

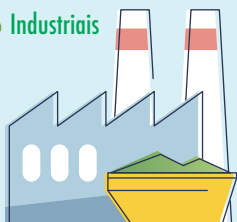


## As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Ambiente

Aproveitamento de resíduos

Industriais



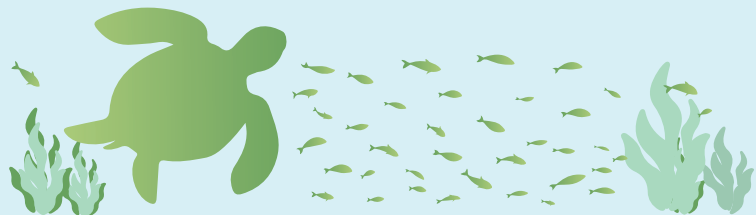
Agrícolas



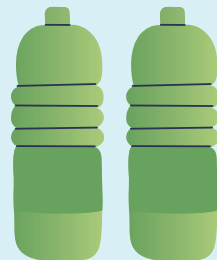
Florestais



Sustentabilidade



Materiais biodegradáveis



Governança



Social





***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroenergia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

## **DOCUMENTOS 50**

# As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

*Larissa Andreani Carvalho  
Thaís Fabiana Chan Salum  
Leonardo Fonseca Valadares*

***Embrapa Agroenergia  
Brasília, DF  
2022***

**Embrapa Agroenergia**  
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº  
Ed. Embrapa Agroenergia  
Caixa Postal 40315  
CEP 70770-901, Brasília, DF  
Fone: +55 (61) 3448-1581  
Fax: +55 (61) 3448-1589  
www.embrapa.br/agroenergia  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Agroenergia

Presidente  
*Patrícia Verardi Abdelnur*

Secretária-Executiva  
*Lorena Costa Garcia Calsing*

Membros  
*Alexandre Nunes Cardoso, Betulia de Moraes  
Souto, João Ricardo Moreira de Almeida,  
Leonardo Fonseca Valadares, Melissa Braga,  
Patrícia Abrao de Oliveira Molinari, Priscila  
Seixas Sabaini*

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441)*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica e capa  
*Maria Goreti Braga dos Santos*

**1ª edição**  
Publicação digital (2022): PDF

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Superintendência de Comunicação

---

Carvalho, Larissa Andreani.

As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos  
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável / Larissa Andreani Carvalho, Thaís  
Fabiana Chan Salum, Leonardo Fonseca Valadares. – Brasília, DF : Embrapa  
Agroenergia, 2022.

PDF (22 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-  
4439 ; 50)

1. ODS. 2. Biodegradação. 3. Inovação. 4 Sustentabilidade. I. Título. II.  
Série.

CDD (21. ed.) 632.95

---

*Rejane Maria de Oliveira Cechinel Darós* (CRB-1/2913)

© Embrapa, 2022

## Autores

### **Larissa Andreani Carvalho**

Química, doutora em Química, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

### **Thaís Fabiana Chan Salum**

Farmacêutica, doutora em Bioquímica, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

### **Leonardo Fonseca Valadares**

Químico, doutor em Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF



## Apresentação

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 objetivos globais para o desenvolvimento sustentável da humanidade, com ações e metas para 2030. Estes objetivos integrados e indivisíveis equilibram as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental. A mobilização e conscientização de toda a sociedade, por suas nações, lideranças, instituições e pessoas é de extrema importância para superar os desafios e alcançar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

No Brasil, as empresas e instituições públicas estão engajadas nesta agenda de sustentabilidade, cada qual em seu nicho de atuação. Assim, a Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – contribui diretamente para o alcance de diversos ODS relacionados à agricultura e pecuária.

Este documento detalha as contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance de ODS. Assim, este texto mostra como a pesquisa científica, o desenvolvimento de novos materiais e a inovação podem contribuir para a sustentabilidade do planeta, principalmente no que tange a saúde, bem-estar dos seres vivos e à mitigação da poluição na água e na terra.

Diversos materiais biodegradáveis estão presentes na vida cotidiana, como é o caso do papel e outros derivados da celulose. Entretanto, ainda é necessário grande esforço de pesquisa para formular novos materiais com alto desempenho, estudar os seus impactos no meio ambiente e também para a reduzir os custos e preços dos materiais biodegradáveis.

