



# **Panorama mundial dos ensaios de biodegradabilidade para materiais poliméricos**

Larissa Rodrigues de Souza

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Priscilla Filomena Fonseca Amaral Secca, D.Sc

Tatiana Felix Ferreira, D.Sc

Junho de 2021

# PANORAMA MUNDIAL DOS ENSAIOS DE BIODEGRADABILIDADE PARA MATERIAIS POLIMÉRICOS

*Larissa Rodrigues de Souza*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

Aprovado por:

---

Luan Vieira Brito de Campos, Tec em Processo Químicos

---

Susanne Hoffmann, D.Sc

---

Felipe Sombra dos Santos, D.Sc

Orientado por:

---

Priscilla Filomena Fonseca Amaral Secca, D.Sc

---

Tatiana Felix Ferreira, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Junho de 2021

Souza, Larissa Rodrigues

Panorama mundial dos ensaios de biodegradabilidade para materiais poliméricos/ Larissa Rodrigues de Souza. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021

VI, 30 p.; il.

(Projeto Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadores: Priscilla Filomena Fonseca Amaral Secca e Tatiana Felix Ferreira

1.Biodegradável 2.Ensaio de Biodegradabilidade 3.Polímeros 4.Plásticos 5. Projeto Final de Curso. (Graduação – UFRJ/EQ). 6.Priscilla Filomena Fonseca Amaral Secca 7.Tatiana Felix Ferreira I. Panorama dos ensaios de biodegradabilidade para materiais poliméricos no mundo

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus pela saúde, força, resiliência e coragem principalmente no momento de pandemia que vivemos.

Aos meus pais por todo suporte, amor, incentivo e por acreditarem no meu potencial.

Ao meu irmão que sempre foi um exemplo de determinação e inteligência para mim.

Aos amigos que fiz na graduação tanto da escola de química quanto de outros cursos que me acompanham até hoje, por toda a troca de conhecimentos, dificuldades e histórias vividas por toda a caminhada.

Às Professoras Priscilla Amaral e Tatiana Felix pela disponibilidade em me ajudar e me orientarem com um tema atual e de muita relevância para o mundo.

À UFRJ, por ter me tornado uma pessoa mais humana e com vontade de mudar o mundo através do conhecimento e da ciência.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ESCOLA DE QUÍMICA**



Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia de Bioprocessos.

**PANORAMA MUNDIAL DOS ENSAIOS DE  
BIODEGRADABILIDADE PARA MATERIAIS POLIMÉRICOS**

Larissa Rodrigues de Souza (larissa.souza@eq.ufrj.br)

Junho, 2021

Orientador Responsável: Prof. Priscilla Filomena Fonseca Amaral Secca, D.Sc

Outros Orientadores: Prof. Tatiana Felix Ferreira, D.Sc

O uso desenfreado de materiais poliméricos provenientes de fontes esgotáveis de matéria-prima, gera milhões de toneladas de resíduos que são descartados em locais inapropriados e afetam não apenas o fator econômico, mas também a esfera ambiental. Portanto, para minimizar esses impasses é preciso uma conscientização da população em relação ao consumo e descarte, e faz-se necessário o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis, capazes de serem degradados por microrganismos após o seu uso, formando produtos que podem ser reinseridos no meio ambiente. O desenvolvimento dos polímeros biodegradáveis requer uma correta padronização das metodologias para acompanhamento e confirmação da sua biodegradabilidade. Diante desse contexto esse trabalho visa apresentar o panorama dos ensaios de biodegradabilidade para materiais poliméricos no mundo, compreendendo a metodologia descrita nas normas e suas aplicações, e comparar com o cenário regulatório brasileiro. De acordo com as buscas e análises realizadas, verificou-se uma disparidade entre os modelos de ensaios de biodegradabilidade internacional e nacional. Internacionalmente, os órgãos são mais organizados e tem mais controle sobre os procedimentos adotados, e por consequência, mais laboratórios realizam os ensaios de biodegradabilidade. Enquanto no Brasil, a falta de uma regulamentação mais organizada e ativa, afasta as empresas de atuarem no ramo de ensaios de biodegradabilidade. Mesmo que alguns laboratórios brasileiros realizem esses ensaios, a baixa demanda por esse tipo de serviço em função da escassez de produtos poliméricos com esse perfil, não reforça a necessidade de existirem normas mais rígidas para esse setor.

## ÍNDICE

<b>Capítulo I – Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo II – Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>2</b>
II.1 – Panorama de resíduos sólidos gerados no Brasil.....	2
II.2 – Panorama de resíduos sólidos gerados no Mundo.....	4
II.3 – Biodegradabilidade.....	7
II.3.1 – Definição de Biodegradabilidade.....	7
II.3.2 – Tipos de polímeros biodegradáveis .....	9
II.4 – Órgãos regulatórios.....	10
<b>Capítulo III – Objetivo</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo IV – Metodologia</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo V – Resultados</b> .....	<b>12</b>
V.1 – Mapeamento das normas .....	12
V.1.1 – Normas para ensaios de biodegradação por compostagem .....	13
V.1.2 – Normas para ensaios de biodegradação em solo .....	15
V.1.3 – Normas para ensaios de biodegradação em meio aquoso.....	16
V.2 – Metodologia empregada nos ensaios de biodegradabilidade .....	17
V.3 – Mapeamento das empresas e laboratórios nacionais.....	21
V.4 – Mapeamento das empresas e laboratórios internacionais.....	23
<b>Capítulo VI – Conclusão</b> .....	<b>25</b>
<b>Capítulo VII – Referências Bibliográfica</b> .....	<b>26</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 - Geração de Resíduos sólidos urbanos (RSU) por região em 2010 e 2019 (t/ano). Fonte: Abrelpe (2020). .....	3
Figura 2 - Previsão de crescimento do volume de plásticos. Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation et al. (2016). .....	4
Figura 3 - Distribuição da produção e do descarte de plástico pelo mundo. Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation et al. (2016). .....	6
Figura 4 - Esquema da metodologia utilizada Fonte: Elaboração própria. ....	12
Figura 5 - Sistema do ensaio de biodegradabilidade completo em condições controladas. A- Sistema para a biodegradação geral, B- Sistema de titulação para medição do gás carbônico. Fonte: Elaboração própria. ....	18
Figura 6 - Sistema de biodegradabilidade do tipo respirômetro de medição cumulativa. Fonte: KALE et al. (2007). ....	20
Figura 7 - Analisador de degradação oxidativa microbiana Fonte: KALE et al. (2007). ....	21

## ÍNDICE DE TABELAS,

Tabela 1 - Produção e Reciclagem de polímero no mundo (em toneladas) Fonte: "World Wide Fund For Nature (2021) .....	5
Tabela 2- Tempo aproximado de biodegradação de diferentes tipos de materiais Fonte: ECYCLE (2021).....	8
Tabela 3 - Listagem dos órgãos regulatórios e suas respectivas normas de ensaios de biodegradabilidade. Fonte: Elaboração própria .....	13
Tabela 4 - Diferença entre os tipos de Certificação. Fonte: (SONG, J.H. et al 2009).....	15
Tabela 5 - Lista de empresas que realizam os ensaios de biodegradabilidade, o país em que atua e a norma utilizada. Fonte: Elaboração Própria.....	24



## Capítulo I – Introdução

Os polímeros foram descobertos no século XX e desde então são amplamente usados na nossa sociedade devido a versatilidade do material que permite um amplo uso para aplicações nas indústrias e para o consumo nos mais diversos setores industriais. Pode ser utilizado para embalagem, transporte, eletrônicos, agricultura, assistência médica entre outros. (COUTINHO, 2007). As propriedades que fizeram com que os materiais poliméricos fossem amplamente utilizados, como a durabilidade e a tenacidade, são as mesmas que ameaçam o meio ambiente por serem resistentes à degradação (PLASTIC EUROPEAN, 2021).

Com o avanço da tecnologia é comum que os produtos fiquem obsoletos rapidamente, com novas versões mais atualizadas surgindo a todo o momento, incentivando a compra de novos produtos mais modernos. Este consumo desenfreado não afeta apenas o fator econômico, mas também a esfera ambiental. Além, de incentivar a exploração de recursos naturais como matéria-prima para que se tenha uma maior produtividade, já que a maioria dos produtos consumidos são provenientes de fontes esgotáveis de matéria-prima, mais resíduos também são gerados e descartados, tanto durante a produção desse artefato quanto ao final do seu uso pelo consumidor (SHEN, 2020).

Tem-se um número alarmante na produção de polímeros, o aumento de 20 vezes nos últimos 50 anos, chegando a 311 milhões de toneladas em 2014 e a tendência é que ela dobre nos próximos 20 anos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION et al., 2016). No mar é possível encontrar detritos onde 40-80% são materiais poliméricos, sendo grande parte deles embalagens, sacolas, calçados, isqueiros e outros itens domésticos (BARNES, 2009). Os plásticos de vida útil curta e de uso único, são elaborados para serem utilizados uma vez e serem descartados, (DALBERG,2019). Algumas medidas como a proibição de canudos e copos de plásticos e limites de plástico, como a cobrança de sacolas plásticas no mercado, foram implementadas para tentar conter o alto consumo e conseqüentemente descartes desse material (SHEN, 2020).

