



Síntese, Aplicações e Degradação De Biopolímeros: Revisão de Literatura

Leandro Soares Fernandes Fogaça¹; Sílvia Pierre Irazusta²

Resumo: Biopolímeros são plásticos obtidos a partir de fonte renovável e, em geral, são biodegradáveis, e em comparação com os polímeros sintéticos, possuem vantagens com relação à sua degradação, por reduzir ou eliminar os resíduos no meio ambiente. A degradação destes compostos é um assunto emergente, com crescente número de publicações. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica, buscando pelos descritores “biopolímeros” e “degradação” e biopolymers and degradation, utilizando a base de dados do Portal de Periódicos Capes, considerando-se apenas as publicações em português, visando o cenário nacional. Foram admitidos apenas periódicos revisados por pares, sem delimitação de período. No levantamento com as palavras-chave em inglês, foram encontrados 23.655 artigos dos quais apenas 10 estavam em língua portuguesa, foram lidos os resumos e apenas 7 foram selecionados, cujo critério de inclusão foi tratar dos temas, *síntese, aplicações e biodegradação*. Já para a busca com os descritores em português, foram utilizados os mesmos critérios e selecionados 5 artigos para serem abordados nesta revisão. A pesquisa mostrou a grande disparidade das publicações nacionais em relação ao total. Baseando-se no princípio de sustentabilidade do *triple bottom line*, onde os 3 pilares *people-profit-planet*, devem ter o mesmo peso na concepção de novos produtos, o desenvolvimento de biopolímeros tornou-se tema relevante, em função da possibilidade de substituírem os plásticos de origem sintética, com grande volume de estudos, mas, entretanto, ainda com poucas publicações nacionais, conforme apontou esta pesquisa

Palavras-chave: Simpósio; Modelos de Artigo; Metodologia Científica.

Abstract: Biopolymers are plastics obtained from a renewable source and, in general, they are biodegradable, and compared to synthetic polymers, they have advantages regarding their degradation, by reducing or eliminating waste in the environment. The degradation of these compounds is an emerging issue, with a growing number of publications. The objective of this work was to carry out a literature review, searching for the descriptors "biopolymers" and "degradation" and “biopolímeros” and “degradação”, by the Search in the Capes Journal Portal database, considering only publications in Portuguese, aiming at the Brazilian scenario. Only peer-reviewed journals were admitted, with no period delimitation. In the survey with keywords in English, 23,655 articles were found, of which only 10 were in Portuguese, the abstracts were read and 7 articles were selected, whose inclusion criteria were dealing with the themes, *synthesis, applications and biodegradation*. As for the search with the descriptors in Portuguese, the same criteria were used and Only 5 articles were selected to be addressed in this review. The survey showed the great disparity of national publications in relation

to the total. Based on the triple bottom line principle, where the production system must consider in its development, the people-profit-planet pillars, the development of biopolymers have become an relevant issue, due to the possibility of replacing plastics of synthetic origin, with a large volume of studies, but, however, still with few national publications, as pointed out by this research.

Keywords: biopolymer, polymer, degradation.

1. Introdução

1.1. Polímeros, Biopolímeros

Devido às boas propriedades como resistência à tração, resistência à corrosão, boa processabilidade em baixas temperaturas e baixa reatividade, os polímeros estão sendo, desde o século passado, pivôs para a substituição de materiais clássicos, como metais, couro, vidro e madeira. O consumo brasileiro de plásticos gira em torno de 1,3 milhões de toneladas e cresce cerca de 5,2% ao ano (SINDIPLAST, 2019). Entretanto, o material possui desvantagens como o uso de fonte não-renovável (petróleo) para obtenção de sua matéria-prima e a grande quantidade de resíduos sólidos gerada para descarte. No Brasil, em torno 85%, destes resíduos são descartados no meio ambiente (SILVA, RABELO, 2017). Nas últimas décadas é notório que o crescente aumento da urbanização, em escala global, tem levado a um aumento na geração de resíduos, que hoje representa um dos maiores impactos causados ao meio ambiente (ZAMORA, 2019).