O Brasil, como uma grande potência agropecuária, é um grande produtor de celulose e outros insumos para materiais biodegradáveis. Ainda assim, há muito espaço para crescimento do mercado de materiais biodegradáveis,

para o aproveitamento de resíduos da agricultura e para a construção de uma cultura consciente que visa à redução da poluição e bem estar da população e das gerações futuras.

*Alexandre Alonso Alves*  
Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia



## Sumário

Materiais plásticos: panorama atual .....	9
Materiais biodegradáveis.....	11
Exemplos de materiais biodegradáveis.....	12
Contribuições da Embrapa para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis .....	14
Produção de compósitos de celulose.....	14
Síntese enzimática de poliésteres.....	15
Produção de ácido lático .....	16
Os materiais biodegradáveis e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	17
Conclusões.....	20
Referências .....	21



## Materiais plásticos: panorama atual

A história da evolução humana está intimamente ligada ao desenvolvimento e uso de artefatos preparados a partir de diferentes tipos de materiais. Essa ligação é demonstrada pela denominação das diversas eras históricas, tais como a Idade da Pedra e a Era dos Metais, e chegando ao que hoje se convencionou chamar de Era do Silício. Dentre os materiais atualmente utilizados pela humanidade, grande destaque deve ser dado aos plásticos, que se tornaram indispensáveis à vida cotidiana.

No entanto, os plásticos convencionais não são biodegradáveis e são produzidos principalmente a partir de insumos fósseis. Estes materiais derivados do petróleo apresentam degradação extremamente lenta, acumulando-se no meio ambiente e causando impactos ambientais, econômicos e sociais (Bertolini, 2007).

Os malefícios do descarte de plásticos não biodegradáveis na natureza incluem o enredamento de plásticos em animais silvestres, levando a lesões graves ou à morte; a ingestão de plásticos, causando impactos à saúde dos animais, tais como abrasões internas, obstrução do aparelho digestivo e morte; e a degradação do habitat por resíduos encontrados nos solos, rios e oceanos. Na vertente econômica, destaca-se que o setor da pesca é impactado por meio da redução de frutos do mar e também pela obstrução de motores de barcos por plásticos e equipamentos de pesca; o comércio marítimo é afetado quando navios mercantes sofrem colisões com plásticos, podendo causar danos às embarcações; e empresas do setor de turismo sofrem redução de receita, considerando que a poluição plástica impõe custos aos governos e empresas para a remoção desses resíduos. Alguns impactos sociais negativos são: a gestão irregular de resíduos plásticos com processos não regulamentados, como a queima e o despejo a céu aberto; a ingestão de microplásticos por humanos e seus efeitos danosos à saúde; a contaminação do solo e da água por microplásticos na rede de esgotos, principalmente pela lavagem de roupas e uso de produtos cosméticos.

Os microplásticos, citados acima, são partículas com tamanho médio menor que 5 mm, enquanto os nanoplásticos têm tamanho médio menor que 0,1  $\mu\text{m}$  e são oriundos da fragmentação de resíduos ou emitidos diretamente no am-

biente. A conversão de plásticos em microplásticos ocorre de modo extremamente lento no meio ambiente, normalmente por causa da exposição de luz ultravioleta. Assim, apesar de uma enorme quantidade de plástico já ter atingido os ecossistemas, a geração de microplástico por degradação ocorre ao longo do tempo e suas consequências ainda não são completamente acessíveis (Sana et al., 2020). A poluição por micro e nanoplásticos é um tópico recente e que ganhou atenção científica na década de 2010. Portanto, muitos dos efeitos negativos da poluição por microplásticos ainda precisam ser estudados e esclarecidos.

Além da degradação plástica e da emissão causada pela lavagem de tecidos sintéticos e pelo desgaste de pneus, os microplásticos são também produzidos intencionalmente e empregados em itens de cuidado pessoal, como as partículas esfoliantes, enquanto os nanoplásticos são utilizados em equipamentos eletrônicos, tintas, sistemas de liberação controlada e adesivos. Hoje, os micro e nanoplásticos são encontrados na água doce, em praias, sedimentos e na água marinha, sendo que a poluição oceânica é um problema ambiental evidente.