Visando diminuir a poluição do meio ambiente e melhorar a degradação desses produtos de forma que eles sejam absorvidos novamente pelo ecossistema mitigando eventuais danos ao meio ambiente, são sugeridas a redução do consumo de plástico tradicional de base fóssil, já que esses são muito utilizados em embalagens de uso único, e o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis que tenham as propriedades necessárias para o uso do polímero convencional e que seja degradado de forma correta em condições ambientais naturais (SHEN,2020).

O desenvolvimento de polímeros biodegradáveis requer uma correta padronização de metodologias para analisar sua biodegradabilidade que permitam normatização, fiscalização e uso adequado desses materiais. Essas metodologias já vêm sendo estabelecidas em diversos países, como EUA e Alemanha, mas ainda é dispersa no Brasil. Dessa forma, o presente trabalho visa mapear informações sobre os ensaios mais utilizados no mundo para analisar a biodegradabilidade de polímeros e compreender a realidade no Brasil.

## **Capítulo II – Revisão Bibliográfica**

### **II.1 – Panorama de resíduos sólidos gerados no Brasil**

A gestão de resíduos sólidos é um tema muito atual, complexo, abordado em todo o mundo e está atrelada às diretrizes da Política Nacional de resíduos sólidos (PNRS) que foram instituídas em 2010 pela lei nº 12.305. Essa lei dispõe de objetivos, princípios e instrumentos para gestão de resíduos sólidos, válidos para pessoas físicas e jurídicas, integrada com gerenciamento ambiental (BRASIL, 2010).

A Abrelpe, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, responsável pelo fortalecimento do mercado de gestão de resíduos, destina esforços para a gestão com intuito de melhorar a atuação de empresas desse setor com interesse de preservar o meio ambiente. Com isso, foi publicado um panorama com a comparação entre o ano de 2010 e 2020 sobre a geração e coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) pelo Brasil, em que são mostradas as contribuições dos resíduos por regiões.

No Brasil foram geradas aproximadamente 67 milhões de toneladas em 2010 e 79 milhões de toneladas em 2019 de RSU, sendo a região sudeste a maior contribuinte para esse crescimento, alcançando quase 50% da geração do país (ABRELPE, 2020) como mostra a Figura 1.

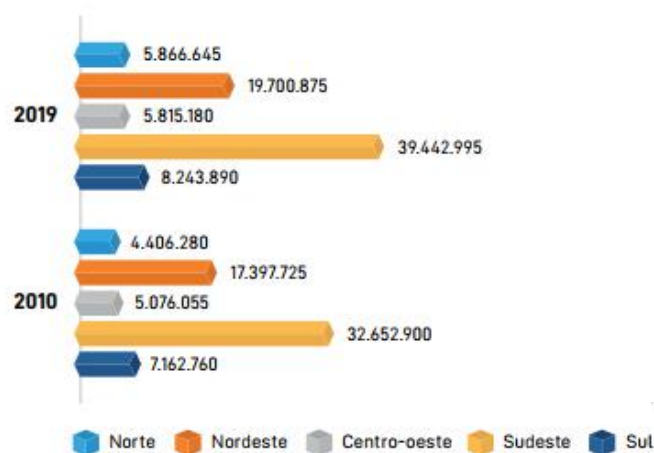


Figura 1 - Geração de Resíduos sólidos urbanos (RSU) por região em 2010 e 2019 (t/ano). Fonte: Abrelpe (2020).

Foi observado que 88% do RSU foi coletado em 2010, aumentando para 92% em 2019, um aumento de 4% em quase 10 anos, enquanto o aumento do RSU gerado foi de 18,5%. Além disso, a atividade de coleta seletiva em 2019 foi realizada em 4.070 municípios de um total de 5.570 e mesmo assim essas coletas não são contempladas em todas as áreas desses municípios. Sendo assim, a destinação final de grande parte desses resíduos ocorre em locais inadequados (lixões e aterros controlados), produzindo grandes impactos ambientais e à nossa saúde, causando um custo de mais de 1 bilhão de dólares por ano para o tratamento ambiental e da saúde (ABRELPE, 2020).

Em 2020, 79,6 milhões de toneladas de RSU foram produzidos, sendo 13,35 milhões de toneladas de plástico, o que corresponde a 16,8% do total e se esse padrão continuar em uma curva crescente, daqui a 30 anos essa produção alcançará 100 milhões de toneladas (ABRELPE, 2020). Segundo um levantamento de dados com 200 países realizado pelo WWF (WORLD WIDE FUND FOR NATURE), cerca de 11,3 milhões de toneladas de plásticos são gerados no Brasil e segundo dados do banco mundial somos o 4º maior produtor de lixo plástico em todo o mundo (WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2019).

Portanto, nota-se que são necessárias medidas mais rígidas e a conscientização da população para a coleta seletiva, a reciclagem e o consumo de matérias biodegradáveis, em resposta a urgência sobre as consequências que esses resíduos podem produzir em nossas vidas.

## II.2 – Panorama de resíduos sólidos gerados no Mundo

No mundo a produção de produtos poliméricos tem sido estimulada devido ao baixo custo e alta versatilidade. Desde o ano 2000 essas características para utilização dos polímeros tem sido um fator estimulante para a fabricação de produtos descartáveis que são consumidos, em sua maioria, em países de renda alta, e se tornam resíduos sólidos em um curto período. Se o ritmo de produção, consumo e descarte continuarem a poluição por polímeros no planeta dobrará até 2030 e a poluição em mares será visivelmente a mais afetada, já que o crescimento do consumo de polímeros é maior que o tratamento de resíduos (DALBERG ADVISORS, 2019). Aproximadamente 8 milhões de toneladas de polímeros poluem os oceanos por ano e se nenhuma ação for tomada em 2050 poderemos ter mais polímeros do que peixes nos oceanos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION ET AL., 2016), como mostra a Figura 2.



Figura 2 - Previsão de crescimento do volume de plásticos. Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation et al. (2016).

É estimado que pelo menos 75% do polímero produzido nos últimos anos já tenha se tornado lixo e um terço desse resíduo, aproximadamente 100 milhões de toneladas, tenha sido descartado no mar, nos rios e nos solos. Esse resultado acontece devido à má gestão dos resíduos sólidos que vão parar em locais não controlados, locais abertos, nas ruas e sem coleta (DALBERG

ADVISORS, 2019). Segundo o levantamento de dados do Banco mundial pelo WWF, os Estados Unidos são os maiores produtores de resíduos sólidos polímeros do mundo com aproximadamente 71 milhões de toneladas com 34,6% de reciclagem sobre o material produzido como mostra a Tabela 1 (WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2019).

Tabela 1 - Produção e Reciclagem de polímero no mundo (em toneladas) Fonte: "World Wide Fund For Nature (2021)

País	Total de lixo polimérico gerado*	Total incinerado	Relação Incinerado/ produção	Total Reciclado	Relação reciclagem/ produção
<b>Estados Unidos</b>	70.782.577	9.060.170	12,80%	24.490.720	34,60%
<b>China</b>	54.740.659	11.988.226	21,90%	12.000.331	21,92%
<b>Índia</b>	19.311.663	14.544	0,08%	1.105.677	5,73%
<b>Brasil</b>	11.355.220	0	0,00%	145.043	1,28%
<b>Indonésia</b>	9.885.081	0	0,00%	362.070	3,66%
<b>Rússia</b>	8.948.132	0	0,00%	320.088	3,58%
<b>Alemanha</b>	8.286.827	4.876.027	58,85%	3.143.700	37,94%
<b>Reino Unido</b>	7.994.284	2.620.394	32,78%	2.513.856	31,45%
<b>Japão</b>	7.146.514	6.642.428	92,97%	405.834	5,68%
<b>Canadá</b>	6.696.763	207.354	3,10%	1.423.139	21,25%

EUA e Europa concentram a maioria das multinacionais e grandes empresas globais onde são tomadas as decisões sobre a produção de polímero. Já a Ásia lidera o descarte de polímeros nos oceanos com 80% do total dos vazamentos e juntos são responsáveis por 85% da produção de polímeros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION ET AL., 2016), como mostrado na Figura 3.

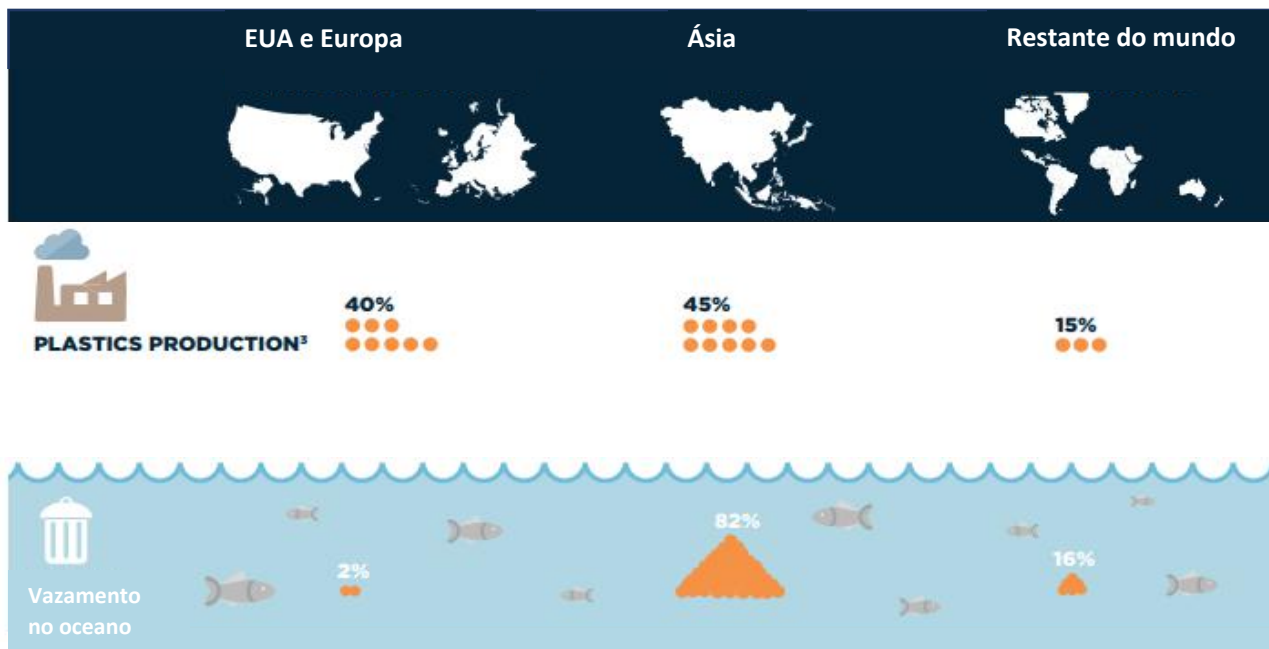


Figura 3 - Distribuição da produção e do descarte de plástico pelo mundo. Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation et al. (2016)

