

Estudo das oportunidades do mercado industrial relacionados a utilização bioplásticos microbianos em substituição a plásticos derivados do petróleo

Study of industrial market opportunities related to the use of microbial bioplastics to replace petroleum-based plastics

DOI:10.34117/bjdv8n5-048

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

Márcia Féldreman Nunes Gonzaga

Mestrado em Comunicação e Cultura

Instituição: Universidade de Sorocaba

Endereço: Rod. Raposo Tavares, km 92,5 - Vila Artura, Sorocaba - SP

E-mail: marcia.feldreman@gmail.com

Fabio Marcio Squina

Doutorado em Biologia Celular e Molecular

Instituição: Universidade de Sorocaba

Endereço: Rod. Raposo Tavares, km 92,5 - Vila Artura, Sorocaba - SP

E-mail: fabio.squina@prof.uniso.br

RESUMO

Nos últimos 10 anos, houve em todo o mundo um considerável crescimento na produção de plásticos a partir de fontes não renováveis, em substituição de matérias derivados de petróleo, que apresentam efeitos nocivos ao meio ambiente. Várias empresas apostaram no desenvolvimento dos bioplásticos, como por exemplo os polihidroxialcanoatos (PHA), devido a características como estabilidade, durabilidade, biodegradabilidade e não toxicidade. Neste artigo, apresentamos uma pesquisa qualitativa com abordagem descritiva de caráter exploratória sobre esse tema. Para realizar a pesquisa, foram utilizadas publicações do portal de periódicos da Capes, a plataforma *ScienceDirect*, as bases de dados *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE) e *U.S. National Library of Medicine* (PUBMED). Nota-se a tendência de substituição dos polímeros desenvolvidos de origem petroquímica por bioplástico microbianos. Para viabilizar economicamente a produção de bioplástico microbianos, faz se necessário pesquisas à utilização de substratos com baixo custo para a fermentação microbiana, redução do tempo de processo e utilização de materiais de baixa toxicidade (ou atóxicos) à extração dos polímeros. A produção de bioplásticos microbianos é um tema de grande relevância e interesse de indústrias, do governo e do mundo todo. Porém o processo de extração de bioplásticos produzidos por cepas bacterianas ainda é considerado de alto custo. O uso comercial de bioplásticos produzidos por cepas bacterianas sem dúvidas terá um grande potencial a ser utilizado como substituto alternativo a plásticos derivados de petróleo. Por fim, as diversas percepções debatidas ao decorrer dos trabalhos analisados permitem inferir que, em relação à produção de biopolímeros sustentáveis, visando fabricação em larga escala pela indústria, ainda há uma grande trajetória a se percorrer.

Palavras-chave: biopolímeros, bioplástico microbiano, polihidroxialcanoatos, extração de pha.

ABSTRACT

In the last ten years, there has been considerable growth worldwide in the production of plastics from non-renewable sources for replacement materials produced from petroleum derivatives, which have harmful effects on the environment. Several companies have invested in developing bioplastics, such as polyhydroxyalkanoates (PHA), due to stability, durability, biodegradability, and non-toxicity. This is a qualitative research with a descriptive exploratory approach on this topic. To carry out the research, publications from the Capes journal portal, the ScienceDirect platform, the Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE), and the U.S. National Library of Medicine (PUBMED) databases were used. There is a tendency to substitute polymers developed from petrochemicals for microbial bioplastics. It is necessary to research using low-cost substrates for microbial fermentation, reducing process time, and using low toxicity (or non-toxic) materials for polymer extraction to make microbial bioplastics economically viable. The topic, the production of microbial bioplastics, is of great relevance and interest to industries, the government, and the world. However, the extraction process of bioplastics from bacterial strains is still considered of high cost. The commercial use of bioplastics will undoubtedly have great potential as an alternative substitute for petroleum-based plastics. However, the various perceptions discussed during the analyzed works allow us to infer that, concerning the production of sustainable biopolymers, aiming at large-scale manufacturing by the industry, there is still a long way to go.

Keywords: biopolymers, microbial bioplastic, polyhydroxyalkanoates, pha extraction

1 INTRODUÇÃO

No início do século 20, ocorreu uma explosão no desenvolvimento e uso de plástico na vida cotidiana (JUDITH et al., 2020). Os plásticos desenvolvidos à base de petróleo são utilizados extensivamente no cotidiano, sendo parte essencial da sociedade moderna, substituindo matérias primas como madeira, metal e outras aplicações industriais e médicas, devido às suas características de estabilidade e durabilidade (MOZEJKO-CIESIELSKA *et al.*, 2019). Por conta do uso em larga escala e pela baixa degradação do plástico, houve consequências ao meio ambiente, como o acúmulo do material em aterros sanitários e a poluição de oceanos. Além de gerar impactos do meio ambiente, a produção de plástico convencional, desenvolvido a partir de recursos de petróleo, também se faz como um crescente problema no mundo, devido ao fato do petróleo ser um recurso que está se esgotando: com os níveis atuais de consumo, espera-se que todas as fontes de petróleo conhecidas no planeta estarão esgotadas antes do fim do século 21 (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2018; JUDITH *et al.*, 2020).

O grande problema em relação ao plástico advém da gestão dos resíduos, ou ao descarte destes produtos, observado que são produzidas mais de 300 toneladas de plástico e que aproximadamente 50% deste volume se volta a produtos que são descartados dentro

de um ano após sua compra – o que acarreta em consequências ambientais à nível global (SINGH *et al.*, 2016). A Agenda 2030 da ONU (Organização das Nações Unidas) traça aconselhamentos determinados como Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais abrangem questões sociais, ambientais, da educação, saúde, dentre outros, destacados na plataforma, conforme apontado em seu objetivo nº 12.5, texto que enfatiza quanto à geração de resíduos, a reciclagem e o consumo, meio de reciclagem, prevenção e reuso de embalagens (ONU, 2018).