Os biopolímeros ou bioplásticos compõem uma família de materiais com diferentes propriedades e aplicações. De acordo com a *European Bioplastics* (2020), um material é definido como bioplástico se for de fonte renovável, biodegradável ou apresentar ambas as propriedades. Os biopolímeros são divididos entre aqueles baseados em recursos renováveis e degradáveis que atendem a todos os critérios de padrões cientificamente reconhecidos para biodegradabilidade e compostagem de plásticos e produtos plásticos. Os primeiros não são necessariamente biodegradáveis ou compostáveis, embora a maioria seja. Em outro grupo estão aqueles que não precisam necessariamente se basear em matérias-primas renováveis para atender à norma, uma vez que a biodegradabilidade está mais diretamente relacionada à estrutura química do que à origem das matérias-primas. Embora o plástico obtido de matéria-prima renovável, como por exemplo, da cana-de-açúcar, possa ser considerado de menor impacto ambiental comparado ao plástico obtido do petróleo, não significa que ele seja biodegradável. Neste caso a redução no impacto ambiental está na fonte de recurso utilizada para a produção do plástico. Por outro lado, os plásticos biodegradáveis, mesmo sendo de origem fóssil, são degradáveis, reduzindo o impacto ambiental na etapa pós-uso (RUJNIĆ-SOKELE; PILIPOVIĆ, 2017). Assim, de acordo com a *European Bioplastics* (2020) tem-se três grupos: plásticos de fonte renovável ou parcialmente renovável, não biodegradáveis, tais como polietileno (PE), PP, poliamida (PA) e poli (tereftalato de etileno) (PET) e polímeros de desempenho técnico, como tereftalato de poli (trimetileno tereftalato) (PTT); plásticos que são de fonte renovável e biodegradáveis, tais como poli (ácido láctico) (PLA), poli (hidroxialcanoato) (PHA) ou poli (butileno

succinato) (PBS) e plásticos que são de fonte fóssil e biodegradáveis, tais como poli (adipato-co-tereftalato de butileno) (PBAT) e poli (caprolactona) (PCL).

Entre os bioplásticos de fonte renovável e biodegradáveis estão os polímeros poli (butileno succinato) (PBS), poli (adipato-co-tereftalato de butileno) (PBAT), poli (3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-hexanoato) (PHBH), poli (ácido láctico) (PLA). A estrutura desses copolímeros, ou seja, a natureza dos diácidos e dióis utilizados influenciam suas propriedades, bem como suas taxas de biodegradação. As massas molares desses polímeros variam de dezenas a centenas de milhares. O uso de aditivos como extensores de cadeia permite que a massa molar seja aumentada (VROMAN; TIGHZERT, 2009).

Entre os polímeros biodegradáveis comercialmente disponíveis, o PBAT (Figura 2) é indicado para aplicações em embalagens devido à sua boa processabilidade e biocompatibilidade. Os poli (hidroxialcanoatos) (PHA) pertence à família de poliésteres produzidos por fermentação bacteriana com potencial para substituir polímeros convencionais. O PHBH é um tipo de copolímero usado em embalagens flexíveis melhorando sua maquinabilidade (ZHANG et al., 2016). O PLA, um dos mais empregados, é um exemplo de bioplástico biodegradável que apresenta propriedades mecânicas comparáveis ao poliestireno (PS) e ao PET, sendo usado em embalagens rígidas, garrafas, filamentos para impressoras 3D, copos e talhares descartáveis substituindo o PS e o PET (ANDRADE et al., 2016).

Sob o cenário da economia circular, busca-se por materiais mais eficientes, sendo a maior preocupação relacionada a esses materiais, a sua destinação e disposição final. Portanto, há tempos vem se desenvolvendo novas tecnologias para o tratamento desses resíduos, sendo que as soluções mais utilizadas são o aterramento, incineração, reciclagem ou compostagem (VGR, 2020). Assim, bioplásticos biodegradáveis são ambientalmente melhores por se desintegrarem ao final da sua vida útil em poucos meses se reintegrando a natureza, diminuindo o acúmulo de resíduos nos aterros e oceanos. (AMORIM, 2019).

1.2. 1.2. Degradação, Biodegradação e Compostagem

A biodegradação é um processo complexo e multifacetado, envolvendo grande número e variedade de microrganismos do solo. A degradação de diferentes resíduos depende das condições locais e regionais como clima, tipo de solo, vegetação, fauna e microrganismos decompositores. Trata-se de um processo de desintegração causado por microrganismos que metabolizam os materiais em CO₂, água e CH₄. A biodegradabilidade depende de vários fatores como temperatura, umidade, população microbiana, ambiente terrestre ou aquático e exposição à luz. O prazo de degradação pode variar consideravelmente, podendo ser acelerado por meio da compostagem (KARAN et al., 2004). De acordo com a ABNT NBR 15448-2, os fatores para avaliação da compostagem satisfatória de um biopolímero são: biodegradação aeróbia, desintegração – considerando o impacto durante o processo – e qualidade do composto orgânico resultante.

