,5% em 2019, uma parte considerável dos plásticos descartados vão parar nos aterros sanitários, aterros controlados e lixões, o que favorece a contaminação do solo e torna a terra daquele local impróprio para outras práticas humanas. Ressaltando que o plástico, por fatores abióticos e bióticos, pode alcançar o tamanho de MP ou NP e serem levados para o ecossistema aéreo e até mesmo ao ecossistema aquático. Ao analisar a destinação dos resíduos sólidos da saúde (RSS) em 2019 (Figura 7), 40,2% são incinerados (gerando poluentes ao meio ambiente) e 36,2% são destinados aos aterros e lixões (ABRELPE, 2020).

Figura 7 – Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2020).

2.3.2 Ecossistema Aquático

Os ecossistemas aquáticos têm características que reduzem a taxa de degradação dos plásticos, sendo a baixa disponibilidade de oxigênio e as baixas temperaturas, que dificultam tanto a proliferação de microrganismos que conseguem degradar alguns polímeros quanto a acessibilidade destes até os polímeros. Desta forma, o tempo que o plástico demora para se deteriorar aumenta substancialmente (DANSO, 2019; URBANEK et al., 2018).

Outro problema presente nos ecossistemas aquáticos que se tornam um risco a saúde humana, são os MP e NP. Os MP e NP são resultados de uma degradação por processos mecânicos e fotoquímicos, e foram encontrados em diversas regiões do mundo (Tabela 2). Devido ao seu tamanho, facilmente podem entrar na cadeia alimentar e chegar até os seres humanos, causando algum dano, como seu acúmulo no intestino ou sendo um veículo para microrganismos invasores. Um estudo recente identificou pela primeira vez microplásticos na placenta de mulheres grávidas (RAGUSA et al., 2021). São encontradas em média 325 partículas de plástico por litro de água engarrafada (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020) vendida no mercado para consumo humano (DANSO et al., 2019; ISSAC; KANDASUBRAMANIAN, 2021).

Tabela 2 - Poluição microplástica de águas e sedimentos em diferentes regiões do mundo.

Localização	Densidade	Tamanho	Tipo de Polímero
Bacia do rio Milwaukee, Wisconsin, EUA	1,1 g / cm ³	0,355–4,749 mm	LDPP, PET
Rio Hudson, Estado de Nova York, EUA	0,98 itens / L	1,000–4,749 mm	PET, PP
Leito do rio Reno, Koblenz, Alemanha	0,26-11,07 × 10 ³ / kg de peso	11–5033 µm	AC, PU, APV, PE, EPDM, PES
Rio Reno, Rio Meno, Alemanha	228-3763 partículas / kg	63-5000 µm	PE, PP, PS, PET, EPDM, PVC
Rio Saigon, Vietnã	172.000–419.000 Itens / m ³	50–250 µm	PE, PP, PES, PET
Rios Snake e baixo Columbia	0,014-5,405 itens / L	100-333 µm	PP, PE, PET, PES
Bohai Sea China	0,33 ± 0,36 m ³	0,3–5 mm	PE, PP, PS, PET
Bacia do Rio Yangtze China	0,5–3,1 itens / L	0,25-1 mm	PES, PP, PE
Mar da Groenlândia	0,81-4,52 partículas m ⁻³	0,5–4,5 mm	PES, PE
Águas marinhas de Hong Kong	413,38 partículas m ⁻³	0,2–4,9 mm	PP, PE, SAN
Águas costeiras da China	0,68 a 6,44 partículas / L	0,25-1 mm	PET, RY, PE, PVC, PP
Mar Báltico Meridional	25 a 53 partículas / kg de peso seco	0,1–5 mm	EPM, PVC, VCE, PAN, PVA, PES, EVA, PE
Bohai Sea China	2,0–17,0 / 50 g de peso seco	66,25-4982,59 µm	RY, PE, PET, PP, PA
Mar Amarelo do Norte da China	4,0–14,0 partículas / 50 g de peso seco	66,25-4982,59 µm	RY, PE, PET, PP, PA

Sul do Mar Amarelo China	2,0-7,0 itens / 50 g de peso seco	66,25-4982,5 μ m	RY, PE, PET, PP, PA
Mar de Omã	138,3-930,3 partículas / kg	100-1000 μ m	PE, PP, PA, PET, PVA, PS, PVC
Litorais de Canterbury	0-45,4 partículas / Kg de sedimento seco.	0,5-1 mm	PS, PE, PP
Baía de Xiangshan, China	Água: $8,9 \pm 4,7$ itens / m ³ Sedimento: 1739 ± 2153 itens / kg	$1,54 \pm 1,53$ mm $1,33 \pm 1,69$ mm	PE, PP, PS
Rio Tamisa, Reino Unido	66 partículas / 100 g	1 mm – 4 mm	PP, PES, PAS

PE: Polietileno; PP: polipropileno; PS: poliestireno; PET: tereftalato de polietileno; PVC: cloreto de polivinila; PES: Poliéster; PA: Poliamida; EVA: etileno acetato de vinilo; PA: nylon; EPM: borracha de etileno-propileno; VCE: Poli (cloreto de vinil-etileno); PAN: Poliacrilonitrila; PVA: acetato polivinílico; PAS: poliarilsulfona; PU: poliuretano; AC: Acrilato; APV: aglomerado de acrilatos / poliuretano / verniz; EPDM: borracha de etileno-propileno-dieno; LDPP: polietileno de baixa densidade (LDPE); RY: Rayon (Raíom); SAN: Estireno Acrilonitrilo.

Fonte: Adaptado de Usman et al. (2020).

Outro ponto que chamou atenção sobre o impacto no ecossistema aquático foi a Grande Mancha de Lixo do Pacífico (GPGP), um ponto de acúmulo de lixo nas águas subtropicais entre a Califórnia e o Havaí. A estimativa é que estejam flutuando dentro de uma área de 1,6 milhão de km² (o estado do Amazonas possui o tamanho de 1,57 milhão de km²) pelo menos 79 mil toneladas, aproximadamente, cerca de 1,8 trilhão de pedaços de plástico, abrangendo desde MP aos megaplásticos que possuem diâmetro acima de 50 cm (EGGER et al., 2020; DANSO et al., 2019; LEBRETON et al., 2018).