Nos oceanos grande parte dos resíduos sólidos ao se degradarem acabam formando microplásticos que ficam presos em redemoinhos formados por correntes criadas por ventos circulantes. São, então, formados giros de polímeros e atualmente existem cinco principais “ilhas de plásticos” espalhadas pelo oceano: duas no oceano Pacífico, duas no oceano Atlântico e uma no oceano Índico (TROWSDALE A et al. 2017). É possível encontrar plásticos de diversos tamanhos, mas a maior concentração é constituída de microplásticos (0,05-0,5cm) que não são facilmente visíveis ao olho humano (THE OCEAN CLEAN UP,2021). Como uma consequência negativa essas ilhas comprometem a reprodução da vida marinha, a subsistência de comunidades que vivem da pesca e afetam o aquecimento global. Outro fator preocupante é consumo de plásticos por peixes, que não diferenciam resíduos orgânicos de microplásticos, e são pescados para consumo humano, por fim entram em nossa cadeia alimentar incluindo toxinas que podem promover o desenvolvimento de doença cancerígena ao ser ingerido (SEA SAVE, 2021).

## II.3 – Biodegradabilidade

### II.3.1 – Definição de Biodegradabilidade

A definição de biodegradabilidade é incipiente uma vez que depende do meio em que acontecerá essa degradação. Em ambientes abertos, por exemplo, o controle dos parâmetros, temperatura, umidade e pH (AHMED, 2018) é complexo, e, portanto, um material pode sofrer diferentes transformações em taxas bem distintas dependendo do local, época do ano, clima, entre outros fatores, além de variar também com as características do polímero, como estrutura molecular e formato do artefato (EMADIAN, 2017). Considerando um ambiente controlado, segundo o IBAMA (IPT, 2014), a biodegradabilidade é a propriedade de uma substância orgânica ser metabolizada, ou seja, consumida por microrganismos presentes no meio ambiente, levando à formação de dióxido de carbono, água e biomassa, e assim esses produtos formados podem ser reinseridos à natureza sem que tenham produção de substâncias tóxicas, o que torna o processo vantajoso para o meio ambiente.

Os microrganismos mais comuns para a biodegradação são fungos e bactérias, que utilizam o material a ser biodegradado como fonte de carbono, e são isolados do solo, água do mar, água de rios e outros ambientes. Entre as espécies de actinobacteria, os gêneros mais comuns são: *Amycolatopsis* e *Streptomyces*. Entre as espécies bacterianas, utiliza-se geralmente espécies dos gêneros *Paeniballus*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Bulkholderia* e entre os fungos filamentosos, *Fusarium* e *Penecillium*. são os gêneros mais comuns encontrados na biodegradação (EMADIAN, 2017).

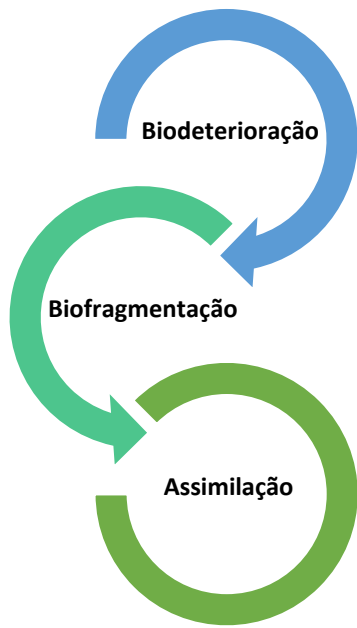
Outro termo também empregado é o “prontamente biodegradável” que é o material que, em condições controladas, sofre degradação de pelo menos 60% em um período de até 28 dias, que pode ser interrompido antes desse prazo caso o processo chegue em um platô. O material que não apresenta esse resultado não é classificado como biodegradável mesmo que ele se degrade em um tempo muito longo, como por exemplo, miolo de maçã, caixa de papelão e jornal, como mostra a Tabela 2

Tabela 2- Tempo aproximado de biodegradação de diferentes tipos de materiais Fonte: ECYCLE (2021).

<b>Produtos</b>	<b>Tempo para biodegradação</b>
<b>Papel toalha</b>	2 a 4 semanas
<b>Jornal</b>	6 semanas
<b>Miolo de maçã</b>	2 meses
<b>Caixa de papelão</b>	2 meses
<b>Caixa de leite revestida de cera</b>	3 meses
<b>Luvras de algodão</b>	1 a 5 meses
<b>Luvras de lã</b>	1 ano
<b>Madeira compensada</b>	1 a 3 anos
<b>Madeira pintada</b>	13 anos
<b>Sacos de plástico</b>	10 a 20 anos
<b>Latas</b>	50 anos
<b>Fraldas descartáveis</b>	50 a 100 anos
<b>Garrafa de plástico</b>	100 anos
<b>Latas de alumínio</b>	200 anos

A biodegradação pode ser anaeróbica (sem a presença de oxigênio) ou aeróbica (na presença de oxigênio), sendo determinada pela produção de dióxido de carbono liberado, oxigênio consumido, oxigênio dissolvido ou carbono orgânico dissociado. A biodegradação de polímeros pode ser dividida em 3 etapas:





- fase em que acontece a alteração das propriedades químicas, físicas e mecânicas do material e é marcado pela despolimerização por hidrólise enzimática ou peroxidação de polímeros;

- fase em que o polímero é reduzido a um formato menor (oligômeros e monômeros);

- fase em que os microrganismos absorvem a matéria polimérica da fase anterior e convertem em biomassa, gás carbônico e água

(EMADIAN, 2017; HARRISON,2018).

### II.3.2 – Tipos de polímeros biodegradáveis

Os polímeros biodegradáveis podem ser classificados como: polímeros de base biológica ou polímeros de fonte de fósfil, como se segue (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2021):

- Polímeros biodegradáveis de fonte fósfil: policaprolactona (PCL), succinato de polibutileno (PBS) e tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT) (RUJNIC-SOKELE, 2017).
- Polímeros biodegradáveis de base biológica: podem ser produzidos por sistemas biológicos (microrganismos, plantas ou animais), por exemplo, poli-hidroxicanoatos (PHAs), incluindo poli ( $\beta$ -hidroxibutirato) (PHB), ou quimicamente sintetizados a partir de recursos renováveis como açúcar, milho e amido, por exemplo o poli (ácido láctico) (PLA). (Niaounakis, 2015).

Alguns polímeros biodegradáveis de base biológica ainda podem ser considerados polímeros absorvíveis, por serem biocompatíveis com as vias metabólicas do organismo humano e animal, assim são utilizados em próteses para estratégias de regeneração óssea, por exemplo. (SULTANA, 2012).

Há também os biopolímeros verdes, que não são biodegradáveis, mas por serem provenientes de fontes renováveis são caracterizados como verdes, eles têm as características dos polímeros de fonte fóssil, como o PE e o PVC, mas são sustentáveis e produzem menor impacto ao meio ambiente. O primeiro polietileno verde fabricado a partir da cana de açúcar foi na empresa brasileira Braskem (BRITO, 2011). Todas as etapas do processo devem respeitar os princípios do desenvolvimento sustentável, como por exemplo na sua produção onde é utilizado o gás carbônico da atmosfera, cooperando para a redução de gases do efeito estufa. (BRASKEM)

#### II.4 – Órgãos regulatórios

Os órgãos regulatórios são importantes para garantir a padronização e a qualidade dos ensaios de biodegradabilidade que podem ser realizados por diversos laboratórios e empresas ao redor do mundo. Atender uma normativa significa que independentemente do local que seja feito esse ensaio, as regras e processos de formulação descritos na norma escolhida serão reproduzidos (ABNT, 2021).