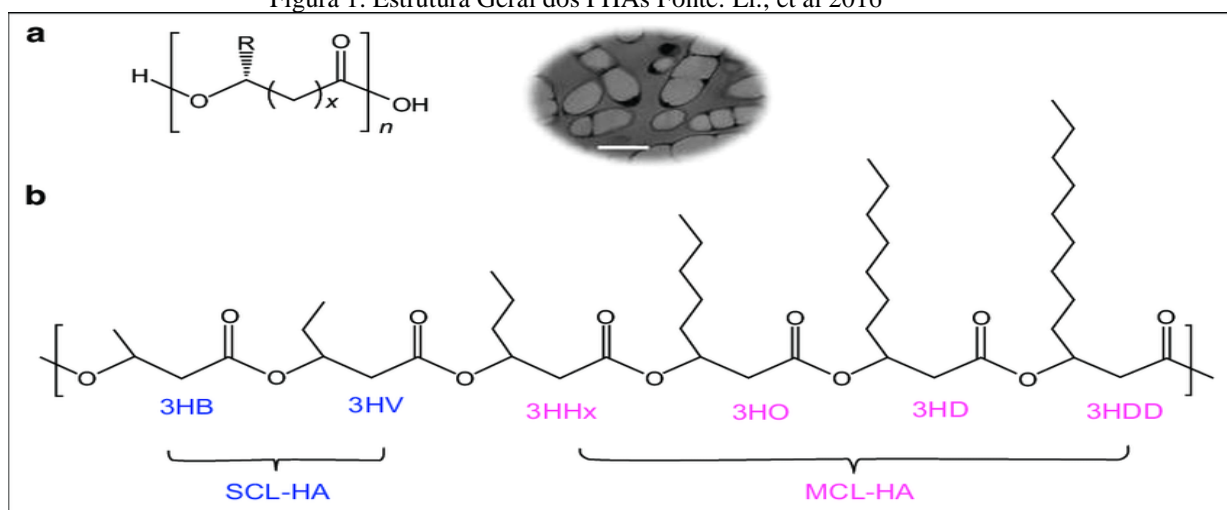
O Brasil é um país com alto potencial para contribuir com a sustentabilidade por possuir muitas reservas naturais, grande biodiversidade e variações climáticas consideráveis. Nos anos recentes, tem se evidenciado o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, se tornando necessário desenvolver inovações tecnológicas para a substituição dos plásticos sintéticos pela produção de plásticos biodegradáveis (MOZEJKO-CIESIELSKA *et al.*, 2019; QUINES *et al.*, 2015). Especialistas pesquisadores de áreas multidisciplinares, tais como químicos, bioquímicos, biólogos moleculares, microbiologistas, engenheiros químicos e médicos, apostam no desenvolvimento de biopolímeros produzidos por fontes renováveis. (CHEN, 2010; MENDONÇA *et al.*, 2013). O bioplástico pode ser definido como material plástico moldável feito de compostos químicos derivados ou sintetizados por micróbios, tal qual as bactérias ou plantas, sendo obtido por recursos renováveis e, em alguns casos, são biodegradáveis (JUDITH *et al.*, 2020).

O termo polihidroxialcanoato (PHA) é utilizado para se referir à família de poliésteres de origem microbiana, produzidos biotecnologicamente a partir de fontes renováveis. Os PHA são acumulados por microrganismos como materiais de reserva de carbono e de energia. Este tipo de bioplástico vem sendo pesquisado há mais de 70 anos, tratando-se de um material biológico importante, semelhante à composição dos plásticos derivados de petróleo, entretanto, sendo sustentável e biodegradável e considerado promissor (WANG; CHEN, 2017).

O PHA, além de ser biocompatível e biodegradável, não são tóxicos, sendo comercializado por muitas empresas, como matéria-prima em forma de pellets ou em pó, e estes são provenientes de microrganismos e suas propriedades, são semelhantes aos polímeros sintéticos. São comercializados para aplicações como por exemplo nas áreas médicas, como películas e suturas, também em frascos para cosméticos, possibilitando, assim, novas tecnologias para vários campos da indústria. (MOZEJKO-CIESIELSKA *et al.*, 2019)

Com descrito na figura abaixo, a fórmula geral do PHA é composta por múltiplas unidades, ou seja, unidades de ácidos hidroxialcanóicos, sendo estes classificados conforme a constituição átomos de carbono da sua cadeia lateral, ou seja, de átomos de carbono (R). A estrutura do PHA pode ser modificada por meio natural, químico ou físico. Podem ser classificados em 3 grupos: o hidroxialcanoatos de cadeia lateral curta (PHA – scl), constituídos de 3 a 5 monômeros C₆ C₁₄; Os hidroxialcanoatos de cadeia média (PHA - mcl) que variam, em média 6 a 14 monômeros de carbono; Os hidroxialcanoatos de cadeia longa (PHA – lcl), cujo os monômeros contém mais de 14 átomos (DELGADO 2015.; LI.; *et al* 2016.; CHOONUT 2019). Os materiais moldáveis desenvolvidos de PHAs incluem plásticos biodegradáveis para fins de embalagem que não agridem o meio ambiente, fibras, implantes biodegradáveis e biocompatíveis, transportadores de liberação controlada para drogas ou fármacos, biocombustíveis, na fermentação industrial, etc (Chen, 2010).

Figura 1. Estrutura Geral dos PHAs Fonte: Li.; et al 2016



Legenda:

- a. A estrutura identificada como “a”, apresenta a estrutura química geral dos PHAs.
- b. A estrutura identificada como “b”, é a representação do grupo de cadeias de PHAs.