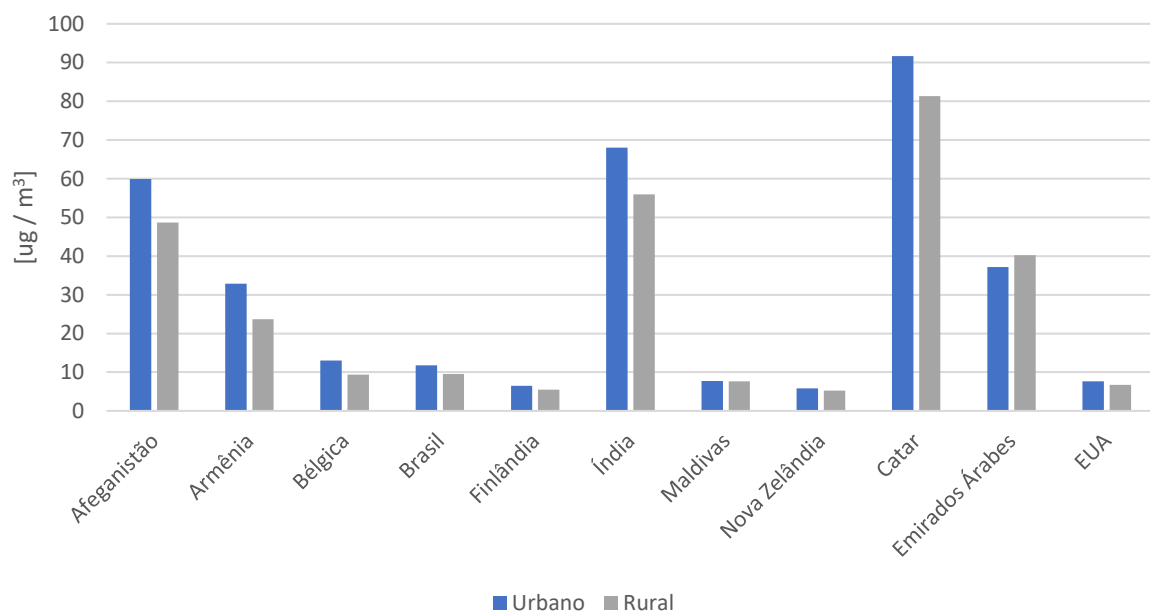
2.3.3 Ecossistema Aéreo

Apesar de ter uma grande massa molecular, seu peso é relativamente leve pois a maioria dos plásticos encontrados na atmosfera são MP ou NP, por isso, eles podem alcançar os céus através de vários canais. Dentre estes tem-se a combustão de resíduos de plásticos, sendo um dos destinos finais desses resíduos a incineração que de forma indireta também libera o CO₂ na atmosfera e influencia na qualidade de vida (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020); por meio da erosão eólica, uma vez que partículas plásticas se desprendem dos pneus por conta do desgaste, partículas de tintas, fibras sintéticas, resíduos de atividades agrícolas, eles são levados para atmosfera por conta dos ventos (WINDSOR et al., 2019; PRATA, 2018, RILLIG, 2012).

A poluição da atmosfera terrestre por materiais particulados (contendo, poeira, NP e MP, entre outros componentes) com diâmetro igual ou inferior a 2,5 micrón e analisada em todos os países, pois tais materiais influenciam na qualidade de vida da população (Figura 8). É possível notar que em países com PIB baixos, há elevados níveis de poluição atmosférica, tanto em suas zonas rurais e urbanas (TAINIO et al, 2021; OMS, 2016).

A ONU em parceria com alguns países, desenvolveram o “The Urban Air Action Platform”, uma plataforma onde é possível acompanhar em tempo real a qualidade do ar em diversos países, assim como algumas outras informações que condizentes com o ecossistema aéreo. (UNEP, 2020).

Figura 8 – Concentração de Partículas finas (PM 2,5) em diferentes países em 2016



Fonte: Adaptado de OMS (2016).

Os MP e NP, por serem diminutos, podem ser facilmente inalados e causar lesões no sistema respiratório, dependendo do organismo da pessoa e principalmente da composição desses resíduos, podem servir como veículos para alguns patógenos aumentando a sua disseminação (Figura 9). Estudos recentes demonstram que a poluição por MP e NP influenciou muito no número de casos da COVID-19 e em outros distúrbios respiratórios em humanos. O vírus é capaz de se adsorver na superfície dos materiais particulados que são inspirados e se depositam nos pulmões (local de ataque principal do vírus), e dessa forma o número de infectados e de óbitos são aumentados. Com o “lockdown” (medida de segurança utilizado para

desde saúde humana ou animal, agricultura, indústria e principalmente na prática científica (NATURE, 2020). Dessa forma, a biotecnologia atua como um “divisor de águas”, utilizando os recursos encontrados na natureza para gerar inovação e resolver problemas atuais de nossa sociedade.