As principais normas internacionais são apresentadas pelo Comitê Europeu de Normalização (CEN), que engloba 27 países europeus (CEN, 2021) e possui acordos e cooperação técnica com a ISO (*International Organization for Standardization*). A ISO compartilha conhecimento e desenvolve normas internacionais relevantes para compreender e comunicar como os padrões apoiam o desenvolvimento econômico e proteção ambiental (ISO, 2021). Ainda na Europa tem-se o Instituto Alemão para Normatização (DIN, em inglês *German Institute for Standardization*), que é o órgão alemão que apresenta um programa chamado *DIN-Gepprüft Biobased* apenas para produtos de origem biológica, Organismo Nacional de Normas do Reino Unido (BSI, em inglês *British Standards Institution*), na França a Associação Francesa de Normalização (AFNOR, em inglês *French Association for Standardization*) e a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM, em inglês *American Society for Testing and Materials*), que tem um papel relevante na contribuição mundial de normas e tem um papel dominante no desenvolvimento de padrões norte americano (ISO MEMBROS,2021).Por fim, no Brasil o órgão que é responsável pelas normas é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que

representa a ISO e cuida das normatizações no Brasil onde propõe formas de sistematizar processos (ABNT, 2021).

### **Capítulo III – Objetivo**

O objetivo desse trabalho é apresentar o panorama dos ensaios de biodegradabilidade para materiais poliméricos no mundo, suas aplicações e normas, e comparar com o cenário regulatório brasileiro.

Objetivos específicos:

- Mapeamento das normas utilizadas para os ensaios de biodegradabilidade de materiais poliméricos;
- Compreensão e descrição da metodologia descrita para os ensaios de biodegradabilidade nas normas listadas
- Panorama Mundial de empresas e laboratórios que realizam os ensaios de biodegradabilidade de materiais poliméricos segundo as normas existentes;
- Panorama Brasileiro de empresas e laboratórios que realizam ensaios de biodegradabilidade de materiais poliméricos segundo as normas existentes.

### **Capítulo IV – Metodologia**

Para a etapa de busca das normas publicadas para os ensaios de biodegradabilidade foram utilizados sites dos órgãos regulatórios brasileiros ABNT, INMETRO e ANVISA, internacionais ISO, EN, DIN e ASTM.

Pra realizar as buscas relacionadas as empresas e laboratórios internacionais que fazem o ensaio de biodegradabilidade, foram utilizadas plataformas de instituições WEF (<https://www.weforum.org/>), *Plastic Europe* (<http://www.plasticseurope.org/>), JBPA (<http://www.jbpaweb.net/english/>), *European bioplastics* (<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>) e ABIPLAST(<http://www.abiplast.org.br/>). O panorama brasileiro foi mapeado através do contato com profissionais da área e empresas que trabalham na produção de biopolímeros. A busca inicial foi realizada no site da Profissão Biotec (<https://www.mapa.profissaobiotec.com.br/>), que direciona para o site de possíveis laboratórios de pesquisas que atuam no Brasil.

Para buscar as metodologias descritas nas normas listadas foram utilizadas plataformas de pesquisas como *Science Direct* (<https://www.sciencedirect.com/>), *NCBI* (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), *Research Gate* (<https://www.researchgate.net/>) e o site do periódico *capes* em busca de artigos científicos utilizando as palavras-chaves: “Biodegradable”, “plastics”, “compostable”, “polymers”, “standards”. Outras normas previamente não mapeadas também foram encontradas.

Dessa forma, com os dados e normas compilados foi possível fazer uma análise do panorama internacional e nacional das empresas que realizam os ensaios normatizados de biodegradabilidade de materiais poliméricos, e em seguida, compreender a metodologia empregada nesses ensaios como mostra a Figura 4.

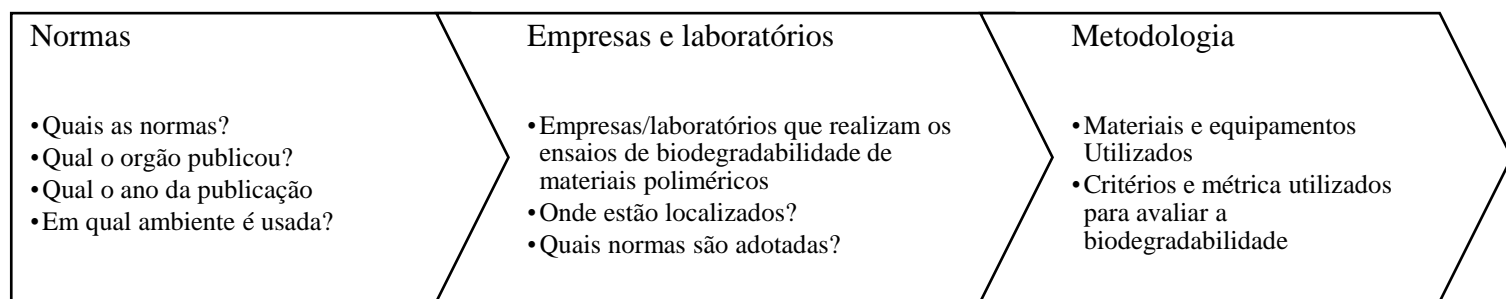


Figura 4 - Esquema da metodologia utilizada Fonte: Elaboração própria.

## Capítulo V – Resultados

### V.1 – Mapeamento das normas

A Tabela 3 apresenta uma lista com as normas para ensaios de biodegradabilidade e os países onde são utilizadas. Nas normas relacionadas aos ensaios de biodegradação estão descritos os detalhes que devem ser utilizados para o controle de pH, temperatura, quantificação de inóculo, ambiente que será utilizado e as técnicas de avaliação da degradação para o diagnóstico e conferência se o produto se adequa às normas de biodegradabilidade de polímeros que é exigida por determinado país ou está seguindo normas internacionais. As normas mapeadas são utilizadas, principalmente, de acordo com a estrutura físico-química do material e o ambiente que será feita a testagem.

Tabela 3 - Listagem dos órgãos regulatórios e suas respectivas normas de ensaios de biodegradabilidade.

Fonte: Elaboração própria

<b>Órgão regulatórios</b>	<b>País</b>	<b>Normas</b>
ABNT	Brasil	ABNT NBR 15448-1:2008 ABNT NBR 15448-2:2008
EN	Europa	EN 13432 EN 14995
ASTM	EUA	ASTM D6400 ASTM D5338 ASTM D7473 ASTM D7991 ASTM D6691
ISO	Internacional	ISO 14851 ISO 14852 ISO 14853 ISO 14855-1 ISO 14855-2 ISO 17088 ISO 18830 ISO 19679

A descrição das normas e todos os detalhes dos ensaios de biodegradabilidade podem ser encontradas e adquiridas nos sites dos órgãos regulatórios onde elas são desenvolvidas e publicadas, qualquer pessoa que tenha interesse pode comprar e ter as versões online. Nos próximos subitens serão descritas algumas das normas mais utilizadas.

#### **V.1.1 – Normas para ensaios de biodegradação por compostagem**

A norma EN 13432:2000, citada como "Embalagem - Requisitos para embalagens recuperáveis por compostagem e biodegradação - Esquema de ensaio e critérios de avaliação para aceitação final da embalagem" (CEN, 2021) abrange além da biodegradação outros 4 tipos de requisitos que devem ser adotados para que o ensaio esteja dentro da norma, são eles:

1) O material será considerado biodegradável caso a conversão do material orgânico pela ação de microrganismos em dióxido de carbono, água e biomassa ocorra em um intervalo até 6 meses, com 90% de dióxido de carbono liberado pelo material de referência.

2) É necessário que ocorra a desintegração durante o tratamento biológico: a mistura do material com resíduos orgânicos é mantida em condições de compostagem em escala de ensaio por 12 semanas, período após o qual não mais do que 10% dos fragmentos de material são permitidos ser maiores que 2 mm.

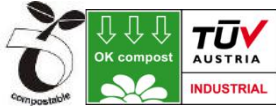

3) É exigido que se tenha baixos níveis de metais pesados: os limites superiores, em mg/kg de amostra seca, são: zinco 150, cobre 50, níquel 25, cádmio 0,5, chumbo 50, mercúrio 0,5, cromo 50, molibdênio 1, selênio 0,75, arsênio 5 e fluoreto 100.

4) O material compostado não deve ter efeito adverso nas características de densidade aparente, pH, salinidade (condutividade elétrica), sólidos voláteis, nitrogênio total, fósforo total, magnésio total, potássio total e nitrogênio amônio do composto (BPF, 2021).

Como a norma EN 13432 exclui polímeros que não sejam embalagens, a norma EN 14995 citada como “Plásticos. Avaliação da compostabilidade. Esquema de ensaio e especificações” é utilizada por englobar todos os materiais poliméricos e do ponto de vista técnico o ensaio possui os mesmos critérios que a norma EN 13432 (ECOZEMA, 2021).

Na Tabela 4 tem-se a diferença dos critérios utilizados para certificação em duas situações distintas: uma seria a compostagem industrial, em que a temperatura é maior - em torno de 58 °C - o tempo de ensaio é de 182 dias em média e é usada a norma EN 13432; a outra é uma compostagem doméstica que ocorre em temperatura ambiente, para a qual não existe uma norma definida internacionalmente (BPF, 2021). A certificação é emitida para os produtos para que os consumidores possam distinguir os biopolímeros dos polímeros convencionais e possam realizar a compostagem. Para a compostagem industrial temos o selo testado pela certificadora belga TÜV Austria Belgium e pela certificadora alemã DIN CERTCO.