Em relação à biodegradação aeróbia, para ser designada como organicamente recuperável, a embalagem plástica deve ser biodegradável. Para tanto, os requisitos a serem considerados incluem os constituintes orgânicos e o limite de biodegradação aeróbia (conversão do carbono orgânico a CO₂).

A compostagem é um processo bioquímico de decomposição aeróbia da matéria orgânica que ocorre por ação de agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio (IPT/CEMPRE, 1995). A compostagem aeróbia consiste no consumo de oxigênio e liberação de água e dióxido de carbono no ambiente pelo material quando misturado ao biocomposto (RUGGERO; GORI; LUBELLO, 2019). Os fatores a serem considerados na compostagem são: aeração, umidade, temperatura e nutrientes. (IPT/CEMPRE, 1995). A compostagem é utilizada para destinar resíduos orgânicos domiciliares e comerciais, entretanto, pode ser uma alternativa ambiental para destinar embalagens pós-consumo que sejam adequadas para este fim. O surgimento dos polímeros biodegradáveis levou a criação de normas para orientar os ensaios de biodegradação de materiais de embalagem em condições de compostagem (RUGGERO; GORI; LUBELLO, 2019).

Este artigo teve o objetivo de realizar uma análise bibliométrica e discussão dos artigos selecionados a partir do levantamento realizado no banco de dados do Portal de Periódicos da Capes, de acesso livre e gratuito.

2. Método

O estudo bibliométrico surgiu devido a necessidade de se mapear as produções, entender o comportamento de publicações científicas de um determinado campo de pesquisa e construir indicadores sobre a dinâmica e evolução dessas informações científicas e tecnológicas. Assim, ele contribui para a criação e gestão de conhecimento, o que possibilita a exploração e gera relacionamentos entre eles. Esta ferramenta quantitativa visa diminuir a subjetividade inerente à indexação e recuperação de informações, produzindo conhecimento em uma determinada área (GUEDES; BORSCHIVER, 2005). Essa ferramenta metodológica foi utilizada como embasamento para a seleção dos textos utilizados nessa revisão, a fim de caracterizar o o cenário nacional relacionado ao tema dessa pesquisa.

Inicialmente, realizou-se uma busca no Portal de Periódicos da Capes (acesso livre), empregando-se os descritores em inglês, “biopolymers and degradation”, sem recorte de período, resultando em um total de 25.043 publicações. Foram considerados apenas os artigos revisados por pares, resultando 23.655 artigos. Aplicou-se os filtros por tema *engineering, biopolymers, biopolymers, biodegradation, degradation, biodegradability*, e com isso o número de artigos foi de 11.490. Como o objetivo desta revisão foi analisar publicações brasileiras, refinou-se mais uma vez, por idiomas, obtendo-se apenas 20 artigos. Após a leitura dos resumos, destes foram selecionados apenas 5 para serem abordados nesta revisão, considerando – se que 4 deles tratavam das aplicações e 1 sobre degradação. Os demais foram excluídos por tratarem de outros temas.

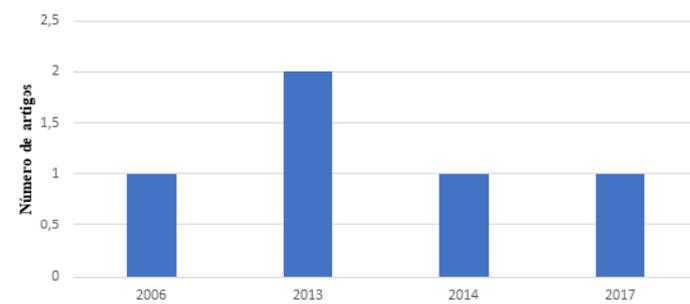
Ao se pesquisar o assunto, considerando-se as mesmas palavras – chave em português, “biopolímeros” e “degradação” ou “desintegração”, também sem recorte de período, foram encontrados somente 17 artigos, dos quais apenas 10 eram periódicos revisados por pares. A pesquisa mostrou, além do reduzido número de publicações, que estas se iniciaram em 2011, sendo que nos anos de 2012, 2013 e 2016 não houve registro de publicação. Para a presente revisão

de literatura, foram lidos os resumos dos 10 artigos revisados por pares, e 7 deles estavam aderentes ao tema desta revisão.