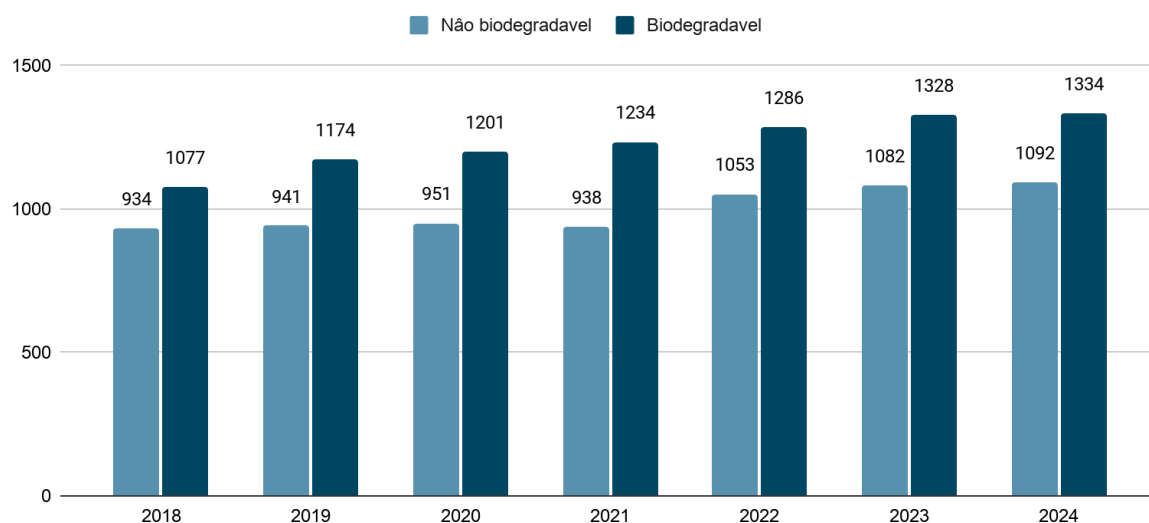
2.4.1 Biopolímeros

Os biopolímeros são polímeros naturais, produzidos a partir de matérias-primas renováveis (açúcares, ácidos graxos e aminoácidos), pela atividade de microrganismos que utilizam de processos enzimáticos na sua síntese, resultando em moléculas de alto peso molecular. Um exemplo de microrganismos são as bactérias que podem sintetizar polissacarídeos, poliamidas, poliésteres e polifosfatos. Os biopolímeros tiveram suas propriedades estudadas para trazer uma melhor compreensão e utilização tanto na área da saúde quanto nas indústrias. Usufruindo da bioengenharia e biologia sintética, foram obtidos biopolímeros revolucionários. Suas aplicações abrangem várias áreas, sendo uma delas a de produção de bioplásticos que tem um impacto mais brando nos ecossistemas por possuir um tempo de degradação menor, ou seja, maior acessibilidade à degradação microbiana (MORADALI; REHM, 2020; ATLAS DO PLÁSTICO, 2020; ABIPLAST, 2019).

Os bioplásticos podem ser classificados como base na sua biodegradabilidade e a composição da chamada base biológica. Dessa forma, tem-se os bioplásticos descartáveis que possuem base biológica (ou uma porcentagem biológica) mas não são biodegradáveis; os bioplásticos biodegradáveis com base biológica e os de base com fontes fósseis. Esses bioplásticos não biodegradáveis são comparados aos plásticos clássicos pois é necessário o mesmo tempo para sua degradação no meio ambiente. Como exemplo destaca-se o BioPET formado por tereftalato de biopolietileno, mas é utilizada uma fonte renovável para sua obtenção (ACQUAVIA, et al., 2021; ATLAS DO PLÁSTICO, 2020; ABIPLAST, 2019).

Analisando e comparando a produção global de bioplástico e plásticos não biodegradáveis de 2018 com estimativa até 2024 (Figura 10), é possível notar uma ampliação na produção dos plásticos e bioplásticos. Saltando de um total de 2.011 para 2.426 mil toneladas, sendo sua maior produção dos biodegradáveis. Como tais dados foram estimados antes da pandemia, poderá ocorrer expressivas alterações nesses números, uma vez que, os impactos da pandemia na produção de plásticos são relevantes, visto que, houve grande necessidade de materiais provenientes desses compostos para diminuir a contaminação pelo COVID-19 e no tratamento para preservar a vidas dos infectados.

Figura 10 - Capacidade global de produção de bioplásticos, 2018 – 2024 (em mil toneladas)



Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2019).

Com base nos dados do ATLAS DO PLÁSTICO (2020), os maiores produtores do bioplásticos são, Ásia (55 %), Europa (19%), América do Norte (16%), América do Sul (9%) e a Austrália/Oceania (1%). Tendo a sua maior parte usado em embalagens rígidas e flexíveis, têxteis e automotivos/transportes.

2.4.2 Degradação microbiana

Os polímeros sintéticos que são derivados do petróleo e os bioplásticos não biodegradáveis possuem uma alta recalcitrância para com as vias de degradação natural e, portanto, estão se acumulando cada vez mais no ambiente.

A biodegradação do plástico no meio ambiente é resultado da combinação de degradação por fatores abióticos e bióticos. Dessa forma, o plástico vai se fragmentando e com isso, aumentando sua superfície de contato e ficando mais fácil a degradação por fatores bióticos, e as enzimas extracelulares tem uma função muito importante na despolimerização dos resíduos plásticos. Assim que os polímeros sintéticos foram reduzidos em até 50 átomos de carbono, eles já podem entrar nas células e serem metabolizados (PUROHIT et al., 2020; MOHANAN et al., 2020; DANSO et al., 2019; WEI; ZIMMERMANN, 2017; BHARDWAJ, H. et al., 2012).

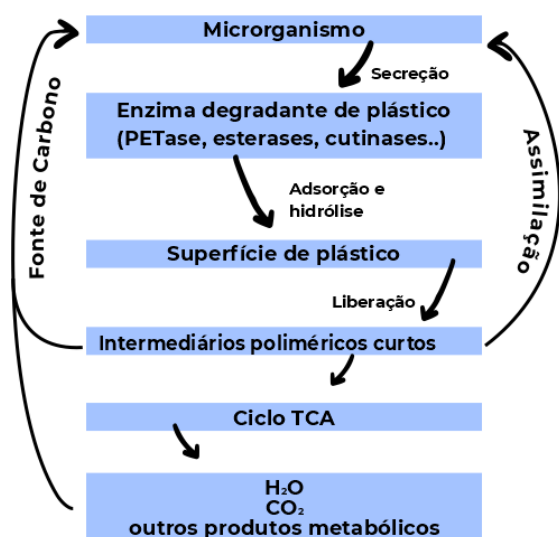
Alguns microrganismos possuem a capacidade de degradar esses materiais *in vitro*, mas essa degradação varia de acordo com o peso molecular, a estrutura química e o grau de cristalinidade. A degradação enzimática se manifesta por meio de algumas fases (Figura 11), onde um microrganismo secreta no meio extracelular suas enzimas degradantes de plástico, como por exemplo, as PETases, esterases, cutinases entre outras (Tabela 3). Em seguida, acontece a adsorção da enzima à superfície do polímero; em decorrência de fatores abióticos há uma fragmentação do material e com isso um aumento da superfície do polímero deixando mais disponível a ataques biológicos. Ocorre a liberação de intermédios poliméricos curtos que podem ser reciclados ou convertido em polímeros biodegradáveis. Estes podem ser assimilados pelos microrganismos, servindo como fonte de carbono e no ciclo dos ácidos tricarboxílicos (TCA). Após a conclusão do ciclo, ocorre a liberação no meio como CO₂ e H₂O e outros produtos metabólicos, que podem ser utilizados pelos microrganismos (MOHANAN et al., 2020; WEI; ZIMMERMANN, 2017).