Os desafios apontados pelas indústrias de biopolímeros estão relacionados à competição com os plásticos derivados do petróleo. Para tornar estes plásticos mais competitivos, nota-se a necessidade da redução dos custos para sua produção, que estes possuam características superiores ou semelhantes às apresentadas por alguns dos tipos de plásticos convencionais e possuírem aplicações com alto valor agregado, como é o caso do uso para aplicações médicas (QUINES *et al.*, 2015). Assim o presente trabalho se justifica pela importância de conscientização da sociedade quanto ao tema, bem como

para reforçar quanto à necessidade de investimento em pesquisas científicas com apoio governamental e por meio de empresas privadas, apostando em inovações no desenvolvimento tecnológico das indústrias. Além disso, a produção em larga escala de biopolímeros sustentáveis poderia impulsionar crescimento e desenvolvimento econômico e industrial do país.

2 MATERIAL E MÉTODO

A partir da problemática levantada, o objetivo da pesquisa foi realizar um estudo teórico com abordagem em método descritivo e exploratório, baseado na busca de pesquisas elaboradas por outros autores especializados no assunto, trazendo o conhecimento científico sobre a produção e aplicação de bioplásticos microbianos. Para realizar a pesquisa, foram utilizadas publicações do portal de periódicos da Capes, a plataforma *ScienceDirect* e as bases de dados *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE) e *U.S. National Library of Medicine* (PUBMED). O levantamento dos artigos científicos nas bases de dados aconteceu no ano de 2021. A busca de artigos se deu a partir das palavras-chave: *Production biopolymers*, *Microbial bioplastic*, *Polyhydroxyalkanoates* (PHA). Quanto ao critério para seleção dos artigos, optou-se por investigar as publicações internacionais e nacionais, analisando, em seguida, a pertinência, relevância e elegibilidade para o tema.

Na coleta e análise dos dados foi construído um quadro investigativo dos artigos, sobrepondo as seguintes etapas: (1) identificação do tema; (2) identificação dos principais objetivos; e (3) interpretação dos resultados encontrados nos artigos. Foram excluídos os estudos que não abordassem a temática relacionada ao objetivo desta revisão. Para seleção dos artigos, foi realizada pesquisa pelas palavras-chave em cada uma das bases de dados – etapa que caracterizou a primeira fase da seleção. A segunda fase foi determinada por meio da leitura dos títulos e resumos e a terceira fase foi composta pela leitura dos artigos completos. Ao final da busca, foram selecionadas 22 produções científicas para o desenvolvimento da introdução e resultados desta pesquisa. O fluxograma da busca nas bases de dados encontra-se nesta revisão integrativa.

Quadro 1 – Estratégias de busca detalhada no portal de periódicos Capes, ScienceDirect, BVS – Bireme: bases de dados Medline, PubMed, respectivamente

Production of biopolymers from poli-hidroxiálcanoatos

(Production of biopolymers) AND (Polyhydroxyalkanoates (PHA)) OR (bioplastic) AND (bioplastic microbial) AND (fulltext:("1") AND db:("CAPES" OR "SCIENCEDIRECT" OR "ELSEVIER" " MEDLINE" OR "PUBMED") AND la:("pt" OR "en" OR "es") AND year cluster:("2010" OR "2011" OR "2012" OR "2013" OR "2014" OR "2015" OR "2016" OR "2017" OR "2018" OR "2019" OR "2020").

"Polyhydroxyalkanoates (PHA)" [MeSH Terms] OR (" Polyhydroxyalkanoates" (PHA) [All Fields] AND "biopolymers" [MeSH Terms]) OR "biopolymers" [All Fields] AND "production Polyhydroxyalkanoates (PHA) " [MeSH Terms] OR "production Polyhydroxyalkanoates (PHA)" [All Fields]) OR "biopolymers Polyhydroxyalkanoates" [MeSH Terms] OR "biopolymers Polyhydroxyalkanoates" [All Fields] "cepas Polyhydroxyalkanoates " [MeSH Terms] OR "cepas Polyhydroxyalkanoates" [All Fields], "Bioplastic" [MeSH Terms] OR "Bioplastic" [All Fields].

Quadro 2 – Artigos Selecionados

Título	Ano e País de Origem	Autor	Revista ou periódico (ISSN)	Tipo de estudo	Objetivos do estudo	Resultados principais
Production of Polyhydroxyalkanoates Copolymers by Recombinant Pseudomonas in Plasmid- and Antibiotic-Free Cultures	2018 Brasil	OLIVEIRA-FILHO et al.	Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology DOI: 10.1159 / 000495752	Pesquisa experimental	Descrever a integração de 3 estratégias distintas para integrar na genes heterólogos em cromossomos bacterianos de Pseudomonas spp	O autor descreveu a inserção de três genes heterólogos codificantes de PHA sintase provenientes de <i>R. eutropha</i> H16, <i>Aeromonas sp.</i> TSM81 e <i>Aeromonas hydrophila</i> ATCC7966 nas cepas de <i>Pseudomonas</i> LFM046 e LFM461. Foram testadas a produção de PHA usando glicose como única fonte de carbono em culturas sem adição de antibióticos.
Purification of Poly (3-hydroxybutyrate) Produced by Fatty Acid Fermentation Using Organic Polar Solvents	2018 Colômbia	RAMOS et al.	<i>The Italian Association of Chemical Engineering</i> ISBN 978-88-95608-64-8; ISSN 2283-9216 DOI: 10.3303/CET1 867112	Pesquisa experimental	Avaliar a aplicação de diferentes processos de purificação a fim de se obter um polímero de alta pureza	Os materiais obtidos na purificação do clorofórmio apresentavam propriedades mecânicas pobres, aparência ruim e eram amarelados e com forte odor gerado pelo óleo remanescente