3. Resultados e Discussão

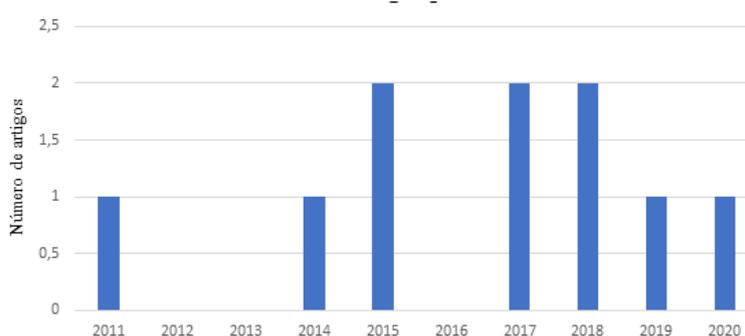
As métricas encontradas são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Número de artigos publicados com descritores biopolymers e degradation, sem recorte de período e em língua portuguesa



Fonte: Autores

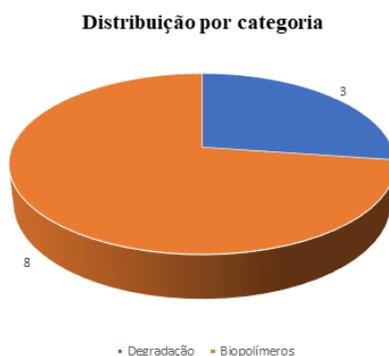
Figura 2: Número de artigos publicados com descritores biopolímeros e degradação sem recorte de período



Fonte: Autores

A figura 3 mostra a distribuição, por assunto, dos 11 artigos selecionados para esta revisão, já que houve sobreposição de um artigo entre os dois levantamentos. Oito artigos tratam das aplicações dos biopolímeros, 3 sobre a degradação desses bioplásticos.

Figura 3: Distribuição por categoria dos artigos selecionados para a revisão de literatura.



Fonte: Autores

A partir da leitura desses artigos, seus conteúdos serão discutidos de acordo com a natureza, síntese e aplicação desses biopolímeros, assim como suas características de degradação no meio ambiente.

3.1. Síntese de biopolímeros

Atualmente, há grande interesse nas pesquisas que desenvolvam tecnologias para a síntese e produção de polímeros baseadas em recursos naturais, atribuindo-lhes alta capacidade de degradação sem gerar resíduos tóxicos. As indústrias têm buscado materiais cuja deposição não prejudique o meio ambiente e sejam de baixo custo. Diante disso, há um aumento de estudos em aplicações das fibras vegetais, as quais podem substituir as sintéticas, além disso, os polímeros naturais, que também podem substituir os polímeros sintéticos (ALCÂNTARA; MENDES, 2018).

O desenvolvimento de produtos à base de polímeros naturais, biopolímeros e/ou biodegradáveis estão oferecendo diversas alternativas na busca de um processo de desenvolvimento mais sustentável. Entre esses materiais, a fécula de mandioca vem sendo bastante estudada na produção de materiais biodegradáveis, que também pode ser conhecida como amido de mandioca, polvilho doce ou goma de mandioca. O Brasil possui uma produção desse material em larga escala, tendo o Pará como maior produtor brasileiro, contribuindo cerca de 70,5 % da produção nacional. (ALCÂNTARA; MENDES, 2018). Segundo esses autores, trata-se de um produto inovador que pode ser aplicado em isolamento térmico. Outros autores (SANTOS *et al.*, 2017), apontam que o uso de polímeros biodegradáveis é uma alternativa ambientalmente correta que pode substituir os polímeros sintéticos, com longa vida no ambiente. Nesse cenário, o poli (3-hidroxi-butilato) (PHB), é um polímero que vem despertando crescente interesse no meio científico e industrial, pois além de possuir propriedades termoplásticas e características físicas e mecânicas semelhantes aos plásticos convencionais, é um material biodegradável, biocompatível e pode ser obtido por fontes renováveis.

3.2. Biopolímeros e Aplicações

Papalia e Londero (2015), apontam que a variedade e o consumismo de produtos industrializados com polímeros de origem sintética, nas últimas décadas, aumentaram a quantidade de descarte destes materiais, principalmente no que se refere ao uso de embalagens. Esses polímeros possuem longo período até se degradarem, pois possuem massa molecular alta, sendo que em alguns casos, essa decomposição pode levar séculos até ocorrer. Uma forma de diminuir o acúmulo destes materiais é a coleta seletiva, juntamente com os processos de reciclagem. Entretanto, essas condições não são acessíveis de forma igualitária à toda população.