Apesar do exposto acima, os plásticos não biodegradáveis são indispensáveis à vida cotidiana e são responsáveis por diversas inovações e bem-estar da sociedade contemporânea. Os plásticos não biodegradáveis são produzidos em enorme quantidade, possuem baixo custo e excelentes propriedades, como a alta resistência mecânica e química e a resistência à umidade, além de baixa densidade. O tempo de uso desses materiais é bastante curto, sendo muitas vezes usados apenas uma vez antes do seu descarte, como é o caso de sacolas plásticas, embalagens de alimentos, descartáveis da área de saúde e garrafas plásticas (Flury; Narayan, 2021). Estimativas apontam que aproximadamente metade de todo o plástico é descartado em menos de três anos após a sua produção ( WWF Brasil, 2019). Se considerarmos que, em 2016, a produção dessa categoria de materiais alcançou 396 milhões de toneladas, entende-se a extensão dessa crise global e a necessidade urgente da busca por materiais biodegradáveis que possam substituir em parte esses plásticos de maneira adequada.

## Materiais biodegradáveis

Os materiais biodegradáveis são uma alternativa para mitigar os impactos negativos ambientais, econômicos e sociais decorrentes do uso dos plásticos não biodegradáveis, detalhados acima. Esses materiais substituem em parte os materiais não biodegradáveis, possibilitando a redução dos resíduos plásticos.

Os materiais biodegradáveis são normalmente obtidos de fontes renováveis e são desintegrados por ação de microrganismos, como fungos e bactérias, incorporando-se ao meio ambiente na forma de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e biomassa microbiana. Várias condições influenciam na biodegradação, como a presença de umidade, oxigênio, luz, calor, manejo adequado, etc. A degradação dos materiais biodegradáveis, assim como da matéria orgânica em geral, ocorre de duas formas: aeróbica ou anaeróbica. A biodegradação aeróbica acontece na presença de oxigênio, produzindo gás carbônico, água e matéria orgânica estabilizada. Normalmente a biodegradação aeróbica ocorre ao ar livre ou em processos de compostagem. Já a biodegradação anaeróbica acontece na ausência de oxigênio, produzindo metano e outros componentes.

Apesar do conceito de biodegradação ser um pouco vago, pois depende de diversas condições ambientais, existem testes que são utilizados para avaliar a biodegradabilidade dos materiais por microrganismos. Esses métodos, padronizados para investigar a biodegradação de materiais em condições laboratoriais, são desenvolvidos e publicados pela American Society for Testing and Materials (ASTM), International Organization for Standardization (ISO) e Deutsche Norm European Standard (DIN).

As seguintes metodologias podem ser usadas para avaliar a biodegradação dos materiais:

- Avaliação de perda de massa em ambiente simulado. A retenção de massa em solo simulado é usada com amostras que são inicialmente pesadas e enterradas em solo simulado, sendo que, após transcorrer um determinado tempo, as amostras são lavadas, secas e então novamente pesadas para avaliar a perda de massa.

- Produção de CO<sub>2</sub> em meios de cultura. A biodegradação pela produção de CO<sub>2</sub> é realizada com amostras inoculadas e a produção de CO<sub>2</sub> é monitorada ao longo do tempo. Na biodegradação em meio de cultura é possível avaliar a degradação dos materiais pela ação de microrganismos em meios de cultura líquidos ou sólidos.
- Avaliação de propriedades do material. Técnicas associam a biodegradação com as características dos materiais avaliados, como as suas propriedades térmicas, resistência à tração, morfologia, rugosidade, etc.

## Exemplos de materiais biodegradáveis

Diversos materiais biodegradáveis são utilizados na vida cotidiana e na área química, médica, farmacêutica e biotecnológica. Os produtos das cadeias produtivas da celulose e do algodão são de grande importância econômica no Brasil e fornecem produtos como papel, itens de higiene e tecidos. Citando o exemplo do papel, o Brasil produziu 21.134.000 toneladas de celulose no ano de 2018, sendo o segundo maior produtor mundial, abaixo dos Estados Unidos, que tiveram produção de 43.899.860 toneladas (Faostat, 2020).

No entanto, quando se propõe a substituição de materiais não biodegradáveis por equivalentes menos danosos ao meio ambiente, percebe-se que grande destaque é dado à pesquisa e ao desenvolvimento de plásticos biodegradáveis para utilização como embalagens. Diferentemente do papel e do algodão, os plásticos biodegradáveis possuem melhores propriedades de barreira e resistência à umidade, sendo, portanto, mais adequados ao segmento de embalagens alimentícias, por exemplo.