<p>Comparação de diferentes metodologias para purificação de PHA: uma revisão bibliográfica</p>	<p>2018 Brasil</p>	<p>BISSACOT</p>	<p>LUME - Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul</p>	<p>Revisão de literatura</p>	<p>de Reunir estudos de metodologias de recuperação de PHA visando aplicação em escala industrial</p>	<p>Diversos estudos têm como objetivo de buscar métodos que preservem as características do polímero, possibilitando a rendimentos, baixo custo e de consciência ambiental sustentável. Reduzir riscos e impactos ambientais</p>
<p>Optimization of Green Extraction and Purification of PHA Produced by Mixed Microbial Cultures from Sludge</p>	<p>2020 Brasil Chicago</p>	<p>DE SOUZA REIS <i>et al.</i></p>	<p><i>Water 2020 MDPI</i> https://doi.org/10.3390/w12041185</p>	<p>Pesquisa Experimental</p>	<p>Otimizar a extração “verde” e a purificação de PHA de uma cultura microbiana mista, usando carbonato de dimetila e 1-butanol, respectivamente</p>	<p>A extração de PHA de culturas microbianas mistas pode ser realizada com sucesso. Embora maiores rendimentos de extração possam ser obtidos com clorofórmio ou diclorometano como solventes, dentre outros.</p>
<p>Plastics Completely Synthesized by Bacteria: Polyhydroxyalkanoates</p>	<p>2010 China</p>	<p>CHEN</p>	<p><i>Springer-Verlag Berlin Heidelberg</i> DOI: 10.1007/978-3-642-03287_5_2</p>	<p>Estudo teórico</p>	<p>Identificar aplicações e oportunidades relacionadas a produção de bioplásticos microbianos.</p>	<p>As tecnologias de produção do PHAs podem gerar uma cadeia de valor industrial. Nos últimos 20 anos, PHAs tem sido utilizados também na área médica, como dispositivos, parafusos, preenchimento ósseos, fios de sutura.</p>
<p>Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos</p>	<p>2017 Brasil</p>	<p>PINSKY <i>et al.</i></p>	<p>Inovação Estudos Avançados SciELO - Scientific Electronic Library Online 10.1590/s0103-40142017.3190008</p>	<p>Estudo Teórico</p>	<p>Compreender determinados condicionantes que influenciam o desempenho de projetos de ecoinovação</p>	<p>O estudo identificou vários fatores semelhantes e determinantes de planos de ecoinovação em distintos setores, tais como o desenvolvimento de projetos ausentes de políticas públicas eficientes e mecanismo de ação incentivador para a viabilidade econômicas desses projetos.</p>

Exploring the potential of <i>Burkholderia sacchari</i> to produce polyhydroxyalkanoates	2013 Brasil	MENDONÇA A <i>et al.</i>	<i>Journal of Applied Microbiology</i> ISSN: 1364-5072	Pesquisa Experimental	O estudo teve por objetivo de avaliar a capacidade de <i>Burkholderia sacchari</i> para produzir diferentes monômeros em (PHA).	<i>Burkholderia sacchari</i> é altamente eficiente na conversão de fontes de carbono em PHA. As fontes de carbono testadas, apresentam bom rendimento na produção P3HB (poli-3-hidroxibutirato e 3HHx (hidroxihexanoato)
Polihidroxicloroalcanos (PHA) produzidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial	2015 Colômbia	DELGADO; CORDOBA	<i>Fundación Dialnet</i>	Revisão Bibliográfica	Realizar estudos recentes dos PHA que busquem substratos econômicos e estratégias de extração que permitam redução dos custos para a impulsionar economicamente sua produção	As matérias primas da produção de bacterias de PHA são biodegradáveis e renováveis, contribuindo assim com meio ambiente. Mas ainda existe limitação para sua produção em grande escala, devido ao alto custo comparando com plásticos convencionais
PHA Recovery from Biomass	2013 Arábia Saudita	MADKOUR <i>et al.</i>	<i>Biomacromolecules</i>	Revisão bibliográfica	Estudo geral sobre os diferentes processos que resultam na liberação de moléculas de poliéster ou os grânulos de PHA, e avaliar processos que descrevem sobre a adequação de uso em larga escala na indústria	A recuperação de PHA a partir da biomassa produzida é uma etapa muito importante em todo o processo de produção. A recuperação não requer apenas a liberação do poliéster, incluem também todo o processo do pré tratamento e tratamento da biomassa, incluindo também a fase de recuperação.
Síntesis de bioplásticos a partir de microorganismos	2017 Colômbia	MICÁN <i>et al.</i>	<i>Semilleros: Formación Investigativa</i> ISSN 2463-0454	Revisão bibliográfica	O artigo analisa o panorama geral da produção de bioplásticos, e as propriedades dos PHA e as condições para sua produção tais como: tempo, agitação, PH, temperatura, substratos e meios cultivos, e os diversos microrganismos	A conclusão do estudo, descreve que é necessário avaliar o microrganismo a ser estudado, fazendo comparativos com vários outros tipos para obter um melhor rendimento e produção de bioplásticos