De acordo com Santos *et al* (2015) as inovações tecnológicas de produtos ou processos são importantes para a gestão ambiental, principalmente quando estão relacionadas à proteção do meio ambiente. O desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis, passou a ser uma das alternativas das

empresas na busca de vantagem competitiva. Produto sustentável é um termo que compreende todos os tipos de produtos que têm, ou visam uma melhor qualidade ambiental e social, podendo estar relacionado com a implementação de normas ambientais e sociais, tendo como objetivo final a satisfação dos clientes e vantagem competitiva no mercado. Esses autores desenvolveram um capacete, utilizado como equipamento de proteção individual (EPI), a partir de biopolímeros a base de etanol da cana-de-açúcar, também conhecido como polipropileno verde. O capacete produzido com matéria-prima renovável foi submetido a testes e o resultado atendeu as mesmas características funcionais e estéticas do modelo tradicional. O capacete foi lançado no mercado nacional e internacional como um produto sustentável.

Com foco em novas alternativas para conservação dos alimentos na área de embalagens e filmes com características funcionais, de qualidade e que sejam biodegradáveis, uma interessante aplicação é a produção de filmes para embalagens a partir de biopolímeros. Nesse sentido, se destaca o estudo de Papalia e Londero (2015), que propuseram a síntese de filmes a partir de zeína, que é uma proteína derivada do endosperma do grão de milho, classificada no grupo das prolaminas e possuem alto teor de aminoácidos apolares, conferindo estrutura molecular hidrofóbica. De acordo com os autores, essa proteína possui alto grau de polimerização e de propriedades isolantes. Essas proteínas destacam-se na produção de filmes para conservação de alimentos muito perecíveis, e, também, microcápsulas na indústria farmacêutica. A síntese de novos materiais biodegradáveis substitui o uso de plásticos de origem sintética, que são derivados do petróleo, sabidamente prejudiciais ao meio ambiente. O desafio dos pesquisadores é encontrar aplicações que permitam o consumo em maior proporção de biomateriais para outros fins, resultando na redução de seu custo.

O uso do amido como matriz polimérica na produção de filmes biodegradáveis deve-se ao seu baixo custo, ser uma matéria prima renovável e, principalmente, às propriedades físico-químicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. Preocupados com a biodegradação de polímeros, Costa et al (2017) desenvolveram filmes biodegradáveis à base de amido da espécie de feijão, o macáçar, e como resultado, obtiveram filmes biodegradáveis com boas propriedades de continuidade, uniformidade, manuseabilidade, transparência e, ainda, ausência de bolhas e rachaduras na superfície. Os filmes biodegradáveis elaborados com amido de feijão macáçar são adequados para empacotar ou revestir produtos com baixo teor de umidade (COSTA *et al*, 2017).

De acordo com Cárdenas *et al.* (2006) a quitina é o segundo polissacarídeo mais abundante na natureza, é encontrada no exoesqueleto de artrópodes, ligada a proteínas, pigmentos e sais e fazendo parte da parede celular de diversos fungos. O derivado mais importante desse biopolímero é a quitosana, seu derivado desacetilado, que é composto principalmente por resíduos de 2-amino-2-desoxi- d -D-glucopiranosose ligados. Uma abordagem para minimizar o impacto negativo de pesticidas nos ecossistemas foi a síntese de quitosana metil e

etilcarbamato. Esses derivados podem atuar como inseticida de liberação controlada, tendo a vantagem de utilizar uma matriz polimérica biodegradável e biocompatível.

Entre muitas aplicações dos biopolímeros, a indústria biomédica é uma das mais importantes, considerando-se os segmentos farmacêutico, biotecnológico, de dispositivos médicos e diagnósticos. Os biomateriais, que imitam a matriz extracelular e, por sua vez, orientam o crescimento celular são úteis no desenvolvimento de um tecido tridimensional aplicáveis nas áreas de engenharia de tecidos e medicina regenerativa. Os materiais devem, portanto, ser biocompatíveis e fornecer um ambiente mecânico onde o novo tecido possa ser submetido ao estresse celular normal, ser poroso e permeável para permitir que os nutrientes entrem nas células e tenham uma estrutura de superfície adequada para adesão das células (DELGADO *et al*, 2017). De acordo com os autores, o mercado biomédico e de engenharia de tecidos tem impulsionado o avanço da ciência dos materiais para o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis, biocompatíveis, bioabsorvíveis e bioativos

Os principais polímeros com aplicações biomédicas são os poliacrilatos, poliamidas, poliois, policarbonato, poliestireno, entre outros. Contudo, estes não são biopolímeros, não são produzidos a partir de recursos renováveis. Outros biopolímeros incluem o ácido hialurônico, com importantes funções estruturais e biológicas em tecidos animais. Tem grande capacidade de lubrificação e absorção de água, o que influi em diversas funções celulares, tais como a adesão e proliferação. Também pode-se incluir o alginato, que também é um material biocompatível e biodegradável (DELGADO *et al*, 2017).