Os bioplásticos podem ser naturalmente biodegradáveis, como o amido, os polihidroxialcanoatos (PHAs) e os derivados de celulose, ou produzidos de forma a apresentarem biodegradabilidade, como o poli(ácido láctico) (PLA), poli(succinato de butileno) (PBS) e o poli(butileno tereftalato-co-adipato) (PBAT). Entre os materiais naturalmente biodegradáveis, destaca-se a utilização de PHAs, termo que designa uma classe de poliésteres produzidos por bactérias e constituídos de diversos monômeros. São exemplos de PHAs o poli(hidroxibutirato) (PHB), o poli(hidroxibutirato-co-valerato) (PHBV) e o poli(hidroxivalerato) (PHV), todos disponíveis comercialmente com produção

anual estimada em 30 mil toneladas (Rameshkumar et al., 2020). Em razão de suas propriedades antibacterianas e antioxidativas, os PHAs são muito populares em aplicações biomédicas, tais como na engenharia de tecidos (Palmeiro-Sánchez et al., 2022). Além disso, apresentam potencial para a substituição de plásticos não biodegradáveis por apresentarem propriedades termoplásticas, o que constitui uma grande vantagem em comparação com polissacarídeos e proteínas. Sua biodegradação pode ocorrer por compostagem doméstica, compostagem industrial ou diretamente no solo (Flury; Narayan, 2021). Apesar de todas estas vantagens, a produção industrial de PHA ainda apresenta um alto custo, o que demonstra a importância do estudo de novos substratos, novas linhagens produtoras de PHAs e otimização de escalonamento de produção.

Na categoria dos bioplásticos sintetizados de forma a apresentarem biodegradabilidade, o poli(ácido láctico) (PLA) apresenta grande potencial de substituição de plásticos derivados de fontes fósseis em razão da sua processabilidade termoplástica, biocompatibilidade e biodegradabilidade (Ahmad et al., 2022). Este poliéster alifático é constituído por moléculas de ácido láctico que, por sua vez, podem ser produzidas por via biotecnológica utilizando amido de milho e cana-de-açúcar, entre outros recursos renováveis. Por causa das suas excelentes propriedades de barreira, o PLA tem sido utilizado em substituição ao poliestireno e ao polipropileno, plásticos não biodegradáveis, na fabricação de embalagens.

A TotalEnergies Corbion produz 75 mil toneladas de PLA por ano, e tem planos de construir uma segunda planta com capacidade de produção de 100 mil toneladas de PLA anuais (Albuquerque et al., 2021). Globalmente, estima-se a capacidade de produção de PLA e suas blendas em 225 mil toneladas/ano (Rameshkumar et al., 2020). O PLA não é suscetível ao ataque microbiano e apresenta biodegradação lenta, preferencialmente via digestão anaeróbica e compostagem industrial (Flury; Narayan, 2021).

Outro bioplástico que também é biodegradado via compostagem industrial é o poli(succinato de butileno) (PBS), com capacidade de produção de 97 mil toneladas anuais (Rameshkumar et al., 2020). A síntese do PBS é realizada pela condensação de ácido succínico e 1,4-butanodiol, utilizando catalisadores de origem biológica. Apresenta potencial de aplicação na produção de

materiais plásticos descartáveis, principalmente pelas suas propriedades de flexibilidade e resistência ao calor

Por fim, grande destaque entre os materiais biodegradáveis é dado ao poli(butileno tereftalato-co-adipato) (PBAT), um poliéster preparado a partir de ácido adípico, 1,4-butanodiol e ácido tereftálico. Existem diversas plantas de produção global deste material, tais como as da BASF, da Kingfa e da Novamont, que somam uma capacidade de produção de 220 mil toneladas por ano (Jian et al., 2020). Sua utilização principal é na substituição de polietileno de baixa densidade para a fabricação de sacolas plásticas e outros tipos de embalagens, consideradas a principal fonte de poluição ambiental. Sua biodegradação pode ocorrer por meio de compostagem doméstica, industrial ou degradação no solo (Flury; Narayan, 2021).