Biofuel from Polyhydroxyal kanoates (PHAs).	2019 Tailândia	Choonut, Aophat & Sangkharak, Kanokphorn.	https://www.researchgate.net/publication/343083324	Revisão de literatura	de	O autor realizou uma pesquisa sobre as propriedades dos PHAs como biocombustíveis	O autor conclui que a alta demanda por biocombustíveis tem estimulado fontes renováveis, onde refere que a aplicação de polihidroxicanoatos (PHAs) como fonte de biocombustível demonstra ser muito promissora, porque não exige PHAs altamente purificados resultando em redução de custos
Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches	2016 Índia	P. Singh, V.P Sharma	Published by Elsevier Procedia Environmental Sciences doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.068			O autor descreve sobre a poluição por plásticos, e sendo estes fatos resultantes em perdas econômicas. renováveis	Como discussão o autor menciona que biopolímeros apresentam sustentabilidade ambiental
Polyhydroxyal kanoates: sustainability, production, and industrialization	2017 Alemanha	WANG <i>et al.</i>	<i>Sustainable Polymers from Biomass GmbH & Co. KGaA</i>	Revisão bibliográfica		Estudo teórico sobre aspectos de sustentabilidade dos PHAS	A síntese de biopolímero em bactérias é favorável a sustentabilidade ao meio ambiente, mas apresentam como principal barreira o alto custo da produção
Recent Advances and Challenges towards Sustainable Polyhydroxyal kanoate (PHA) Production	2017 Dinamarca	KOURMEN TZA <i>et al.</i>	<i>Bioengineering</i>	Revisão de literatura	de	Apresentar etapas do processo geral de produção de poli-hidroxiconato	Os processos biotecnológicos, assim como recursos microbianos, ainda estão sendo desenvolvidos e pouco explorados
Methods for identification, quantification and characterization of polyhydroxyal kanoates-a review	2016 Índia	GODBOLE	<i>International Journal of Bioassays</i> 5.4 4977-4983	Revisão de literatura	de	Realizar uma análise do processo de identificação e caracterização e quantificação dos grânulos de PHA a partir de coloração por Sudan Black e azul do Nilo bem como, Métodos Espectrofotométricos	Técnicas simples e rápida com o uso do microscópico acoplados com coloração com Nilo Azul e Sudan Preto são utilizadas para a identificação de microrganismos produtores de PHA

<i>Pseudomonas</i> Species Producers of Eco-friendly Polyhydroxyl kanoates	2019 Polônia	MOZEJKO-CIESIELSK A <i>et al.</i>	<i>Journal of Polymers and the Environment</i>	Estudo Teórico		Fornecer uma visão geral das tendências recentes para a produção de PHAs com foco no desenvolvimento de estratégias de fermentação, utilização de diferentes fontes de carbono.	Em vias da melhoria da produtividade dos PHAs, os processos de otimização usando o modo contínuo de operação precisam ser implementados. Além disso, aponta-se para o desenvolvimento de uma cascata de biorreator de múltiplos estágios que poderia resultar na produção de blocos de copoliésteres com propriedades únicas
Polyhydroxyl kanoates: opening doors for a sustainable future	2016 Singapura	Li <i>at al.</i>	<i>NPG Asia Materials</i> doi:10.1038 / am.2016.48	Revisão de literatura	de	O autor faz uma revisão de literatura sobre modificação de PHA e estratégias e funcionalização	Em sua discussão final o autor descreve que PHAs modificados são promissores na área médica.
Métodos de extração de polihidroxialc anoatos a partir de biomassa bacteriana	2015 Brasil	QUINES <i>et al.</i>	Química Nova	Revisão de literatura	de	Apresentar estratégias tecnológicas utilizadas nos processos de extração de PHA produzidos por cepas, incluindo fases de recuperação e purificação do biopolímeros	O autor conclui que métodos químicos, tais como uso de solventes são muito utilizados na recuperação do PHA; O uso de digestores químicos, os métodos físicos e biológicos podem ser combinados utilizados na extração
Estudo da Produção de Polihidroxialc anoatos (PHAs) por <i>Chromobacterium violaceum</i>	2005 Brasil	Viegas, Cristhiene Paiva Rohde	Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Vie gas	Pesquisa experimental		O objetivo do estudo foi de avaliar a produção de copolímeros: polihidroxibutirat o P[3HB e hidroxivalerato: co-3HV] por <i>C. violaceum</i> .	O estudo definiu as condições de cultivo à produção de biopolímero com potencial biotecnológico a partir desse microrganismo.

3 DISCUSSÃO TEÓRICA

A análise da literatura na área permitiu tecer variadas observações acerca do bioplástico, referindo-se às possibilidades do seu uso e implicações pertinentes ao seu processo de produção. Foram analisados 17 textos.

Observa-se que os artigos investigados tomaram metodologias distintas, e por isto, os resultados encontrados variaram desde exposições técnicas e teóricas acerca do bioplástico, PHA (CHEN, 2010; JUDITH *et al.*, 2020; MOZEJKO-CIESIELSKA *et al.*, 2019; PINSKY *et al.*, 2017), análises de diferentes processos existentes para sua produção (DE SOUZA REIS *et al.*, 2020; MADKOUR *et al.*, 2013), à exploração de técnicas e métodos para a identificação, estimativa quantitativa e caracterização de PHA em vias de uma produção mais econômica (GODBOLE, 2016).

De acordo com as colocações dos autores, os PHA identificam-se enquanto biopolímeros versáteis, tendo variadas aplicações nas indústrias farmacêutica, da biomedicina, alimentos, embalagens e outras, sendo biodegradáveis, podendo ser produzidos de forma sustentável e ecológica, desenvolvidos com matérias-primas renováveis ou resíduos industriais (DELGADO *et al.*, 2015). É evidente que os PHA e tecnologias relacionadas formam uma cadeia de valor industrial (CHEN, 2010).

Desta maneira, o desenvolvimento de PHA é justificado por ao menos três pontos: a escassez de petróleo para materiais plásticos, a redução de emissões de CO e proteção ambiental (CHEN 2010).

A dificuldade no custo de produção do PHA afeta a sua aplicação como alternativa biodegradável aos plásticos convencionais. Pesquisas em desenvolvimento na área de bioprocessos e novos recursos bacterianos, pode contribuir na produção economicamente viável de PHAs.

Podem ser realizados diferentes processos, que fazem uso de bactérias, para a produção de PHA. Neste âmbito, tem se investigado a adoção de culturas puras, pelo seu potencial em valorizar subprodutos residuais como matéria-prima de baixo custo. Há expectativa de que as ferramentas de biologia sintética auxiliem no aumento da eficiência da produção de PHA, bem como pesquisas na produção de PHA utilizando culturas microbianas mistas (MMC) e diversos substratos de resíduos, com o objetivo de reduzir os custos nos processos operacionais. (KOURMENTZA *et al.*, 2017).