3.3. Degradação de biopolímeros no ambiente

A degradação dos plásticos convencionais traz a atmosfera o dióxido de carbono (CO₂) que esteve concentrado nas bacias de petróleo por milênios. Em contraste, alguns bioplásticos apresentam em seu ciclo de vida tanto a captura quanto a liberação de dióxido de carbono, uma vez que são produzidos a partir de vegetais que captam essa molécula ao realizar a fotossíntese. Em alguns casos, seu processo produtivo pode chegar a captar um volume de gases superior àquele liberado, contribuindo, portanto com a redução de emissões de CO₂ (AMORIM, 2019).

Preocupados com a escassa produção de biopolímero comparada com a produção de polímeros sintéticos, Salazar *et al.* (2014) dizem que a razão que leva os biopolímeros a serem pouco produzidos é o seu alto custo, e, com isso, estudaram, pela primeira vez dois substratos de baixo custo para produção em escala laboratorial do polímero Polihidroxialcanoato (PHA). De acordo com Gumel *et al.* (2014), os polihidroxialcanoatos (PHA) são biopolímeros que apresentam excelente biodegradabilidade e biocompatibilidade. Estes polímeros biodegradáveis possuem excelentes propriedades físico-mecânicas, resultando em seu aumento atual em diversas aplicações. Na verdade, eles são comumente utilizados em várias aplicações biomédicas que abrangem desde dispositivos de entrega de medicamentos até suportes para engenharia de tecidos. As bactérias

do gênero *Pseudomonas* são capazes de acumular PHA intracelular em condições limitadas de nutrientes e fonte abundante de carbono, como ácidos graxos. Essas bactérias, constituem, portanto, os biodecompositores desses polímeros no solo (GUMEL *et al*, 2014).

Quanto às perspectivas dos biopolímeros, de acordo com Valero-Valdivieso *et al.* (2013), o aumento dos preços internacionais do petróleo, a instabilidade da situação geopolítica das regiões com as grandes reservas mundiais e o consenso global sobre a necessidade de promover o desenvolvimento de tecnologias que reduzam a emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂, impulsionaram a produção de compostos a partir de matérias-primas baseadas em fontes renováveis. A reciclagem é e será uma solução, mas ocorre nos resíduos já gerados e, além disso, não é uma alternativa eficaz para todos os plásticos. Os biopolímeros, por outro lado, que vêm principalmente de recursos renováveis, tornam-se uma alternativa interessante para a indústria do plástico. Assim, as indústrias têm buscado materiais cuja deposição não prejudique o meio ambiente e sejam de baixo custo. Diante disso, fibras vegetais, bem como polímeros naturais, que podem substituir os polímeros sintéticos são grandes candidatos, gerando um interesse crescente, tanto na sociedade em geral quanto na indústria do plástico, quanto no setor agrícola, uma vez que significaria uma saída de seus produtos para diferentes mercados (VALERO-VALDIVIESO *et al.*, 2013; ALCÂNTARA; MENDES, 2018). A biodegradação de polímeros, no campo, gera produtos deste processo metabólico, como água, CO₂ e metano (biodegradação anaeróbica) e matéria orgânica (VALERO-VALDIVIESO *et al.*, 2013).

4. Considerações Finais

A sustentabilidade é um conceito exaustivamente discutido na atualidade, fundamentado no princípio do *triple bottom line*, onde o sistema produtivo deve considerar no seu desenvolvimento, os 3 pilares *people-profit-planet*. Dentro deste contexto, os biopolímeros tornaram-se um assunto emergente, em função da possibilidade de substituírem os plásticos de origem sintética, com grande volume de estudos, mas, entretanto, ainda com poucas publicações nacionais, apontando uma lacuna na literatura a ser preenchida. Os biopolímeros, apesar de ainda serem mais onerosos, são uma alternativa sustentável para substituir os polímeros derivados de fontes não renováveis, por possuírem menor tempo para sua degradação no ambiente e por oferecerem múltiplas aplicações.

Referências

- ALCÂNTARA, E. M. D.; MENDES, J. U. L. Desenvolvimento de um biopolímero de fécula de mandioca para isolamento térmico. *Holos*, [S.l.], v. 7, p. 38-52, dez. 2018.
- AMORIM, D. P. L. Bioplásticos: benefícios sustentáveis e ascensão na produção. *Revista metropolitana de sustentabilidade*. Fundação Dom Cabral – SP, v. 9, n. 1, 2019.
- ANDRADE, Marina F. Cosate de *et al.* Life Cycle Assessment of Poly (lactic acid) (PLA): Comparison Between Chemical Recycling, Mechanical Recycling and Composting. *Journal of Polymers and the Environment*, [s.l.], v. 24, n. 4, p.372-384, 20 jul. 2016.