Tabela 3 – Informações moleculares dos principais catalisadores

Enzima	Acesso	Nº de aminoácidos	Organismo	Locus
PETase	A0A0K8P6T7	290 aa	<i>Ideonella sakaiensis</i>	PETH_IDESA
MHETase	A0A0K8P8E7	603 aa	<i>Ideonella sakaiensis</i>	MHETH_IDESA
Cutinase	PBP26284	238 aa	<i>Diplocarpon rosae</i>	PBP26284
Esterase	PBP27070	437 aa	<i>Diplocarpon rosae</i>	PBP27070

Fonte: Adaptado de NCBI (2021)

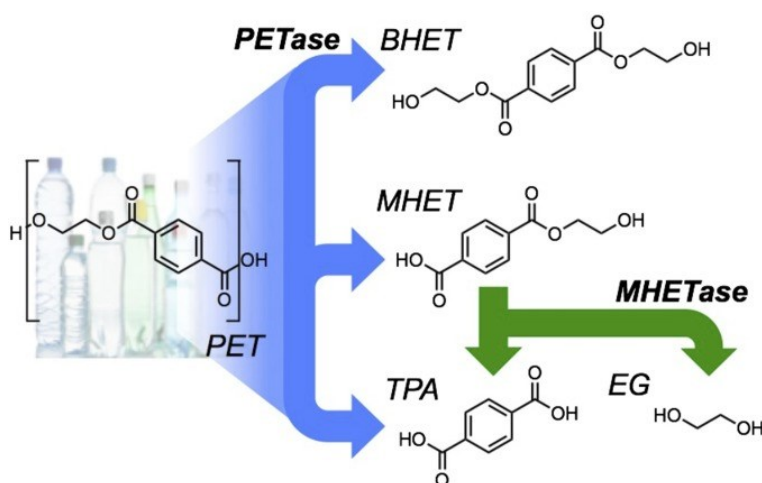
Figura 11 – Mecanismo geral de degradação biológica de plástico em condições aeróbias



Fonte: Adaptado de Mohanan et al. (2020).

Uma das enzimas mais estudadas é a PETase, que é capaz de despolimerizar o PET em três intermediários (Figura 12), Tereftalato de bis-hidroxietila (BHET), Ácido Mono (2-hidroxietil) Tereftálico (MHET) e Ácido Tereftálico (TPA), e utilizando a enzima MHETase e possível despolimerizar o MHET em TPA mais Etilenoglicol (EG), ambos são utilizados para a produção de PET (AUSTIN et al, 2018).

Figura 12 - PETase catalisa a despolimerização de PET em BHET, MHET e TPA. MHETase converte MHET em TPA e EG.



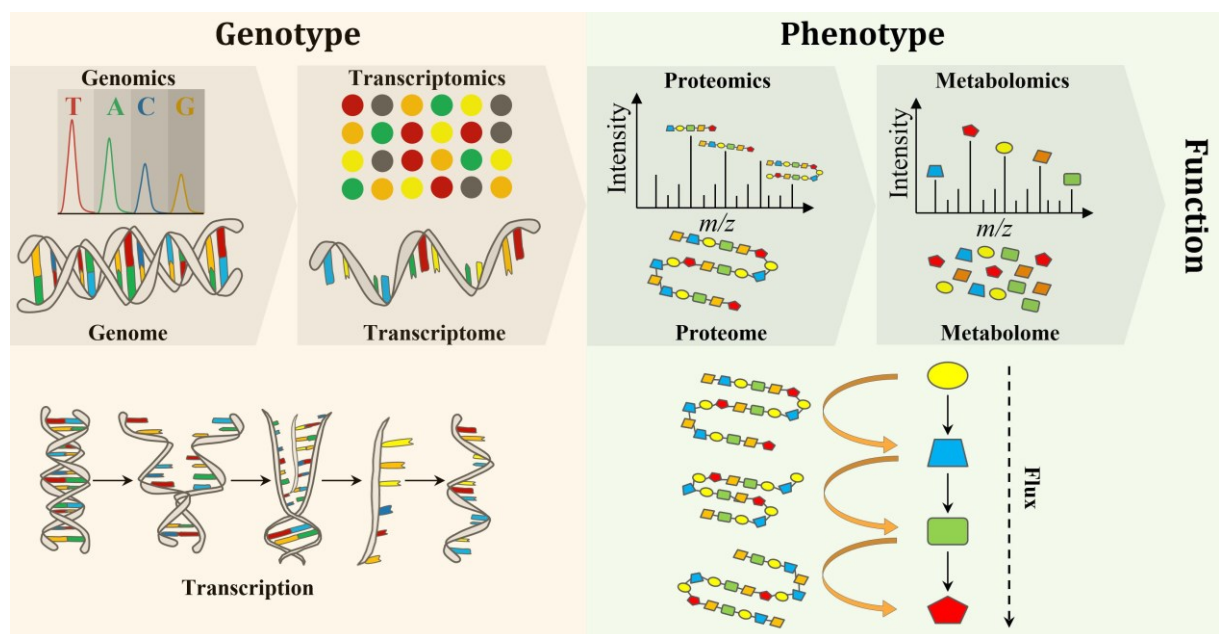
Fonte: Adaptado de Austin et al. (2018).

2.4.3 Biotecnologia guiada pelas “ômicas”

A biofabricação, ou seja, utilização de microrganismo ou parte deles para fabricar bioprodutos é uma etapa chave da biotecnologia no âmbito industrial, seja ela na área de energia, combustível, farmacêutica, cosmética, alimentar, agrícola ou de materiais. Esses bioprodutos podem ser produzidos por organismos encontrados na natureza ou manipulados geneticamente através da engenharia genética, engenharia metabólica, biologia sintética, engenharia de proteína ou outra vertente da biotecnologia. Essas vertentes são guiadas pela parte da ciência denominada de -ômicas, para uma melhor compreensão e definição das redes metabólicas. Dentro dessa parte da ciência (Figura 13), temos a genômica que possui como foco o estudo completo do genoma de um indivíduo; transcriptômica analisando os transcritos do organismo influenciado pela expressão genica; proteômica área que estuda as proteínas produzidas e a metabolômica que compreende o conjunto de metabólitos sintetizados pelo

indivíduo. Desta forma, correlacionando essas áreas torna-se possível a obtenção de produtos que possuam um impacto maior na qualidade de vida dos seres humanos e na natureza, sendo como forma de exemplos, materiais menos tóxicos ao seres vivos, fármacos mais eficientes, agricultura mais sustentável, a diminuição de resíduos poluentes, alimentos mais ricos em nutrientes e resistentes as condições climáticas adversas, entre tanto outros produtos que possuíram uma influência grande na vida de todos os seres vivos e no meio ambiente (WRIGHT et al., 2021; AMER; BAIDOO, 2021; CHENG et al., 2019; ZHAN et al., 2017).