## Contribuições da Embrapa para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis

A Embrapa possui diversas iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação em materiais biodegradáveis, como os filmes de purê de frutas (Oldoni et al., 2021), nanocompósitos (Oliveira et al., 2018), incluindo ações que avaliam o ciclo de vida desses materiais (Nascimento et al., 2018). Em específico, a Embrapa Agroenergia contribui desenvolvendo novos materiais, compósitos e blocos construtores para a produção de polímeros, como citado a seguir.

## Produção de compósitos de celulose

A celulose é um polímero abundante que é encontrado em estruturas de plantas e bactérias, incluindo diversos resíduos agroindustriais. A celulose, além de biodegradável, confere resistência mecânica quando combinada com diversos materiais, atribuindo maior força a eles. Além disso, dependendo da morfologia da celulose empregada, o efeito de reforço é mais expressivo, principalmente quando se utilizam nanoestruturas de celulose, que possuem maior área de superfície para interagir com a matriz polimérica (Fiorote, 2019). Assim a Embrapa Agroenergia desenvolve a produção de nanoestruturas de celulose a partir de algodão e resíduos lignocelulósicos, como



bagaço de cana-de-açúcar e cachos vazios de dendê, além de estudar a aplicação desses materiais em matrizes poliméricas biodegradáveis, como o amido plastificado (Teles et al., 2021).

## Síntese enzimática de poliésteres

A Embrapa Agroenergia, em colaboração com o Green Chemistry Centre of Excellence (GCCE), da Universidade de York, no Reino Unido, tem desenvolvido pesquisa na área de síntese enzimática de polímeros utilizando monômeros de fonte renovável em solventes verdes. Os trabalhos envolvem reações de polimerização (transesterificação) entre diésteres e dióis (álcoois) utilizando enzimas (lipases) como catalisadores para a síntese de polímeros do tipo poliéster.

Poliésteres são polímeros com amplas aplicações que vão desde materiais de embalagem, até tecidos e materiais médico-hospitalares. Esses polímeros são tradicionalmente sintetizados utilizando catalisadores químicos metálicos, que são alvo de crítica pelo seu impacto no meio ambiente. Assim, uma alternativa mais verde para a síntese de poliésteres é a utilização de catalisadores biológicos. As lipases são enzimas (catalisadores biológicos) que em meio aquoso catalisam a hidrólise de triglicerídeos, mas que, em meio orgânico, são capazes de catalisar reações de esterificação e transesterificação. Portanto, podem ser usadas para a síntese de poliésteres.

As lipases são proteínas não tóxicas, renováveis e biodegradáveis. Além de serem catalisadores verdes, as reações de polimerização catalisadas por lipases possuem outras vantagens em relação à catálise química:

- 1) As reações podem ser realizadas em condições brandas de temperatura e pressão, o que pode reduzir a utilização de energia no processo.
- 2) As reações são altamente seletivas, evitando a formação de subprodutos (Liu et al., 2020).
- 3) As lipases são adequadas para a síntese de polímeros para aplicações biomédicas e farmacêuticas, por não serem tóxicas como os catalisadores metálicos e por não formarem subprodutos. Assim, eles podem ser usados para uma gama de aplicações biomédicas, como sistemas

controlados de “drug delivery” e regeneração de tecidos, além de polímeros com atividade antimicrobiana (Hevilla et al., 2021).

- 4) Os poliésteres produzidos são biodegradáveis, uma vez que podem ser hidrolisados enzimaticamente. Ou seja, o uso de enzimas como catalisadores confere biodegradabilidade aos polímeros produzidos (Pellis et al., 2016).

Apesar das diversas vantagens que a catálise enzimática possui em comparação aos catalisadores químicos para a síntese de poliésteres, ainda existem limitações de custo, de atividade e de estabilidade das enzimas no meio orgânico, o que faz com que os processos ainda não sejam utilizados industrialmente. Assim, ainda há muito espaço para a pesquisa em diversas áreas, com o intuito de viabilizar o processo enzimático para a síntese de poliésteres (Liu et al., 2020).

## Produção de ácido láctico

O ácido láctico é o bloco construtor usado para a produção do poli(ácido láctico) (PLA). Esse ácido orgânico pode ser produzido tanto por síntese química como por fermentação microbiana. A síntese química é realizada a partir de compostos não renováveis, enquanto a fermentação microbiana utiliza biomassa como matéria-prima. Hoje o ácido láctico é obtido por fermentação microbiana usando amido ou açúcar, que são insumos de alto custo.