Tabela 4 - Diferença entre os tipos de Certificação. Fonte: (SONG, J.H. et al 2009)

	<b>Compostagem industrial (EN 13432)</b>	<b>Compostagem doméstica (certificação vincotte)</b>
Biodegradação	ensaio a 58 °C em 180 dias biodegradação mín. 90%	ensaio a 20-30 ° C em 365 dias biodegradação mín. 90%
Desintegração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ensaio a 58 ° C em 84 dias</li> <li>• peneira malha de 2 mm desintegração &gt; 90</li> <li>• máx. 10% do peso seco pode ser retido por uma peneira de 2 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ensaio a 20-30 ° C em 180 dias</li> <li>• peneira malha de 2 mm desintegração &gt; 90%</li> <li>• máx. 10% do peso seco pode ser retido por uma peneira de 2 mm</li> </ul>
Empresa que confere a certificação	Din Certco / OK Compost 	OK Home 

A norma americana ASTM D6400, citada como uma especificação padrão de rotulagem de plásticos projetados para serem compostados aerobicamente em instalações municipais ou industrial é equivalente a ISO 17088, pertencente à norma internacional, e são utilizadas como substituta da norma EN 13432 (ASTM D6400, 2019).

### V.1.2 – Normas para ensaios de biodegradação em solo

Um dos requisitos das normas citadas no item V.1, que são empregadas para compostagem e biodegradabilidade, é a utilização do método ASTM D5338 para avaliar se o polímero é biodegradável, medindo o gás carbônico por meio de um ensaio sob condições compostagem aeróbica em instalações industriais ou municipais em grande escala de forma controlada e em temperaturas termofílicas (ASTM D5338-15, 2021). Nesse método, as amostras são pesadas antes e expostas às condições de compostagem a, pelo menos, 58 °C e 50% de umidade, e caso seja alcançado o valor de 60% na conversão do dióxido de carbono, o material é dito como

biodegradável. Esse método é equivalente à ISO 14855-1, exceto pelo valor de conversão de dióxido de carbono que neste caso é de 90%.

A ISO 14855 é a determinação aeróbia de materiais plásticos sob condições de compostagem controladas e pode ser ramificada em duas vertentes que são diferenciadas pela quantidade da amostra necessária para fazer o ensaio e pelo método utilizado na medição de dióxido de carbono. Na norma 14855-1 é usada em escala piloto, o método de medição é por análise de dióxido de carbono e são necessários 50 g de amostra por medição, totalizando 150 g por ser realizada em triplicata; enquanto para a norma 14855-2 é para escala de laboratório, a medição é feita por gravimetria e precisa de 10 g por amostra, com total de 30 g (FUNABASHI et al, 2009, ISO 14855-1: 2012, ISO 14855-2: 2018).

### **V.1.3 – Normas para ensaios de biodegradação em meio aquoso**

Para determinação em meio aquoso com lodo de esgoto utiliza-se a norma regional ASTM D5210, muito semelhante ao OECD 311, que simula um reator biológico anaeróbio geralmente usado no tratamento de produtos químicos da água que não foram digeridos pelo reator aeróbico (Respirtek,2020) e como similar foi publicada a ISO 14853 que usa como método de medição a produção de biogás. (HARRISON et al, 2018, ISO 14853:2016).

Ainda em meio aquoso são utilizadas para determinação da biodegradabilidade aeróbia final de materiais poliméricos as normas ISO 14852:2018 e a ISO 14851:2019, que são equivalentes sendo diferenciadas apenas pelo método de medição para análise da biodegradabilidade, onde a ISO 14852: 2018 utiliza o método por análise de dióxido de carbono liberado e a ISO 14851: 2019 utiliza o método medindo a demanda de oxigênio em um respirômetro fechado.

Para ambientes marinhos são empregues as normas ASTM D6691-09, ASTM D7473, ASTM D7991-15; ISO 18830 e ISO 19679. As normas internacionais publicadas para ensaios entre superfícies arenosa e a água do mar para materiais não flutuantes, são a ISO 18830 que usa o método de medição a demanda de oxigênio em respirômetro fechado (ISO 18830:2016), a ISO 19679 usa a medição por análise de dióxido de carbono liberado (ISO 19679:2020) e a norma ASTM D7473 é baseada em resultados visuais de biodegradação (ASTM D7473). A ASTM D7991-15 foi publicada para avaliar biodegradabilidade de plásticos enterrados em sedimentos



marinhos arenosos (ASTM D7991-15) por isso é coletado cinco semanas antes do uso para fazer o soterramento da amostra (HARRISON et al, 2018).

Existe uma variedade muito grande de normas relacionados aos ensaios de biodegradabilidade, mas devido à alta variabilidade do ecossistema natural e a escassez de pesquisas com amplos materiais, as mesmas são insuficientes para a realidade da biodegradabilidade, principalmente para ambientes aquáticos e os padrões de biodegradabilidade para ambientes marinhos de água salobra, pobre em nutrientes, alto mar de temperaturas baixas ou anaeróbicas é inexistente. (HARRISON et al, 2018)

## V.2 – Metodologia empregada nos ensaios de biodegradabilidade

Para a realização do ensaio de biodegradação aeróbica de poliméricos sob condições controladas de compostagem e medição da evolução do gás carbônico, é necessário o preparo do inóculo microbiano, que pode ser obtido de uma pilha de compostagem com madeira, restos de compostos orgânicos agrícolas maduros por 3 meses, ou lodo ativado (HARRISON et al, 2018; LEEJARKPAI, 2011), e peneirado para remoção de inertes. Em alguns casos são adicionados vermiculita, para reter umidade e fornecer melhor aeração ao composto (KALE, 2007). O material polimérico pode ser cortado, no tamanho de aproximadamente 2 por 2 cm ou triturado e, em seguida, peneirado. Em seguida, a amostra é misturada ao inóculo e adicionados ao biorreator. Nos métodos descritos na literatura são usadas amostras que servem de controles para que se possa garantir a execução correta e para que ocasionalmente o erro possa ser identificado à medida que haja alguma alteração no experimento a partir do que já é conhecido. Para os controles positivos são utilizados materiais biodegradáveis, por exemplo, a celulose microcristalina (MCE) e, para os controles negativos, que são utilizados em alguns casos, utiliza-se, por exemplo, o polietileno (LEEJARKPAI, 2011). São usados 9 biorreatores, sendo 3 controles positivos - a celulose como referência - 3 amostras do material que é avaliado e 3 brancos, adicionando o inóculo em cada um para a medição da respiração (KALE, 2007). O sistema funciona com o ar comprimido injetado em um sistema que deve capturar o gás carbônico presente. Em seguida, o ar passa por água deionizada para manter o nível de umidade em torno de 55% (LEEJARKPAI, 2011). O ar é, então, direcionado para o biorreator de vidro de 2 litros (Diâmetro do reator: 0,14 m), que é monitorado e controlado a uma temperatura em torno de 58 °C. O gás liberado pela biodegradação da amostra

é capturado para um sistema de medição da quantidade de gás carbônico liberado pela biodegradação feita pelos microrganismos através da oxidação da glicose. A Figura 5 ilustra o procedimento descrito, no qual tem-se a captação do gás carbônico em uma solução contendo hidróxido de sódio, que reage com o mesmo em duas etapas, como indicado nas equações (1) e (2). Assim a medição através da titulação ácido-base, neste caso utilizando ácido clorídrico como ácido titulante também acontece em duas etapas, na primeira titulação é usado o indicador fenolftaleína, e a segunda o indicador laranja de metila, para a remoção e a quantificação do gás carbônico produzido pela biodegradação (KALE, 2007).

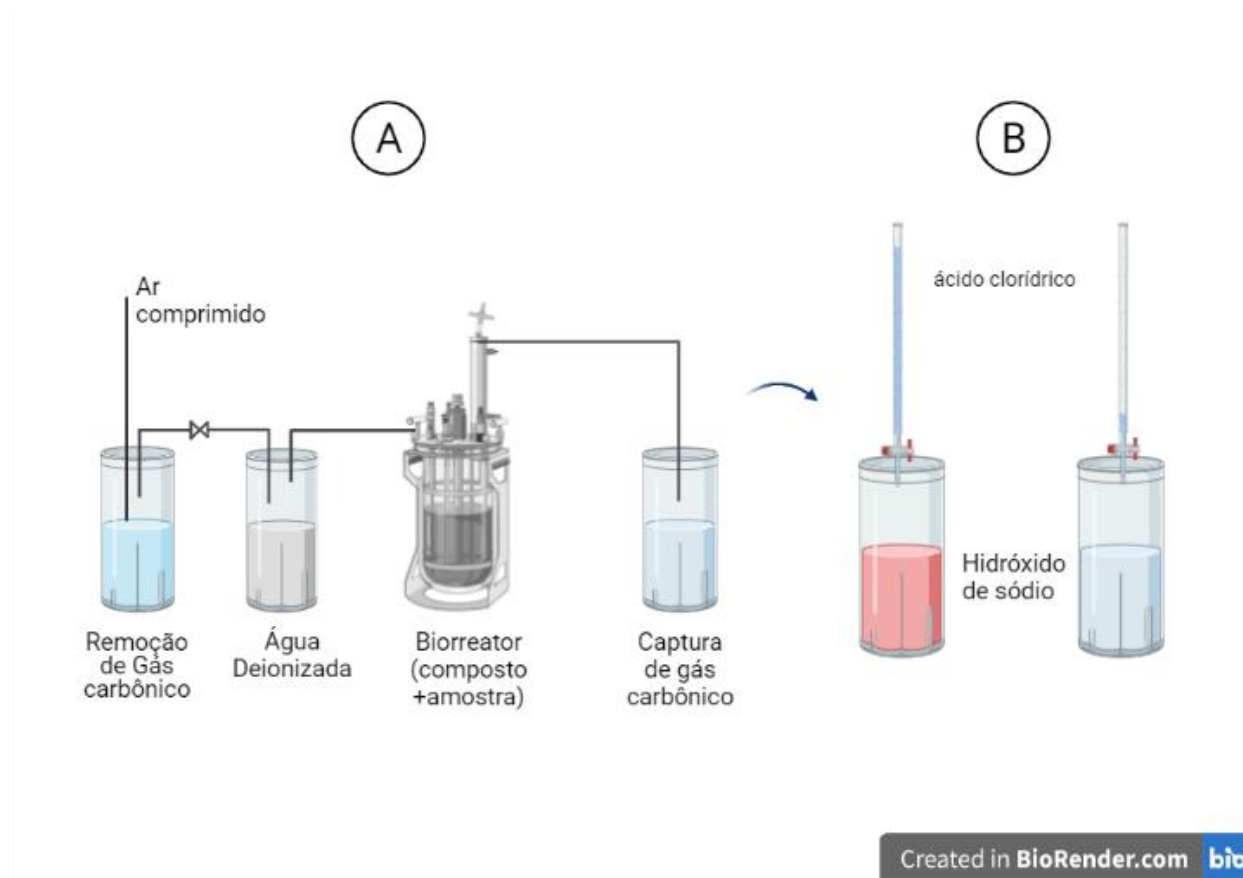
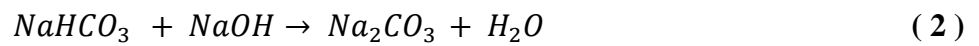