Figura 13 – Interação entre as “ômicas”



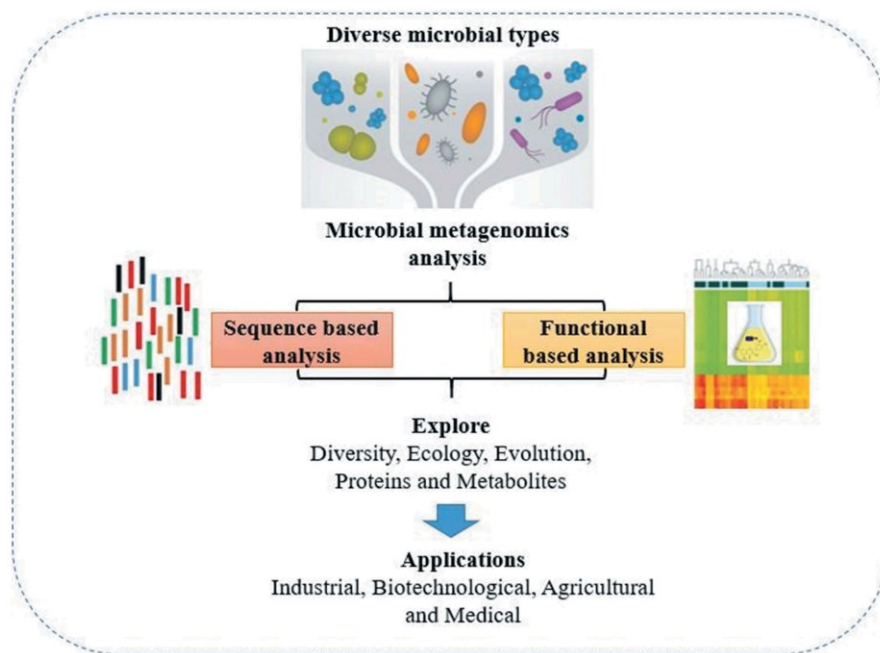
Fonte: Adaptada de Amer; Baidoo (2021).

Essas áreas analisam apenas o indivíduo isolado, as metas -, que corresponde a mesma área de estudo, porém sua diferença está na quantidade de indivíduos analisados. Dessa forma, estudar as características do consórcio de microrganismos, de maneira a encontrarmos diversos indivíduos no mesmo ambiente, como se fosse uma grande sociedade em que cada um exerce seu papel. Somado a isso, os microrganismos tem comportamentos diferentes na cultura e na natureza. Temos então como exemplo a metagenômica (Figura 14), onde é possível analisar o genoma de vários organismos dentro de uma mesma amostra, obter suas funções, explorar seus possíveis usos e aplica-los em prol da espécie humana.

Um ponto relevante na atualidade, foi a utilização da metagenômica e a proteômica para acelerar o processo de desenvolvimento de vacinas eficazes contra a COVID-19, uma vez que, tivemos o surto da pandemia em dezembro de 2019 e no mês de janeiro de 2020 o genoma da

SARS-Cov-2 já estava disponível para pesquisas. Com o estudo da proteômica foi possível fazer o direcionamento da proteína *Spike* que participa dos eventos de infecção como o antígeno viral. Dento em vista esse ponto, a metagenômica e as outras áreas ômicas, podem ser uma grande ferramenta caso ocorra novamente uma outra pandemia ou algum evento que envolva todo o mundo de forma a ser um perigo para a humanidade (AMER; BAIDOO, 2021).

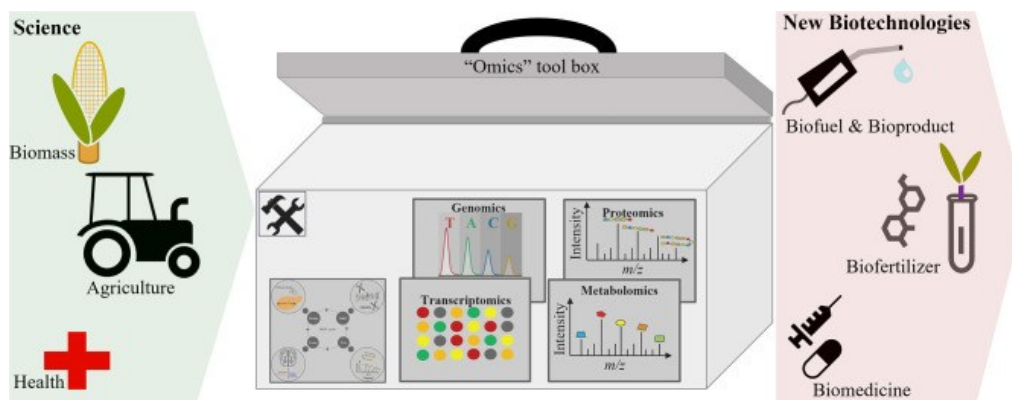
Figura 14 - Apresentação sistemática da metagenômica



Fonte: Adaptado de Awasthi et al. (2020).

Tendo em vista, a dificuldade de cultivar algumas espécies em laboratório, a metagenômica por estudar a função e estrutura do material genético de vários organismos, pode ser utilizada para estudar toda uma comunidade microbiana sem etapa de cultivo, oferecendo assim uma solução para esse empecilho e possibilitando a descoberta de novas enzimas, vias metabólicas e novas sequências genicas. Dessa forma, podemos utilizar as “ômicas” para solucionar problemas presentes em nossa sociedade, e através delas conseguir novos produtos (Figura 15) que melhorem a qualidade de vida, substitutos menos poluentes e recalcitrantes para alguns compostos, um melhor rendimento nos campos de cultivo, entre outras (AMER; BAIDOO, 2021; AWASTHI et al., 2020).

Figura 15 - As abordagens “Ômicas” facilitam o desenvolvimento de novas biotecnologias.