As propriedades do PLA têm mostrado que esse polímero é um material ideal para embalagens nas indústrias biomédica e alimentícia em razão da sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, cristalinidade e propriedades térmicas e mecânicas. No entanto, o custo de produção do PLA ainda é alto, de forma que ele ainda não se mostra competitivo frente aos plásticos convencionais. A fim de aumentar a eficiência da produção de ácido láctico e obter um PLA de baixo custo e alta qualidade, os pesquisadores têm procurado substratos de baixo custo e microrganismos de alto desempenho (Ahmad et al., 2022).

A Embrapa Agroenergia desenvolve pesquisas para a produção de ácido láctico por fermentação a partir de diversas matérias-primas renováveis, como o caldo de sorgo sacarino, e substratos de baixo custo, como a glicerina pro-

veniente da produção de biodiesel. Neste contexto, a Embrapa Agroenergia trabalha com a seleção de microrganismos produtores de ácido lático e na diversificação das matérias-primas utilizadas, a fim de reduzir o custo final do material.

## Os materiais biodegradáveis e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um conjunto de 17 objetivos globais, estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) em 2015 para os 15 anos subsequentes. São objetivos integrados e indivisíveis que equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Os esforços para alcançar os 17 ODS até o ano de 2030 estão sendo realizados por líderes, governos, organizações não governamentais (ONGs) e iniciativa privada (Objetivos..., 2022).

A seguir é citado como o uso e o desenvolvimento de materiais biodegradáveis contribui para o alcance de alguns ODS. Os ODS são amplos e, portanto, estão separados em 169 metas.



O ODS 11 – **Cidades e comunidades sustentáveis** – consiste em “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”.

Integrando o ODS 11, a Meta 11.6 propõe a redução do impacto ambiental negativo das cidades, incluindo a gestão correta dos resíduos, onde os materiais biodegradáveis desempenham papel importante.

Estima-se que 7 bilhões dos 9,2 bilhões de toneladas do plástico produzido no planeta entre 1950 e 2017 se tornaram resíduos, sendo que três quartos foram descartados em aterros ou foram despejados no meio ambiente, incluindo o mar (United Nations Environment Programme, 2021).

O ODS 12 – **Consumo e produção responsáveis** – consiste em “assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”.



Os consumidores e produtores são os protagonistas para o alcance dos ODSs, assim as pessoas desempenham o papel principal. Cabe aqui a conscientização pessoal e coletiva para que o consumo seja realizado de modo responsável, entendendo, portanto, quais aspectos positivos e negativos têm o produto em sua origem e em seu destino final. Além disso – e de extrema importância – a construção de políticas públicas que favoreçam a produção e o consumo de materiais biodegradáveis em substituição aos materiais plásticos convencionais, além da reciclagem de materiais. Com o mercado globalizado, vê-se também a importância da produção e do consumo locais, evitando os impactos negativos gerados pelo transporte.

Para tanto, as metas 12.2 e 12.5 propõem o uso eficiente dos recursos naturais, com gestão sustentável, por meio de ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso, fortalecendo o conceito dos “3Rs da sustentabilidade”. Também a meta 12.6 incentiva a adoção de práticas sustentáveis e a integração de informações de sustentabilidade em relatório de empresas e produtos, o que fornece melhor poder de decisão aos consumidores e abre oportunidade de construção de políticas públicas.



O ODS 3 – **Saúde e bem-estar** – consiste em “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”.

Os micro e nanoplásticos têm sido encontrados no meio ambiente e em alimentos, sendo potencialmente tóxicos. Apesar dos efeitos dos micro e nanoplásticos na saúde humana ainda não terem sido completamente elucidados, é notória a exposição humana a estes materiais, seja pela pele, pela inalação do ar ou por ingestão de água e alimentos contaminados. Os microplásticos podem atingir os alvéolos pulmonares, podem se acumular no fígado e nos rins, e já foram encontrados também nas fezes e na placenta (United Nations Environment Programme, 2021).



O ODS 6 – **Água potável e saneamento** – consiste em “garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos”.

O uso de materiais biodegradáveis contribui para as Metas 6.3 e 6.6, que visam melhorar a qualidade da água, reduzir a poluição, eliminar o despejo e restaurar ecossistemas relacionados com a água.