Figura 5 - Sistema do ensaio de biodegradabilidade completo em condições controladas. A- Sistema para a biodegradação geral, B- Sistema de titulação para medição do gás carbônico. Fonte: Elaboração própria.

Logo, com o volume (V) e a concentração do ácido clorídrico (C) usado como titulante, pode-se calcular a quantidade de dióxido de carbono liberado na biodegradação, como indicado na Equação 3.

$$CO_2 = \frac{VxCx44}{1000} \quad (3)$$

Para o cálculo da porcentagem de biodegradação tem-se a Equação 4, onde  $gCO_2b$  é a quantidade de dióxido de carbono liberado pela respiração do branco,  $g_{material}$  é a massa da amostra e  $\%C_{material}$  é o teor de carbono orgânico da amostra.

$$\% \text{ Biodegradação} = \frac{CO_2 - CO_2b}{g_{material} \left( \frac{\%C_{material}}{100} \right) (44/12)} \times 100 \quad (4)$$

O esquema do respirômetro de medição cumulativa (CMR) apresentado na Figura 6, que segue a norma ASTM 5338 e ISO 14855-1, mostra o funcionamento que começa com a entrada do ar pressurizado pelos reatores com a solução de NaOH, responsável pela remoção do gás carbônico. Após esse processo o ar é dividido, sendo uma parte passado por água deionizada para umidificar. O ar seco e o ar umidificado, passam então por um medidor de fluxo e direcionados para cada biorreator. A medição do gás carbônico liberado pelos biorreatores é feita através da titulação do gás carbônico aprisionado na solução de hidróxido de sódio 0,25N e para cada medida de gás carbônico realizada a solução de hidróxido de sódio é trocada.

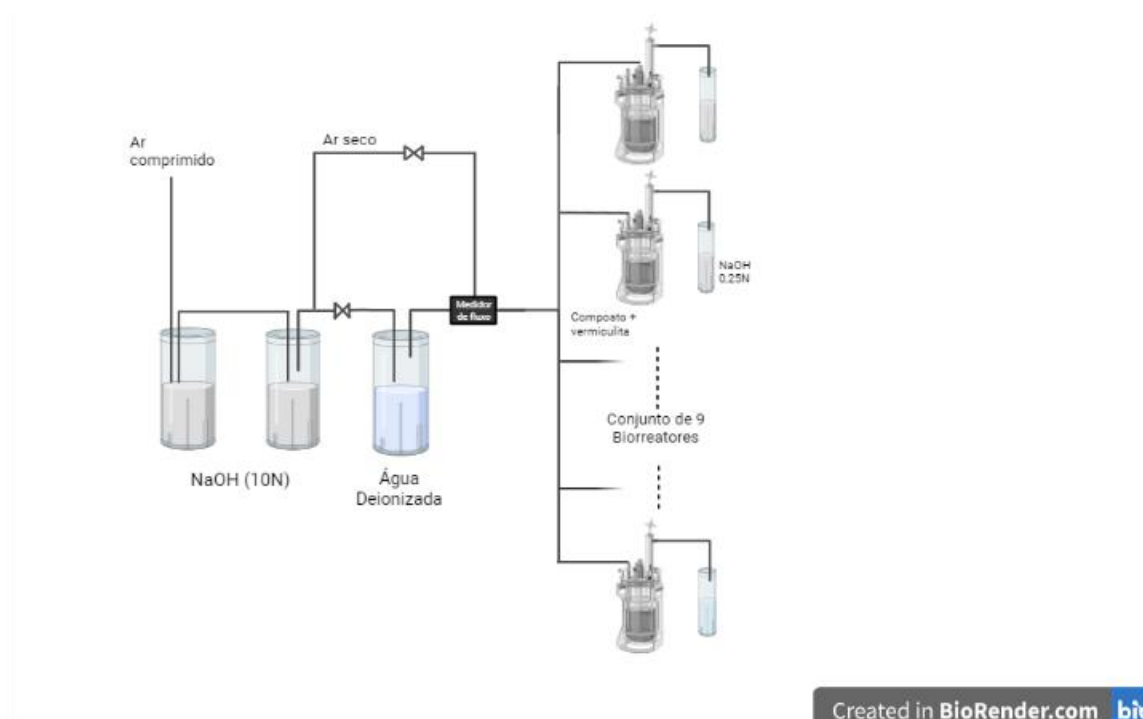
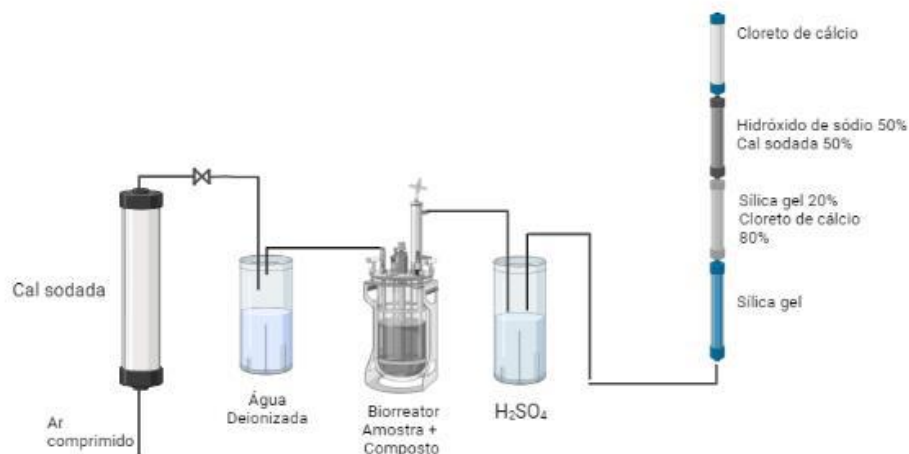


Figura 6 - Sistema de biodegradabilidade do tipo respirômetro de medição cumulativa. Fonte: KALE et al. (2007).

Existe ainda um outro processo para o cálculo da biodegradabilidade através da medição gravimétrica respirométrica, comercializado como analisador de degradação oxidativa microbiana e é baseado na ISO 14855-2. O funcionamento inicial é similar ao respirômetro de medição cumulativa, descrito anteriormente, mas difere no sistema de remoção de gás carbônico inicial. Nesse sistema, é usada uma coluna de cal sodada e o biorreator é envolvido por um aquecimento que mantém a temperatura em 58°C. Na saída do biorreator o ar segue para uma solução de amônia para remover umidade e por fim entra numa coluna de gel de sílica e outra de sílica com cloreto de cálcio para remover a umidade. Nas colunas seguintes contendo uma mistura de cal sodada com uma mistura de cal sodada e em outra contendo cloreto de cálcio é onde o gás carbônico fica preso e a mensuração é feita através da pesagem dessas colunas.



Created in BioRender.com bio

Figura 7 - Analisador de degradação oxidativa microbiana Fonte: KALE et al. (2007).

Os métodos descritos diferem em relação a quantidade de composto e amostra, número de brancos, controle positivo, funcionamento dos biorreatores e a medição do gás carbônico liberado.

De uma forma geral, em todos os métodos citados, a temperatura média é mantida em 58 °C por 60 dias, o teor de umidade é mantido em cerca de 50-55%, a aeração se mantém na faixa entre 10 a 40 ml por minuto e pH é mantido em uma faixa ótima entre 7 e 9 (LEEJARKPAI, 2011).