ASSIS, O. B. G.; BRITO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. *Brazilian Journal of Food Technology*. v. 17, n. 2, p. 87 – 97, jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15448-2: Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis. 2008.

CÁRDENAS, G.; CABRERA, G.; TABOADA, E.; RINAUDO, M. Síntese e caracterização do fosfato alquilo de quitosana. *Jornal da Sociedade Chilena de Química*, v. 51, n. 1, 2006.

COSTA, D. M. A.; SANTOS, A. F.; SILVA, E. D.; SILVA, I. A. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macacão (*Vigna unguiculata*). *Holos*, v. 7, p. 2-16, dez. 2017.

EPC. European Plastics Conference 30 November and 1 December 2021 at the Mercure Hotel MOA Berlin, Germany. Disponível em <https://www.european-bioplastics.org/events/eubp-conference/>. Acesso em 14 jul. 2021.

FARIASA, R. F.; CANEDO, E. L.; WELLENC, R. M. R.; RABELLO, M. S. Environmental Stress Cracking of Poly(3-hydroxybutyrate) Under Contact with Sodium Hydroxide. *Materials Research*, v. 18, n. 2, p. 258-266, 2015.

FECHINE, Guilhermino José Macêdo. *Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial*. São Paulo: Scielo - Editora Mackenzie, 2013. 130 p.

GOALS. Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future. Sustainable Development - Knowledge Platform, 2020. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>; Acesso em: 15 mai. 2021.

GUMEL, A.M.; ANNUAR, M.S.M.; HEIDELBERG, T. Growth kinetics, effect of carbon substrate in biosynthesis of mcl-PHA by *Pseudomonas putida* Bet001. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 45, p. 427-438, 2014.

HORBAN, M. A.; SILVA, A. A.; MAYDL, M. P.; CASTELLA, R.; LUNELLI, C. E. Produção de poli (ácido láctico) a partir do soro do leite. *Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 3, n. 8, p. 1136-1150, 2017.

IPT/CEMPRE (São Paulo). *Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado*. 2. ed. São Paulo: IPT, 1995. 370 p.

JUSTUS, A.; BENASSI, M. T.; IDA, E. I.; KUROZAWA, L. E. Estabilidade física e química de hidrolisados proteicos de okara microencapsulados por spray drying. *Brazilian Journal of Food Technology*. Universidade Estadual de Londrina, v. 23, 2020.

KARAM, K. F. A mulher na agricultura orgânica e em novas ruralidades. *Estudos Feministas*, Florianópolis, v.12 n.1, p.303-320, jan./abr. 2004.

LEIMANN, F. V.; BIZ, M. H.; KAUFMANN, K. C.; MAIA, W. J.; GONÇALVES, O. H.; FILHO, L. C.; SAYER, C.; ARAÚJO, P. H. H. Characterization of progesterone loaded biodegradable blend polymeric nanoparticles. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n. 11, p. 2082-2088, 2015.

MENDES, J. U. L. ALCÂNTARA, E. M. D. Desenvolvimento de um biopolímero de fécula de mandioca para isolamento térmico. *Holos*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, v. 4, p. 38 – 52, 2018.

OSORIO-DELGADO, M. A.; HENAO-TAMAYO, L. J.; VELÁSQUEZ-COCK, J. A.; CAÑAS-GUTIERREZ, A. I.; RESTREPO-MÚNERA, L. M.; GAÑÁN-ROJO, P. F.; ZULUAGA-GALLEGO, R. O.; ORTIZ TRUJILLO, I. C.; CASTRO-HERAZO, C. I. Biomedical applications of polymeric biomaterials. *Dyna rev.fac.nac.minas*, Medellín, v. 84, n. 201, p. 241-252, 2017.

RODRIGUEZ, G. F.; PUERTO, L.; VENTURINI, N.; PITA.; BRUGNOLI, E.; BURONE, L.; MUNIZ, P. Diatoms, protein and carbohydrate sediment content as proxies for coastal eutrophication in Montevideo, Rio de la Plata Estuary, Uruguay. *Braz. j. oceanogr.* São Paulo, v. 59, n. 4, p. 293-310, 2011.

RUJNIC-SOKELE, M.; PILIPOVIĆ, A. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research*, v. 35, n. 2, p. 132 - 140, 2017.

RUGGERO, F.; GORI, R.; LUBELLO, C. Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: A review. *Waste Management & Research*, [s.l.], v. 37, n. 10, p.959-975, 20 jun. 2019. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x19854127>.