O bioplástico produzido deve possuir robustez, ser biocompatível com opções de tratamento de superfície, permitindo redução do atrito e do desgaste (SINGH *et al.*, 2015). Os monômeros que devem ser explorados para usos médicos, até agora são apenas, os PHAs de cadeia curta, constituída por 3-hidroxi-butirato (3HB) e seus derivados foram estudados, mais monômeros devem ser testados para eficácia médica. As proteínas de ligação à superfície PHA, (PhaP) dentre outras, podem ser desenvolvidas em um sistema de purificação de proteína ou em ferramentas de distribuição de drogas ou fármacos

específicos. Mais aplicações baseadas nessas proteínas devem ser desenvolvidas (CHEN., 2010, p. 18).

Os PHA são desenvolvidos por vários tipos de cepas de bactérias e são acumulados como grânulos, na presença em excesso de uma fonte de carbono, como exemplo a glicose, ácidos graxos, ácidos láuricos e sacarose (GODBOLE, 2016; WANG *et al.*, 2017). Estes PHA são produzidos por bactérias gram-positivas e bactérias gram-negativas, sintetizadas espontaneamente com armazenagem intracelular de carbono e de energia. A acumulação de grânulos no citoplasma bacteriano pode chegar em até 90% do peso seco da célula (MADKOUR *et al.*, 2013; MENDONÇA *et al.*, 2013; MARTÍNEZ *et al.*, 2016; MOZEJKO-CIESIELSKA *et al.*, 2019).

Micán e colaboradores (2017), em pesquisa desenvolvida na Universidade de Colômbia, realizaram estudos sobre a produção de PHA com três espécies de *Pseudomonas* e substratos de baixo custo apresentam viabilização econômica para o processo tecnológico. Para os autores, para tornar a produção de biopolímeros competitiva do ponto de vista ambiental, tecnológico e econômico, devem ser utilizados resíduos agroindustriais como o amido de tubérculos, como batata e mandioca na produção de PHA, para que estes sejam reaproveitados. O autor concluiu que atualmente as correntes ainda não são valorizadas pelo setor industrial que poderiam ser utilizadas para a produção de biopolímeros (MICÁN *et al.*, 2017).

Oliveira-Filho e colaboradores (2019) obtiveram sucesso em aumentar o potencial industrial da *Pseudomonas sp.* Cepa LFM461 através da produção de copolímeros de polihidroxicanoatos (PHA) contendo P3HB (polihidroxibutirato) e (PHA de cadeia média) P3HAMcl (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2019).

A nível mundial, uma das cepas mais pesquisadas é a *Ralstonia eutropha*, em específico a do tipo de poli-hidroxibutirato (PHB), devido à sua capacidade de produzir grandes quantidades de PHA, obtendo uma porcentagem de 80% do peso seco da bactéria (DELGADO *et al.*, 2015). Este é o microrganismo conhecido com a maior produção de PHA, sintetizando poliéster quando o nitrogênio de sua fonte nutricional é limitado (MICÁN *et al.*, 2017). Apesar disto, se faz importante avaliar outros tipos de microrganismos e elaborar-se outros estudos com foco na melhoria do desempenho e em realizar uma maior produção de bioplástico (MICÁN *et al.*, 2017).

Em todo o mundo, várias empresas vêm apresentando projetos de produção e industrialização de bioplástico a partir de PHA. Historicamente, tem-se Lemoigne, no ano de 1926, que apresentou estudos com o poli-3-hidroxibutirato ou P(3HB). Citações

posteriores sobre o tema são encontradas nas décadas mais recentes. A partir de 1980, na Áustria, notou-se a produção do P(3HB), ainda em baixa escala, ocorrendo até o ano de 1995; no Reino Unido, os projetos foram citados no período entre 1981 a 1988 pela empresa ICI; nos EUA, a empresa Proctor & Gamble (P&G) apresentou projetos de PHA na variedade de poli (3-hidroxibutirato- co -3-hydroxihexanoato PHBHHx, em escala média proposta de 1000 t/a, entre 1980 e 2005 (WANG *et al.*, 2017).

Há grandes vantagens ambientais no uso de plásticos desenvolvidos por microrganismos, quando em comparação aos plásticos desenvolvidos a partir de matérias primas tradicionais com bases petroquímicas, porém, o custo final acaba por ser elevado, não ficando acessível à população. (DELGADO *et al.*, 2015).

São necessários mais estudos para tentar aumentar a competitividade, bem como reduzir o custo do processo industrial promovendo também a agilidade na produção apresentando como resultado final qualidade nas características e propriedades mecânicas deste bioplástico.

Embora o polihidroxibutirato (P3HB) ou seja, este tipo de plástico biodegradável, tenha algumas propriedades úteis, como insolubilidade em água, resistência à umidade e boa impermeabilidade ao oxigênio, eles têm alguns defeitos inerentes. Por exemplo, P3HB tem um alto ponto de fusão (T_m) superior a 170°C e uma temperatura de transição vítrea (T_g) de 4°C , é um material altamente cristalino e, portanto, frágil e rígido com baixa elasticidade e a moldagem por injeção também é muito difícil. (WANG *et al.*, 2017).

Atualmente este tipo de bioplástico, são os mais estudados e de maior interesse pelas indústrias por motivo de suas características serem bem similares aos tipos de plásticos da indústria petroquímica (DELGADO *et al.*, 2015).

A produção de um material de baixo custo inclui o uso de substratos com baixo preço, como por exemplo resíduos agrícolas e resíduos de alimentos, tais como a lignina, sucrose, ácidos graxos e vegetais que podem ser utilizados como fonte de carbono (WANG *et al.*, 2017, VIEGAS 2005).