Fonte: Adaptada de Amer; Baidoo (2021).

A partir da imensa quantidade de dados gerados por essas vertentes, permite-se a mineração de informações, que compreende analisar esses dados e selecionar os resultados para uma área específica. Sendo o plástico na atualidade um dos grandes problemas de poluição na natureza e um aumento em sua produção influenciado pela COVID-19, algumas pesquisas procuram soluções para mitigar seu impacto, entre elas a procura por degradadores para esses polímeros (GAMBARINI et al., 2021; WRIGHT et al., 2021).

Quando comparado o número de microrganismo presentes na natureza, uma pequena parte deles demonstra a capacidade de degradar polímeros plásticos, sendo notável um aumento nesse número ao longo do tempo, principalmente de algumas bactérias e fungos. Com os dados obtidos das pesquisas, foi possível analisar a capacidade de degradação de vários tipos de plástico por microrganismos e correlaciona-los filogeneticamente (Figura 16).

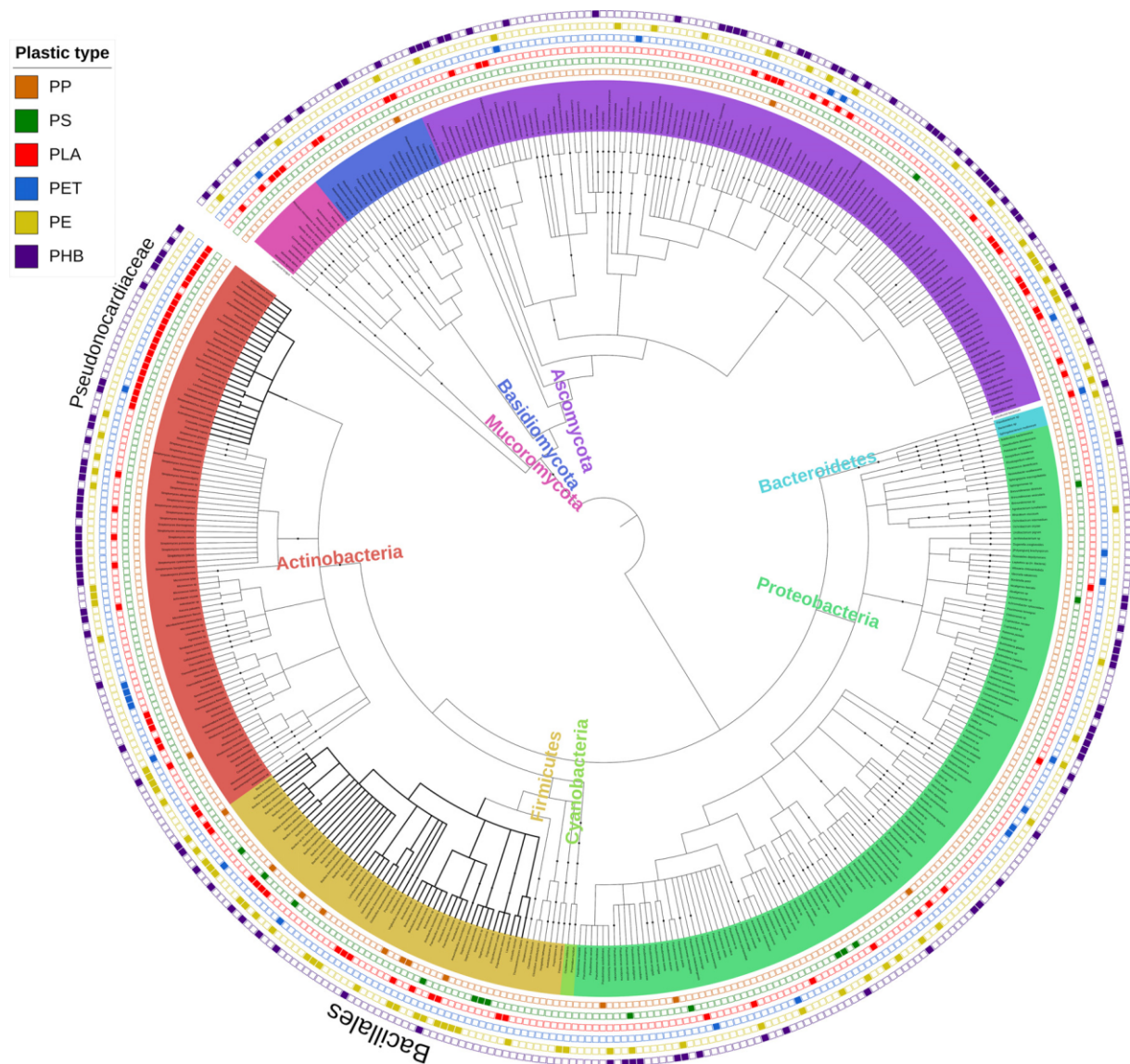
A exploração de novos genomas e a descoberta de novos genes com grande potencial, vem fornecendo a bioprospecção de enzimas, e vias metabólicas para auxiliar na mitigação do impacto do plástico no meio ambiente. Como resultado dessa abordagem, 16.170 supostos genes ortólogos relacionados com a degradação dos polímeros plásticos, dentre eles o biopolímero polihidroxibutirato (PHB) e o polímero sintético tereftalato de polietileno (PET), os quais apresentaram 10.969 e 8.233 genes ortólogos, respectivamente (GAMBARINI et al., 2021).

Como já discutido anteriormente, podemos classificar os polímeros quanto a sua cristalinidade analisando regiões amorfas e cristalinas. Ou seja, número maior de regiões cristalinas resultará em maior rigidez e resistência a degradação por fatores abióticos e bióticos. De forma inversa, um número maior de regiões amorfas, permite mais opções de acesso as enzimas de se ligarem e desfazer as ligações, quebrando assim as cadeias poliméricas. Contudo a maior parte dos plásticos encontrados na natureza são fabricados a partir da forma mais

cristalina do polímero, fazendo com que as enzimas tenham pouca atividade de degradação, exigindo uma breve manipulação anterior do resíduo.

Porém, apesar desse fato indicar pouco eficiência dos microrganismos em degradar vários tipos de derivados plásticos, a partir de sua forma mais utilizada nas indústrias, ainda há possibilidades na manipulação de genes, gerando enzima com uma especificidade do substrato e taxa de degradação maior para os vários tipos de produtos plásticos confeccionados.