Como citado, a poluição por plásticos de petróleo atinge oceanos, zonas úmidas, rios e lagos, impactando negativamente estes ecossistemas. Soma-se o fato de a geração do microplástico impactar a qualidade da água e dos seres que fazem uso desse recurso.



O ODS 9 – **Indústria, inovação e infraestrutura** – consiste em “construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação”.

A ampliação da produção de materiais biodegradáveis na indústria contribui para o desenvolvimento de infraestrutura de qualidade, sustentável e resiliente de acordo com os conceitos da economia circular, proporcionando menor pressão no uso de recursos naturais e dando destino correto aos produtos usados, contribuindo, portanto para o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano.

Assim, a produção e o uso de materiais biodegradáveis contribuem para as Metas 9.1, 9.4 e 9.b no desenvolvimento e na modernização de infraestruturas industriais sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de processos limpos e ambientalmente adequados. Ressalta-se aqui a importância do desenvolvimento tecnológico, da pesquisa e da inovação para a diversificação industrial.



O ODS 14 – **Vida na água** – consiste na “conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável”.

A quantidade de plásticos nos oceanos tem sido estimada entre 75 e 199 milhões de toneladas. Os plásticos são a maior fração do lixo encontrado nos mares, contando com pelo menos 85% do lixo marinho total.

Os plásticos causam efeitos letais e subletais em baleias, focas, tartarugas, peixes, pássaros e também em moluscos, plâncton e corais. Os efeitos incluem emaranhamentos, estrangulamento, laceração de tecidos internos e danos toxicológicos ( United Nations Environment Programme, 2021).

A Meta 14.1 propõe a conservação e o uso sustentável dos recursos marinhos, em que os materiais biodegradáveis desempenham papel fundamental. Dentre os diversos tópicos já abordados, os materiais biodegradáveis contribuem para a redução da densidade de detritos plásticos e protegem diretamente a vida na água, uma vez que o plástico não biodegradável impacta negativamente a vida de animais marinhos.



O ODS 15 – **Vida terrestre** – consiste em “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”.

O impacto do plástico não biodegradável é notável nos habitats terrestres. Nesse ponto, o descarte do plástico causa grande impacto à vida terrestre por não ser desintegrado no meio ambiente. Nesse contexto, os materiais biodegradáveis contribuem diretamente para a Meta 15.5, em que medidas são tomadas para reduzir a degradação de habitats naturais e deter a perda de diversidade.

## Conclusões

O desenvolvimento de materiais biodegradáveis possui papel fundamental para o alcance de alguns objetivos de desenvolvimento sustentável, uma vez

que esses materiais substituem plásticos não renováveis e não degradáveis e que são, portanto, extremamente poluentes para o meio ambiente.

É de extrema importância a conscientização da população e a construção de políticas públicas no intuito de reduzir a produção e o consumo de materiais plásticos não degradáveis.

Além do aumento da produção e utilização de materiais biodegradáveis já existentes no mercado, há a necessidade de desenvolvimento de novos materiais adequados a diferentes aplicações. Para isso, faz-se necessário o investimento em pesquisa científica. A Embrapa Agroenergia contribui para as pesquisas nessa área, desenvolvendo novos materiais, compósitos e blocos construtores para a produção de polímeros.

## Referências

- AHMAD, A.; BANAT, F.; ALSAFAR, H.; HASAN, S. W. An overview of biodegradable poly (lactic acid) production from fermentative lactic acid for biomedical and bioplastic applications. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02581-3>.
- ALBUQUERQUE, T. L.; MARQUES JÚNIOR, J. E.; QUEIROZ, L. P. de; RICARDO, A. D. S.; ROCHA, M. V. P. Polylactic acid production from biotechnological routes: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 186, p. 933-951, Sept. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.074>.
- BERTOLINI, A. C. **Biopolymers Technology** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2007. 199 p.
- FAOSTAT. **Forestry 2018**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/beta/en>. Acesso em: 17 ago. 2020.
- FIOROTE, J.; FREIRE, A.; RODRIGUES, D.; MARTINS, M.; ANDREANI, L.; VALADARES, L. Preparation of composites from natural rubber and oil palm empty fruit bunch cellulose: Effect of cellulose morphology on properties. **BioResources**. v. 14, n.2, 3168-3181, 2019. DOI: [10.15376/biores.14.2.3168-3181](https://doi.org/10.15376/biores.14.2.3168-3181).
- FLURY, M.; NARAYAN, R. Biodegradable plastic as an integral part of the solution to plastic waste pollution of the environment. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 30, Article number 100490, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100490>.
- HEVILLA V.; SONSECA A., ECHEVERRÍA C.; MUÑOZ-BONILLA A.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. Enzymatic synthesis of polyesters and their bioapplications: recent advances and Perspectives. **Macromolecular Bioscience**, v. 21, n. 10, Article number 2100156. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/mabi.202100156>.
- JIAN, J.; XIANGBIN, Z.; XIANBO, H. An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate) – PBAT. **Advanced Industrial and Engineering**