Os métodos de extração de PHA das cepas bacterianas enfocam a necessidade de diminuir os custos dos reagentes utilizados, redução do tempo no processo, e nas substituições de produtos químicos tóxicos por produtos de baixa toxicidade e/ou preferencialmente atóxicos. O produto final deve apresentar propriedades biocompatíveis, além de ser biodegradável, apresentando um processo favorável para

aplicação em grande escala na indústria, com critérios minuciosos de não comprometer o meio ambiente (QUINES *et al.*, 2015).

Os procedimentos de pré-tratamento aplicados na produção de PHA, são métodos biológicos, químicos ou físicos que são aplicados para que ocorra o enfraquecimento da estrutura das células, protegendo os grânulos de PHAs. (KOURMENTZA *et al.*, 2017).

Por exemplo, o processo de liofilização é o procedimento de secagem que remove a água da biomassa, utilizado tradicionalmente como pré-tratamento, facilitando a extração. Este procedimento apresenta importantes características para os passos posteriores, porém é considerada alto custo para a indústria. (KOURMENTZA *et al.*, 2017).

O processo de purificação tem objetivo de rompimento e liberação espontânea da parede celular dos PHAs, bem como a purificação e o rendimento do grânulo orgânico. No processo de tratamento e extração e recuperação, pesquisadores descrevem a aplicação de combinação de solventes orgânicos tais como: clorofórmio, cloreto de metileno e acetona e álcool e adição de detergentes como como dodecil sulfato de sódio. Outros solventes orgânicos utilizados são o hipoclorito de sódio, diclorometano e dicloroetano, acetona. Métodos mecânicos apresentam alta eficiência quando são combinados com métodos químicos (QUINES *et al.*, 2015).

A escolha dos solventes orgânicos polares como o metanol em vez do clorofórmio no tratamento da produção de PHB é um método viável, devido à remoção de grande quantidade de resíduos do processo fermentativo e pelo fato do gasto de energia para a recuperação na destilação ser considerado relativamente baixo. A partir do objetivo de avaliar a aplicação de diferentes tratamentos para processos de purificação a fim de se obter um polímero de alta pureza, a investigação de Ramos e colaboradores (2018) concluiu que, apesar de terem começado do mesmo material, os materiais resultantes de diferentes extrações eram polímeros com diferentes pontos de fusão, temperaturas de degradação e índices de cristalinidade. Por exemplo, os materiais obtidos na purificação do clorofórmio apresentavam propriedades mecânicas pobres, aparência ruim, sendo amarelados e possuíam forte odor gerado pelo óleo remanescente (RAMOS *et al.*, 2018).

A utilização de extração de PHA com solventes orgânicos é a mais adotada devido à praticidade na sua aplicação, devido à baixa degradação dos polímeros e à elevada pureza do produto extraído. O método que utiliza solventes tóxicos pode ser visto como contraditório, pois os biopolímeros resultantes gerariam impacto ambiental iguais ou similares aos causados por polímeros derivados de petróleo (QUINES *et al.*, 2015).

Observa-se que as pesquisas que analisam diferentes metodologias para a recuperação e purificação de PHAs, utilizam métodos químicos em pelo menos uma das etapas do processo. Este método tem sido utilizados principalmente na etapa de recuperação ou como pré-tratamento (BISSACOT, 2018).

Os métodos químicos que não usam de agentes tóxicos se mostram como alternativa promissora, pois não geram impactos ambientais e alcançaram percentuais altos de recuperação e pureza. Reforça-se para a recuperação biológica combinada com métodos químicos, pois a técnica carece de estudos. Ainda, a combinação deste com métodos mecânicos ou químicos auxiliaria no rompimento celular e na recuperação polimérica, obtendo-se percentuais mais elevados de pureza e recuperação (BISSACOT, 2018).

Embora os PHA sejam reconhecidos como candidatos à produção de plásticos biodegradáveis, ainda apresentam limitação para sua produção em alta escala, seu alto preço em comparação aos plásticos convencionais, sendo necessário, para isto, buscar uma alternativa ecologicamente correta e economicamente justificada para produzi-lo (DELGADO *et al.*, 2015). Observa-se que os processos de manufatura comercial são prejudicados por conta do alto valor. Elenca-se melhorias na engenharia metabólica e genética, que têm produzido cepas de micróbios, com melhora significativa no rendimento e na capacidade de produção e ainda consigam reduzir os custos gerais (JUDITH *et al.*, 2020).

Enfim, a maioria dos textos abordou o problema dos altos custos dos bioplásticos. Nota-se preocupação com a viabilidade comercial do processo, tendo que o plástico produzido a partir de combustíveis fósseis ainda é consideravelmente mais barato. Também deve citar-se a necessidade do desenvolvimento de mais estudos com o tema em busca da redução dos custos e melhoria dos processos de produção (BISSACOT, 2018).

4 CONCLUSÕES

O tema é de grande relevância e interesse de indústrias, do governo e do mundo todo, pois há estimativas descritas na problemática de escassez de petróleo em um período próximo, porém o processo para realizar a extração ainda é considerado de alto custo. O uso comercial de bioplásticos produzidos por cepas bacterianas sem dúvida terá um grande potencial a ser utilizado como substituto alternativo a plásticos derivados de petróleo, estimulando pesquisas nessa temática. Alguns fatores que podem ser observados, quanto à limitação do uso dos biopolímeros, se referem à toxicidade média ou

alta dos solventes químicos adotados, tendo que o objetivo final da fabricação do bioplástico é que este polímero seja biocompatível e biodegradável ecologicamente. Além disto, outros fatores intrínsecos à produção limitam o uso desses biopolímeros, como o longo período de produção e os custos dos processos fermentativos microbianos. Por fim, as diversas percepções debatidas ao decorrer dos trabalhos analisados permitem inferir que, em relação à produção de biopolímeros sustentáveis, visando fabricação em larga escala pela indústria, ainda há uma grande trajetória a se percorrer.