Figura 16 - Árvore filogenética mostrando todos os microrganismos identificados como tendo potencial capacidade de degradação de plástico.



Fonte: Adaptada de Gambarini et al. (2021).

3 CONCLUSÃO

Os plásticos realmente têm se mostrado onipresente na vida dos seres humanos; por sua praticidade e versatilidade, sendo aplicado nas mais diversas áreas, da saúde à agricultura. Porém, a utilização desses polímeros ao longo dos anos vem se revelando um problema para o meio ambiente e para a qualidade de vida dos seres vivos, uma vez que, seus resíduos em maior parte vêm sendo depositados no meio ambiente e poluindo os ecossistemas terrestres, aquático e até mesmo aéreo. Resultado da alta recalcitrância à degradação por fatores abióticos e bióticos, sua permanência na natureza torna-se ainda maior.

Durante o ano de 2020 em que o COVID-19 alcançou todo o mundo, deixando de ser uma contaminação local na cidade de Wuhan na China, para ser tornar uma pandemia, muitos hábitos foram mudados, medidas de segurança foram adotadas para conter o seu avanço, um efeito colateral de tais medidas foi o alto da produção de alguns EPI's, a alta demanda do sistema de *delivery* e com isso uma maior produção das embalagens plásticas. Há uma escassez de dados sobre a real produção de plásticos em 2020, visto que esses dados normalmente são encontrados nos bancos de dados no final do ano subsequente, ou seja, no final de 2021. Porém, em todos os estudos de estimativas analisados durante a pesquisa desse trabalho, é perceptível que a produção de plástico está em pleno aumento, podendo alcançar 2,4 mil toneladas no ano de 2024, mesmo que seja para os bioplásticos. Sendo que, influenciado pela pandemia esse número pode ser ainda maior do que foi especulado nas estatísticas aqui analisadas.

Após a análise, pode-se perceber um esforço da comunidade científica em encontrar soluções para uma melhor degradação dos polímeros assim diminuindo o impacto deles nos ecossistemas. Ainda mais após a detecção de MP, ou seja, “materiais feitos pelo homem” compondo a estrutura de placentas humanas. Esse achado, abre um vasto campo de investigações ao entendimento da participação de fragmentos microscópicos de degradação de plásticos e seus percursos trilhados na cadeia alimentar dos seres vivos.

Somado a isso, há também a utilização das “ferramentas” da biotecnologia, principalmente das chamadas ciências ômicas para descobrir novos caminhos para essa degradação, por meio da busca de substitutos poliméricos de menor impacto ao meio ambiente. Entre essas vertentes, a metagenômica consegue estabelecer uma melhor bioprospecção para genes e microrganismos de maneiras mais eficientes, superando alguns desafios como o cultivo de algumas colônias em laboratório. Dessa forma, ainda é necessário muito avanços em termos

de conhecimento, para conseguir diminuir a influência que o plástico tem nos ecossistemas e principalmente na vida humana.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Perfil 2019. **Associação Brasileira da Indústria do Plástico**, v. 6, n. 1, p. 1-46. 2019. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>>. Acesso em 28 fev 2021.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 02 abril 2021.

ACQUAVIA, M. A. et al. Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. **Polymers** vol. 13,1 158. doi:10.3390/polym13010158. 2021.

AMER, B., BAIDOO, E. E. K. Omics-Driven Biotechnology for Industrial Applications. **Frontiers in bioengineering and biotechnology**. vol. 9 613307. 23 Fevereiro. doi:10.3389/fbioe.2021.613307. 2021.

ATLAS DO PLÁSTICO. Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. **Fundação Heinrich Böll**. ISBN / DOI 978-65-87665-02-3. Novembro. 2020. Disponível em: <<https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico/>>. Acesso em 09 março 2021.

AUSTIN, H. P., et al. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** vol. 115, n. 19, p. 350-4357. doi:10.1073/pnas.1718804115. 2018

AWASTHI, M. K. et al. Metagenomics for taxonomy profiling: tools and approaches. **Bioengineered** vol. 11,1, p. 356-374. doi:10.1080/21655979.2020.1736238. 2020.

AXELSSON, C., VAN SEBILLE, E. Prevention through policy: Urban macroplastic leakages to the marine environment during extreme rainfall events. **Marine pollution bulletin**. vol. 124, n.1, p. 211-227. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.07.024. 2017.

BHARDWAJ, H., et al. Communities of Microbial Enzymes Associated with Biodegradation of Plastics. **Journal of Polymers and the Environment**. vol. 21, n. 2, p. 575–579. doi:10.1007/s10924-012-0456-z. 2012

CARAM, R. Estrutura e propriedades dos materiais. Materiais poliméricos. **UNICAMP**. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~caram/8.%20MATERIAIS%20POLIMERICOS%20GRAD.pdf>>. Acesso em 23 de maio de 2021.

CHENG, M. et al. Microbiome Big-Data Mining and Applications Using Single-Cell Technologies and Metagenomics Approaches Toward Precision Medicine. **Frontiers in genetics**. vol. 10 972. doi:10.3389/fgene.2019.00972. Outubro. 2019.

COCCIA, M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. **The Science of the total environment**. v. 729. Agosto, 2020.

COLLIN P. W., CHRISTOPHER M. R. Opinion: We need better data about the environmental persistence of plastic goods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. vol. 117, n. 26, p. 14618-14621. Junho, 2020.

DANSO, D. et al. Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation. **Applied and environmental microbiology**. vol. 85, n. 19, p. e1095-19. Setembro, 2019.

DHAMA, K. et al. Coronavirus Disease 2019-COVID-19. **Clinical microbiology reviews**. vol. 33, n.4, e00028-20. Doi:10.1128/CMR.00028-20. Junho, 2020.

EGGER, M. et al. First evidence of plastic fallout from the North Pacific Garbage Patch. **Scientific reports**. vol. 10,1 7495. doi:10.1038/s41598-020-64465-8. Maio. 2020.

FRIEDE, R. Aumento populacional e degradação ambiental: a conta que não quer fechar. **Revista Augustus**, Rio de Janeiro, vol. 25, n. 52, p. 82-93. Fevereiro. 2021.

GAMBARINI, V. et al. Phylogenetic Distribution of Plastic-Degrading Microorganisms. **mSystems** vol. 6,1 e01112-20., doi:10.1128/mSystems.01112-20. Janeiro. 2021.