**Polymer Research**, v. 3, n. 1, 19-26, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.001>.

LIU, Y.; SONG, L.; FENG, N.; JIANG, W.; JIN, Y.; LI, X. Recent advances in the synthesis of biodegradable polyesters by sustainable polymerization: Lipase-catalyzed polymerization. **RSC Advances**, n. 10, p. 36230-36240, 2020. DOI: 10.1039/D0RA07138B.

NASCIMENTO, D. M.; NUNES, Y. L.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; AZEREDO, H. M. C. de; AOUADA, F. A.; FEITOSA, J. P. A.; ROSA, M. F.; DUFRESNE, A. Nanocellulose nanocomposite hydrogels: technological and environmental issues. **Green Chemistry**, v. 20, n. 11, p. 2428-2448, 2018.

OBJETIVOS de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 18 abr. 2022.

OLDONI, F. C. A.; BERNARDO, M. P.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; AGUIAR, A. C. de; MOREIRA, F. K. V.; MATTOSO, L. H. C.; COLNAGO, L. A.; FERREIRA, M. D. Valorization of mangoes with internal breakdown through the production of edible films by continuous solution casting. **LWT**, v. 145, Article number 111339, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111339>.

OLIVEIRA, A. V.; SILVA, A. P. M. da; BARROS, M. O.; SOUZA FILHO, M. de S. M.; ROSA, M. F.; AZEREDO, H. M. C. Nanocomposite films from mango kernel or corn starch with starch nanocrystals. **Starch - Stärke**, v. 70, n. 11-12, Article number 1800028, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201800028>.

PALMEIRO-SÁNCHEZ, T.; O'FLAHERTY, V.; LENS, P. N. L. Polyhydroxyalkanoate bio-production and its rise as biomaterial of the future. **Journal of Biotechnology**, v. 348, p. 10-25, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2022.03.001>.

PELLIS, A.; ACERO, E. H.; GARDOSI, L.; FERRARIO, V.; GUEBITZA, G. M. Renewable building blocks for sustainable polyesters: Newbiotechnological routes for greener plastics. **Polymer International**, v. 65, n. 8. p. 861-871, Aug. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/pi.5087>.

RAMESHKUMAR, S.; SHAIJU, P.; O'CONNOR, K. E.; BABU P, R. Bio-based and biodegradable polymers – State-of-the-art, challenges and emerging trends. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 21, p. 75-78, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019>.

SANA, S. S.; DOGIPARTHI, L. K.; GANGADHAR, L.; CHAKRAVORTY, A.; ABHISHEK N. Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health. **Environmental Science and Pollution Research** v. 27, p. 44743-44756, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10573-x>.

TELES, V. C.; ROLDI, M.; LUZ, S. M.; SANTOS, W. R. dos; ANDREANI, L.; VALADARES, L. F. Obtaining plasticized starch and microfibrillated cellulose from oil palm empty fruit bunches: Preparation and properties of the pure materials and their composites. **BioResources**, v. 16, n. 2, p. 3746-3759, 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. From pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution. **Technical Report**, Oct. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>. Acesso em: 18 ago. 2022.

WWF-BRASIL. **Solucionar a poluição plástica**: transparência e responsabilização - relatório 2019. Disponível em: [https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao?\\_ga=2.256627467.1477576590.1650134349-2067460161.1650134349](https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao?_ga=2.256627467.1477576590.1650134349-2067460161.1650134349). Acesso em: 18 abr. 2022.



**Embrapa**

---

**Agroenergia**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

CGPE 017888