REFERÊNCIAS

BISSACOT, E. P.. Comparação de diferentes metodologias para purificação de polihidroxialcanoatos: uma revisão bibliográfica. **Lume - Repositório digital da UFRGS**. 2018.

CHEN, G.. Plastics completely synthesized by bacteria: polyhydroxyalkanoates. In: **Plastics from bacteria**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 17-37. DOI:10.1007/978-3-642-03287_5_2.

Choonut, Aophat & Sangkharak, Kanokphorn.. Biofuel from Polyhydroxyalkanoates (PHAs). (2019).

DELGADO, A. C. L.; CORDOBA, A. M.. Polihidroxialcanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. **Informador técnico**, v. 79, n. 1, p. 93-101, 2015. DOI: 79. 83. 10.23850/22565035.139.

DE SOUZA REIS, G. A.; MICHELS, H. A. M.; FAJARDO, G. L.; LAMOT, I.; DE BEST, J. H.. Optimization of green extraction and purification of PHA produced by mixed microbial cultures from sludge. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1185, 2020.

GODBOLE, S.. Methods for identification, quantification and characterization of polyhydroxyalkanoates-a review. **International Journal of Bioassays**, v. 5, n. 4, p. 2016, 2016. DOI: 10.21746 / ijbio.2016.04.005. 2016.

JUDITH L.; FRIDOVICK-KEIL.. Bioplastic. **Britannica Online Encyclopedia**. Data de publicação: 2 set. 2020.

KOURMENTZA, C.; PLÁCIDO, J.; VENETSANEAS, N.; BURNIOL-FIGOLS, A.; VARRONE, C.; GAVALA, H. N.; REIS, M. A. M.. Recent advances and challenges towards sustainable polyhydroxyalkanoate (PHA) production. **Bioengineering**, v. 4, n. 2, p. 55, 2017. <https://doi.org/10.3390/bioengineering4020055>.

LI, Z.; YANG, J.; LOH, X. J. Polyhydroxyalkanoates: opening doors for a sustainable future. **NPG Asia Materials**, 8(4), 2016. e265–e265. doi:10.1038/am.2016.48.

MADKOUR, M. H.; HEINRICH, D.; ALGHAMDI, M. A.; SHABBAJ, I. I.; STEINBÜCHEL, A.. PHA recovery from biomass. **Biomacromolecules**, v. 14, n. 9, p. 2963-2972, 2013. <https://doi.org/10.1021/bm4010244>.

MARTÍNEZ, V.; HERENCIAS, C.; JURKEVITCH, E.; PRIETO, M. A.. Projetando uma bactéria predatória como um agente matador proficiente para recuperação de produtos biológicos intracelulares: O caso dos polihidroxialcanoatos. **Sci. Rep.**, 6, 24381. 2016. <https://doi.org/10.1038/srep24381>.

MENDONÇA, T. T.; GOMEZ, J. G.; BUFFONI, E.; SÁNCHEZ RODRIGUEZ, R. J.; SCHRIPSEMA, J.; LOPES, M. S.; SILVA, L. F.. Exploring the potential of Burkholderia sacchari to produce polyhydroxyalkanoates. **J Appl Microbiol**. 2013. Apr;116(4):815-29. doi: 10.1111/jam.12406. Epub 2013 Dec 13. PMID: 24279348.

MICÁN, M. L. M.; LÓPEZ, S. M. L.; HERNÁNDEZ, Á. T. M.. **Síntesis de bioplásticos a partir de microorganismos**. 2017.

MOZEJKO-CIESIELSKA, J.; SZACHERSKA, K.; MARCINIAK, P.. *Pseudomonas* species as producers of eco-friendly polyhydroxyalkanoates. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 6, p. 1151-1166, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01422-1>.

OLIVEIRA-FILHO, E. R.; GUAMÁN, L. P.; MENDONÇA, T. T.; LONG, P. F.; TACIRO, M. K.; GOMEZ, J. G. C.; SILVA, L. F.. Production of Polyhydroxyalkanoates Copolymers by Recombinant *Pseudomonas* in Plasmid-and Antibiotic-Free Cultures. **Journal of molecular microbiology and biotechnology**, v. 28, n. 5, p. 225-235, 2018. DOI: 10.1159 / 000495752.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018.

PINSKY, V.; KRUGLIANSKAS, I.. Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. **Estud. av.**, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 107-126, May 2017. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190008>.

QUINES, L. K. M.; SCHMIDT, M.; ZANFONATO, K.; SCHMIDELL, W.; ARAGÃO, G. M. F.. Métodos de extração de Poli-Hidroxialcanoatos a partir de biomassa bacteriana. **Química Nova**, v. 38, n. 9, p. 1207-1218, 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150129>.

RAMOS, A. F.; ESPINOSA, A.; MENDEZ, D.; CABEZA, I.; MORENO-SARMIENTO, N.. Purification of Poly (3-hydroxybutyrate) Produced by Fatty Acid Fermentation Using Organic Polar Solvents. **Chemical Engineering**, v. 67, 2018.1.

SINGH, P.; SHARMA, V. P.. Integrated plastic waste management: environmental and improved health approaches. **Procedia Environ Sciences** 35:692–700. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.068>.

VIEGAS, Cristhiene Paiva Rohden.. Estudo da produção de polihidroxialcanoatos (PHAs) por *Chromobacterium violaceum*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. 2005. <http://repositorio.usfsc.br/handle/123456789/101917>

WANG, Y.; CHEN, G.. Polyhydroxyalkanoates: sustainability, production, and industrialization. **Sustainable polymers from biomass**. Wiley VCH, Weinheim, Germany, v. 14, 2017. <https://doi.org/10.1002/9783527340200.ch2>.