### V.3 – Mapeamento das empresas e laboratórios nacionais

No panorama brasileiro, uma das buscas foi realizada através do mapa construído a partir, do levantamento de empresas de diversos setores biotecnológicos fornecido pela plataforma da “Profissão Biotec”, que tem como objetivo expandir o conhecimento sobre a atuação dos profissionais de biotecnologia. No entanto, não foi descoberto nenhum laboratório que fizesse análises de biodegradabilidade, mas foram encontradas 3 empresas focadas na produção de bioplásticos. Com isso, foi feito o contato com as empresas para que estas pudessem informar qual laboratório realizava os ensaios de biodegradabilidade dos materiais poliméricos desenvolvido e/ou fabricado por eles., porém poucas empresas retornaram o contato. Uma delas foi a empresa Biopolix é uma *startup* focada em criar biomateriais de fontes renováveis que podem ser escaláveis

e até 100% renováveis (<https://www.biopolix.com.br/>) e a outra foi a Polimex bioplásticos que é uma startup tecnológica focada no desenvolvimento de materiais biopoliméricos para empresas que usam embalagens de uso único como embalagens e sacolas plásticas (<https://www.polimex.com.br/>). Ambas as startups informaram que seus ensaios de biodegradabilidade são realizados por prestadores de serviço, como o instituto SENAI (Serviço Nacional de aprendizagem) de Inovação de Polímeros no Rio grande do Sul e a Biopolix usa o apoio da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) - por intermédio da FUNAMP (Fundação De Desenvolvimento Da UNICAMP), que seguem as normas DIN EN 13432: 2000, ISO 14855-1:2012 e ABNT NBR 15448-2: 2008.

Por outro meio de contato com a professora Susanne Hoffmann da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro foi dado o direcionamento para o laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais na Universidade Federal de São Carlos. Em contato com o mesmo, a informação obtida foi que o laboratório que não presta serviço externo, mas realiza o ensaio de biodegradabilidade seguindo a norma ASTM D5988. A não prestação do serviço se deve a falta do aparelho de medição automática e por não possuírem certificado.

Assim, com base nas pesquisas foi observado que no Brasil existe um único laboratório registrado pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) do INMETRO para a realização de ensaios de biodegradabilidade, o Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros, localizado no Rio Grande do Sul. Esse registro formal garante que o laboratório está atuando de acordo com todos os critérios para certificarem que os ensaios tenham a qualidade seguindo as regras internacionais. Esse laboratório foi indicado pela maioria dos contatos que tivemos através de professores da área e empresas, incluindo a *startup* Polimex, que desenvolve produtos bioplásticos. Os ensaios são realizados seguindo as normais de biodegradabilidade DIN EN 13432, DIN EN 14045, ISO 14855-1; ABNT NBR 15448-1; ABNT NBR 15448-2. Além desse ensaio há também outros 4 tipos de análises, são elas: Determinação de Sólidos Secos Totais, Teor de Cinzas e Sólidos Voláteis; Avaliação da Desintegração de Materiais Plásticos através de Compostagem; Determinação da Ecotoxicidade dos Produtos de Biodegradação e Caracterização Química para Ensaio de Biodegradabilidade, sendo utilizado uma metodologia interna do SENAI para o último ensaio citado (SENAI, 2021).

Dessa forma, podemos sugerir que existem vários laboratórios, principalmente em universidades, que realizam ensaios de biodegradabilidade de forma que as normas utilizadas sejam adaptadas a realidade da infraestrutura disponível, demandas e necessidades. Além disso,

também fica perceptível que as normas existentes não contemplam todos os materiais e condições de avaliação. Podemos entender que os ensaios de biodegradabilidade não são oferecidos pelos laboratórios pela falta de demanda uma vez que a produção/desenvolvimento de materiais poliméricos biodegradáveis ainda não é uma atividade intensa no Brasil. Sendo assim, as empresas não procuram com frequência esse tipo serviço para caracterizar o seu produto polimérico, e consequentemente, não estimula uma regulamentação brasileira mais rígida e ativa.

#### V.4 – Mapeamento das empresas e laboratórios internacionais

No cenário internacional foi encontrada uma instituição, a *European Plastics*, que incentiva e defende os interesses de empresas que fazem parte de toda a cadeia de bioplásticos. Dentre algumas medidas tomadas para ajudar o fortalecimento do movimento de bioplásticos, foi construída uma lista que reuni parceiros de diversos setores. Empresas e laboratórios que contribuem para o mundo mais verde estão distribuídos nas seguintes categorias (*European Plastics*, 2021):

- Fabricantes de bioplásticos e auxiliares
- Usuário final industrial
- Maquinário, engenharia, equipamentos
- Conversores de plástico
- Matéria-prima renovável / química verde
- Pesquisa, consultoria e outros
- Resíduos e reciclagem
- Distribuição de plástico.

Dentre os diversos temas, o de pesquisa e consultoria é o mais específico para procurar sobre laboratórios e empresas que realizam os ensaios de biodegradabilidade. Nessa classificação, foram encontradas 20 empresas e ao analisar individualmente cada uma delas pôde ser percebido que nem todas as empresas realizam o ensaio e outras não apresentam as normas de forma explícita. Por exemplo, a Universidade de Bologna, que realiza esse ensaio e outras pesquisas sobre biodegradabilidade em materiais poliméricos, mas não declara exatamente qual tipo de norma é utilizada. Na Tabela 5, podemos conferir algumas empresas encontradas, o país sede e as normas utilizadas nos ensaios oferecidos por elas.

Tabela 5 - Lista de empresas que realizam os ensaios de biodegradabilidade, o país em que atua e a norma utilizada.  
 Fonte: Elaboração Própria

<b>Empresa</b>	<b>País</b>	<b>Norma</b>
AIMPLA	Espanha	UNE-EN ISO 14855 UNE-EN ISO 14853 UNE-EN ISO 15985 UNE-EN ISO 14852
RespirTek	EUA	OECD 301 (A-F) ASTM D5210 ~ OECD 311 ASTM D5338 ASTM D5864 ASTM D5988 ASTM D6400 ISO 9439
LMPE	Itália	ASTM D3826 ASTM D5208 ASTM D5576 ASTM D7444 ASTM D5338 ASTM D6400 ASTM D6954 ISO 17556 ISO 14852 ISO 14855 ISO 17088 ISO 10640 EN 13432 EN 14995
Merieux	Itália	EN 13432: 2000
OWC	Bélgica	EN 13432: 2000
CARMEN	Alemanha	DIN EN 13432
TÜV Rheinland	Austria	DIN EN 13432

EN 13432 é amplamente usada por muitos países por ser uma norma muito completa e que contém diversos critérios que garantem uma maior confiabilidade na medição da biodegradabilidade do material e em outros aspectos para o meio ambiente (*European Plastics*).



Além disso, possuí normas similares em outros países, como ASTM D6400 e a ISO 17088, que garantem uma ampla reprodução do ensaio. Ao tratar da identificação, muitas organizações responsáveis por emitir selo de biodegradável também usam a norma EN 13432 como padrão para verificar a biodegradabilidade do polímero e fornecer a certificação. Esses selos são utilizados para que seja feita a identificação de um material biodegradável e compostável de forma correta e ajudar o consumidor a fazer a separação adequada do produto para o direcionamento o descarte correto do material.

## **Capítulo VI – Conclusão**

Pode-se notar uma disparidade entre o modelo internacional e o nacional. As organizações que realizam os ensaios de biodegradabilidade são distribuídas internacionalmente e existe um laboratório no Brasil que atua de forma padrão quanto aos ensaios de biodegradabilidade de materiais poliméricos se comparados com o cenário internacional.

Internacionalmente, os órgãos regulatórios são mais organizados e tem mais controle sobre o procedimento adotado para os ensaios de biodegradabilidade, assim as normas que devem ser seguidas para cada tipo de material e ambiente são claramente definidas. A norma EN 13432 é utilizada na maioria dos casos de ensaios de biodegradabilidade e abrange também requisitos de ecotoxicidade, análise de níveis de metais pesados e análise de efeitos diversos. Além disso, possui certificação de compostagem que melhor orienta o consumidor final como proceder com o descarte do seu produto após o uso para que este seja devidamente biodegradado. Contudo, ainda falta uma diretriz consolidada para os ensaios em meio aquoso.

No Brasil, existe uma lacuna nesse setor devido à falta de conhecimento sobre os laboratórios que realizam esses ensaios, e em sua maioria, podemos sugerir que os equipamentos utilizados para medição da biodegradabilidade são adaptados e não seguem exatamente as normas recomendadas internacionalmente. Mesmo que alguns laboratórios realizem esses testes, a baixa produção/desenvolvimento de materiais poliméricos biodegradáveis não justifica a oferta desse tipo de análise, onde para maioria dos ensaios realizados sejam de normas internacionais utilizadas.