HAGE JR., E. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. **Polímeros**. São Carlos, v. 8, n. 2, p. 6-9. Doi:10.1590/S0104-14281998000200003. 1998.

HU, B. et al. The cytokine storm and COVID-19. **J Med Virol**. v. 93, n.1, p. 250-256. Janeiro, 2021.

ISSAC, M. N., KANDASUBRAMANIAN, B. Effect of microplastics in water and aquatic systems. **Environmental science and pollution research international**, 1–19. doi:10.1007/s11356-021-13184-. Março. 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7731724/>>. Acesso em 03 março 2021.

LAMBERT, S.; WAGNER, M. Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. **Freshwater Microplastics**. p.: 1-23. Doi: 10.1007/978-3-319-61615-5_1. 2018.

LEBRETON, L et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. **Scientific reports**. vol. 8,1 4666. doi:10.1038/s41598-018-22939-w. Março. 2018.

LWANGA, E. H., VEGA, J. M., QUEJ, V. K., et al. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. **Scientific reports**. vol. 7, n. 1. doi:10.1038/s41598-017-14588-2. Outubro. 2017.

MACHADO, A. S., Abel et al. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. **Global change biology**. vol. 24, n. 4, p. 1405-1416. doi:10.1111/gcb.14020. 2018.

MOHANAN, N. et al. Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. **Frontiers in microbiology**. vol. 11. Novembro, 2020.

MORADALI, M. F., REHM, B. Bacterial biopolymers: from pathogenesis to advanced materials. **Nature reviews. Microbiology**, vol. 18, n. 4, p. 195–210. Doi: 10.1038/s41579-019-0313-3. 2020.

NATURE. Biotecnologia. **Nature Research**. 2020. Disponível em: < <https://www.nature.com/subjects/biotechnology>>. Acesso em 09 março 2021.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em 02 junho 2021.

NIZZETTO, L, et al. Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin?. **Environ Sci Technol**. vol. 50, n. 20, p. 10777-10779. doi: 10.1021/acs.est.6b04140. Outubro. 2016.

OMS. Banco de dados de poluição do ar ambiente. **Organização Mundial da Saúde**. 2016. Disponível em: < <https://apps.who.int/gho/data/view.main.SDGPM25116v?lang=en>>. Acesso em 09 maio 2021.

PAITAL, B., AGRAWAL, P. K. Air pollution by NO₂ and PM_{2.5} explains COVID-19 infection severity by overexpression of angiotensin-converting enzyme 2 in respiratory cells: a

review. **Environmental chemistry letters**. doi:10.1007/s10311-020-01091-w. Setembro. 2020.

PARASHAR, N., SUBRATA, H. Plastics in the time of COVID-19 pandemic: Protector or polluter?. **The Science of the total environment**. vol. 759, n. 144274. Doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144274. 2021.

PATHAK, V. M., NAVNEET. Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. **Bioresour and Bioprocess**. v. 4, n. 15, 2017.

PITT, F. D, et al. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEDE**, [S.l.], v. 1, nov. 2011. ISSN 2177-742X. Disponível em: <<https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/revistaeletronicadaunifebe/article/view/47>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PLASTICSEUROPE. Plastics - the Facts 2020. Association of Plastic Manufacturers. 2021. Disponível em: <<https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>>. Acesso em 28 fev 2021.

POLLARD, C. A. et al. The COVID-19 pandemic: a global health crisis. **Physiol Genomics**. v. 52, n. 11, p. 549-557. Novembro, 2020.

PRATA, J. C. Airborne microplastics: Consequences to human health?. **Environ Pollut**. vol. 234, p. 115-126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043. Março. 2018.

PRATA, J. C. et al. Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. **International journal of environmental research and public health**. vol. 16,13 2411, doi:10.3390/ijerph16132411. Julho, 2019.

PUROHIT, J. et al. Metagenomic Exploration of Plastic Degrading Microbes for Biotechnological Application. **Current genomics**. vol. 21, n. 4, p. 253-270, 2020.

RAGUSA, A. et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environ Int**. vol. 146:106274. Doi:10.1016/j.envint.2020.106274. 2021.

RHODES, C. J. Plastic pollution and potential solutions. **Sci Prog**. v. 101, n. 3, p. 207-260. Setembro, 2018.

RILLIG, M.C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?. **Environ Sci Technol.** 46(12):6453-4. doi: 10.1021/es302011r. Epub 2012 May 31. PMID: 22676039. Junho. 2012.

SILVA, A. L. P., et al. Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: Policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. **The Science of the total environment.** vol. 742, ISSN 140565. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140565. 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7324921/>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

TAINIO, M., et al. “Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence.” **Environment international.** vol. 147. 105954. doi:10.1016/j.envint.2020.105954. 2021.

UNEP. Urban Air Action Platform. **United Nations Environment Program.** 2020. Disponível em: <<https://www.iaqair.com/unep>>. Acesso em 09 maio 2021.

URBANEK, A. K. et al. Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats. **Applied microbiology and biotechnology.** vol. 102, n. 18, p.7669-7678. doi:10.1007/s00253-018-9195-y. 2018.

USMAN, S. et al. Microplastics Pollution as an Invisible Potential Threat to Food Safety and Security, Policy Challenges and the Way Forward. **International journal of environmental research and public health.** vol. 17,24 9591. doi:10.3390/ijerph17249591. Dezembro. 2020.

VANAPALLI, K. R. et al. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. **The Science of the total environment.** vol. 750. 141514. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141514. 2021.

WEI R., ZIMMERMANN W. Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we? **Microb Biotechnol.** v. 10, n. 6, p. 1308-1322. Novembro, 2017.

WINDSOR, F. M et al. A catchment-scale perspective of plastic pollution. **Global change biology.** vol. 25, n.4, p. 1207–1221. doi:10.1111/gcb.14572. Janeiro. 2019.

WRIGHT, R. J et al. Food or just a free ride? A meta-analysis reveals the global diversity of the Plastisphere. **The ISME journal.** vol. 15,3 p.789-806. doi:10.1038/s41396-020-00814-9. 2021.

ZHANG, Y. P., et al. Biomanufacturing: history and perspective. **Journal of industrial microbiology & biotechnology,** vol. 44, p. 773–784. Doi:10.1007/s10295-016-1863-2. 2017.