SALAZAR, A.; YEPES, M.; CORREA, G.; MORA, A. Polyhydroxyalkanoate production from unexplored sugar substrates. *Dyna*, Medellín, v. 81, n. 185, p. 73-77, 2014.

SANTOS, A. J. VALENTINA, L. V. O. D.; SCHULZA A. H.; DUARTE, M. A. T. Da obtenção à degradação do PHB: uma revisão da literatura. Parte I. Engenharia e ciência. Medellín, v. 14, n. 27, p. 207-228, jun. 2018.

SANTOS, A. J. VALENTINA, L. V. O. D.; SCHULZA A. H.; DUARTE, M. A. T. Da obtenção à degradação do PHB: uma revisão da literatura. Parte II. Engenharia e ciência. Medellín, v. 14, n. 27, p. 207-228, jun. 2018.

SANTOS, M. R.; SHIBAO, F. Y.; VISTA, H. A. B. Produto sustentável: equipamento de proteção individual fabricado com plástico verde. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. São Paulo, v. 4, n. 1, p. 59 – 71, 2015.

SILVA, F. A. D.; RABELO, D. O uso sustentável de Polímeros. Revista Processos Químicos, Anápolis, v. 1, p. 9 - 16, jun. 2017.

SILVA, M. C. Polímeros Biodegradáveis: Tipos, Propriedades e Aplicações. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Polímeros) – Centro Universitário da Zona Oeste. Rio de Janeiro, 2013.

SILVA, T. M.; PINTO, O. G.; DA SILVA, L. L.; DE PAIVA, R. K. C.; BORGES, L. L.; CARAMORI, S. S. Gum of Terminalia argentea Mart. Et. Zucc. (Combretaceae) as a Resource in Biotechnology Processes: Chemistry and Toxicity. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, v. 8, n. 2, p. 52-72, 2019.

SINDIPLAST. Índice de plástico reciclado pós-consumo cresceu em 2019. Sindiplast, 2021. Disponível em: <http://www.sindiplast.org.br/sem-categoria/indice-de-plastico-reciclado-pos-consumo-cresceu-em-2019-segundo-estudo-encomendado-pelo-picplast/> Acesso em: 12 jun. 2021.

SINGH, A. V.; SHARMA, N. K. Characterisation and applications of synthesised cation exchanger guar gum sulphonic acid (GSA) resin for removal and recovery of toxic metal ions from industrial wastewater. Water SA, Pretória, v. 37, n. 3, p. 295-302, 2011.

TAUK, S. M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. Revista brasileira de geociência. UNESP Rio Claro, v. 20, p. 299 – 301, mar/dez. 1990.

TAVARES, L.B. et al. PBAT/kraft lignin blend in flexible laminated food packaging: Peeling resistance and thermal degradability. Polymer Testing, [s.l.], v. 67, p.169-176, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.03.004>.

TRUJILLO-ROLDAN, M. A; MONSALVE-GIL, J. F.; CUESTA-ÁLVAREZ, A. The production, molecular weight and viscosifying power of alginate produced by Azotobacter vinelandii is affected by the carbon source in submerged cultures. Dyna rev.fac.nac.minas , Medellín, v. 82, n. 194, pág. 21-26, 2015.

VALERO-VALDIVIESO, M. F.; ORTEGON, Y.; USCATEGUI, Y. Biopolímeros: avances y perspectivas. Dyna, Medellín, v. 80, n. 181, p. 171-180, 2013.

VGR. Conheça algumas tecnologias para tratamento de resíduos sólidos. 2020. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/conheca-algumas-tecnologias-para-tratamento-de-residuos-solidos/>. Acesso em 08. jul. 2021.

VROMAN, I.; TIGHZERT, L. Biodegradable Polymers. Materials, n. 2, p. 307-344, 2009.

WENZEL, I. M.; FILHO, A. B.; GIORDANOL, I. B.; DENADAEL, B. E.; FERNANDES, J. B.; FORIM, M. R. Compatibility of polymers to fungi Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae and their formulated products stability. Acta Scientiarum, Maringá, v. 39, n. 4, p. 457-464, 2017.

ZAMORA, A. M. Atlas do plástico - Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. Heinrich Böll Stiftung. Berlim: Nora Bibel. 2019.

ZHANG, M., DIAO, X. Q.; JIN, Y. J.; WENG, Y. X. Preparation and characterization of biodegradable blends of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) and poly (butylene adipate-co-terephthalate). Journal of Polymer Engineering 36(5): 473-480, 2016.