## Capítulo VII – Referências Bibliográfica

ABNT, Conheça a ABNT, Disponível em: <http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>, Acesso em: 12 fev 2021

ABRELPE, Panorama de resíduos sólidos no Brasil 2020. Brasil. 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acessado: 10 Dez 2020

ADHIKARI, D., MUKAI, M., KUBOTA, K., KAI, T., KANEKO, N., ARAKI, KS., KUBO, M. (2016) Degradation of Bioplastics in Soil and their Degradation Effects on Environmental Microorganisms. Journal of Agricultural Chemistry and Environment , 5 , 23-34

AHMED, T., SHAHID, M., AZEEM, F. et al. Biodegradation of plastics: current scenario and future perspectives for environmental safety. Environ Sci Pollut Res 25, 7287–7298 (2018). <https://doi-org.ez29.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-018-1234-9>

ASTM D5338-15 (2021), Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions, incorporating thermophilic temperatures,

ASTM D6400-19, Especificação padrão para rotulagem de plásticos projetados para serem aerobicamente compostados em instalações municipais ou industriais, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, <https://www.astm.org/Standards/D6400.htm> Acesso em: 13 out 2020

ASTM D7473 / D7473M-21, Método de teste padrão para atrito de peso de materiais plásticos não flutuantes por incubações em aquário de sistema aberto, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D7473.afnot>, Acesso em: 20 nov 2020

ASTM D7991-15, Método de Teste Padrão para Determinar a Biodegradação Aeróbica de Plásticos Enterrados em Sedimento Marinho Arenoso sob Condições Controladas de Laboratório,

ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D7991.htm> Acesso em: 20 nov 2020

ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, Disponível em : <https://www.astm.org/Standards/D5338> Acesso em: 13 out 2020

BARNES, D.K., GALGANI, F., THOMPSON, R.C., BARLAZ, M. Acumulação e fragmentação de detritos plásticos em ambientes globais. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* . 2009

BPF, Diretiva de Resíduos de Embalagens e Embalagens Compostáveis, 2021, [https://www.bpf.co.uk/topics/standards\\_for\\_compostability.aspx](https://www.bpf.co.uk/topics/standards_for_compostability.aspx). Acesso em: 2 fev 2021

BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF*, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm) Acessado em : 14 Fev 2021

BRASKEM, polietileno verde i'm green™ (pe verde i'm green™) Disponível em : <http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/pe-verde-produtos-e-inovacao>. Acesso em: 11 jun 2021

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAĐJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campo Grande*, p. 127-139, 31 set. 2011. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/222/204>. Acesso em: 11 jun 2021.

CEN, CEN / TC 261 - Embalagem, Disponível em: [https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP\\_PROJECT,FSP\\_ORG\\_ID:13285,6242&cs=16419E079DF816FA31BA049B6F9169CF8](https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:13285,6242&cs=16419E079DF816FA31BA049B6F9169CF8), Acesso em: 10 out 2020

COUTINHO, B C., A Importância E As Vantagens Do Polihidroxitirato (Plástico Biodegradável). *HOLOS*, [S.l.], v. 3, p. 76-81, dez. 2007.

DALBERG ADVISORS, Wijnand de Wit, Adam Hamilton, Rafaella Scheer, Thomas Stakes e Simon Allan. Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização, WWF - Fundo Mundial para a Natureza (Antigo World Wildlife Fund), Gland, Suíça, 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>, Acesso em: 2 fev 2021

ECOZEMA, EN13432, Disponível em: <https://ecozema.com/en/why/en13432/> Acesso em: 2 fev 2021

ECYCLE, O que é biodegradação, Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/6557-biodegradacao.html>, Acesso em: 2 fev 2021

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY AND COMPANY, WORLD ECONOMIC FORUM, The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics, 2016, Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_New\\_Plastics\\_Economy.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf). Acesso em: 21 jan 2021

EMADIAN S. M., Onay T.T, Demirel B, Biodegradation of bioplastics in natural environments, Waste Management, Volume 59, 2017, Pages 526-536.

EUROPEAN BIOPLASTICS, Padrões harmonizados para bioplásticos, 2021, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/>

EUROPEAN BIOPLASTICS. Lista de membros. Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/about-us/members-membership/members-list/>. Acessado em: 12 Nov 2020

FUNABASHI M., NINOMIYA F., E KUNIOKA M., Biodegradability Evaluation of Polymers by ISO 14855-2, International Journal of Molecular Sciences, Vol.10(8), pp.3635-3654

HARRISON J. P., BOARDMAN C., et al (2018). Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: a critical review. R. Soc. Open Sci. 5:171792. 10.1098/rsos.171792

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, Avaliação de Biodegradabilidade, Disponível em: [http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=809](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=809). Acesso em: 15 nov 2020

ISO 14851, Determinação da biodegradabilidade aeróbia final de materiais plásticos em um meio aquoso - Método medindo a demanda de oxigênio em um respirômetro fechado, Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70026.html>, Acesso em: 20 nov 2020

ISO 14852: 2018, Determinação da biodegradabilidade aeróbia final de materiais plásticos em um meio aquoso - Método por análise de dióxido de carbono liberado. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/72051.html> Acesso em: 20 nov 2020

ISO 14853: 2016, Plásticos - Determinação da biodegradação anaeróbica final de materiais plásticos em um sistema aquoso - Método por medição da produção de biogas. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/67804.html> Acesso em: 20 nov 2020

ISO 14855-1: 2012, Determinação da biodegradabilidade aeróbia final de materiais plásticos em condições de compostagem controladas - Método por análise de dióxido de carbono liberado - Parte 1: Método geral. 2012, Disponível em: <https://www.iso.org/standard/57902.html>, Acesso em: 20 nov 2020

ISO 18830: 2016, Plásticos - Determinação da biodegradação aeróbia de materiais plásticos não flutuantes em uma interface água do mar / sedimento arenoso - Método medindo a demanda de oxigênio em respirômetro fechado. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/63515.html> Acesso em: 20 nov 2020

ISO 19679: 2020, Plásticos - Determinação da biodegradação aeróbia de materiais plásticos não flutuantes em uma interface água do mar / sedimento - Método por análise de dióxido de carbono liberado, Disponível em: <https://www.iso.org/standard/78889.html>, Acesso em: 20 nov 2020

ISO MEMBROS, about us members Disponível em <https://www.iso.org/members.html>

ISO, 14855-2: 2018, Determinação da biodegradabilidade aeróbia final de materiais plásticos sob condições de compostagem controladas - Método por análise de dióxido de carbono evoluído - Parte 2: Medição gravimétrica de dióxido de carbono desenvolvido em um teste em escala de laboratório. 2018, Disponível em: <https://www.iso.org/standard/72046.html>, Acesso em: 20 nov 2020

ISO, about us, Disponível em: <https://www.iso.org/about-us.html>, Acesso em: 12 jan 2021

KALE, G., AURAS R., SINGH P.S., NARAYAN R., Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions, Polymer Testing, Volume 26, Issue 8, 2007, Pages 1049-1061,

LEEJARKPAI T., SUWANMANEE U., RUDEEKIT Y., MUNGCHAROEN T. Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions, Waste Management, Volume 31, Issue 6, 2011, Pages 1153-1161,

NIAOUNAKIS, M. Biopolímeros: aplicações e tendências. 2015. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6_ucBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=biopolymers+definitions&ots=5XZEE7Dd0D&sig=QP8yco5FAvxxTsuPO6IkAnpMffA#v=onepage&q=biopolymers%20definitions&f=false)

[BR&lr=&id=6\\_ucBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=biopolymers+definitions&ots=5XZEE7Dd0D&sig=QP8yco5FAvxxTsuPO6IkAnpMffA#v=onepage&q=biopolymers%20definitions&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6_ucBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=biopolymers+definitions&ots=5XZEE7Dd0D&sig=QP8yco5FAvxxTsuPO6IkAnpMffA#v=onepage&q=biopolymers%20definitions&f=false). Acesso em: 28 mai 2021

OPSOMER R., PENNINGTON J. What are the drawbacks of today's plastics economy? World Economic Fórum, 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/03/what-are-the-drawbacks-of-todays-plastics-economy/> Acesso em: 21 Jan 2021

PENNINGTON, J. La magnitud de la crisis del uso de plástico global, World Economic Fórum, 2016. Disponível em: <https://es.weforum.org/agenda/2016/11/la-magnitud-de-la-crisis-del-sistema-plastico-global/> Acesso: 21 Jan 2021

PLASTICS EUROPE, o que são plásticos?, Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>. Acesso em: 23 Jan 2021

PROFISSÃO BIOTEC. Mapa de empresas cadastradas. Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.mapa.profissaobiotec.com.br/>. Acesso em: 01 mar 2021

RAI P., MEHROTRA S., PRIYA S., GNANSOUNOU E., SHARMA S.K., Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers, Bioresource Technology, Volume 325,2021,124739,ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124739>.

RUJNIC-SOKELE M, PILIPOVIĆ A. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. Waste Manag Res. 2017 Feb;35(2):132-140. doi: 10.1177/0734242X16683272. Epub 2017 Jan 9. PMID: 28064843.

SEA SAVE, Poluição Plástica, 2021, Disponível em: <https://seasave.org/plastic-pollution/>. Acesso em 9 Mai 2021

SHEN, M, SONG B, ZENG G, ZHANG Y, HUANG W, WEN X, TANG W. Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? Environ Pollut. 2020 Aug;263(Pt A):114469. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114469. Epub 2020 Apr 1. PMID: 32272422.

SONG J. H., MURPHY, R. J., NARAYAN, R., DAVIES G. B. H., 2009, Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics

SULTANA N., KHAN T. H., " Factorial Study of Compressive Mechanical Properties and Primary In Vitro Osteoblast Response of PHBV / PLLA Scaffolds ", Journal of Nanomaterials , vol. 2012 , Artigo ID 656914 , 8 páginas , 2012 . <https://doi.org/10.1155/2012/656914>

THE OCEAN CLEAN UP, A grande macha de lixo do pacífico. Disponível em: <https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/>, Acesso em: 15 mai 2021

TROWSDALE A., HOUSDEN T., MEIER, B. 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta, World Economic Forum. 2017. Disponível em: <https://es.weforum.org/agenda/2017/12/5-graficos-para-entender-por-que-el-plastico-es-una-amenaza-para-nuestro-planeta>, Acesso em: 13 Jan 2021

WORLD WILDLIFE FUND, Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo 2019, Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>, Acesso em: 23 Jan 2021