

BIOPLÁSTICO: ALTERNATIVA VIÁVEL E SUSTENTÁVEL AO PLÁSTICO CONVENCIONAL

AZEVEDO, Larissa Guimarães¹
NEVES, Sérgio Bello²

RESUMO: Os plásticos convencionais são polímeros de constituição macromolecular, sintetizados de matéria prima fóssil, o petróleo. Faz parte da terceira geração da cadeia petroquímica e apresenta desde o princípio diversos benefícios à sociedade, principalmente por sua elevada resistência. Esta característica se torna desfavorável quando há insuficiência na gestão de resíduos sólidos, tornando-o um dos principais poluidores da fauna e flora, com toxicidade comprovada, além de representar desperdício econômico e potencial. A necessidade de inovação na área polimérica vem criando espaço para desenvolvimento consciente de novos materiais, tais como os bioplásticos, oriundos de matéria prima renovável, apresentando biodegradabilidade e ostentando boa perspectiva mercadológica apesar de custar, em média, o dobro do plástico convencional por se tratar de uma nova tecnologia de menor escala. O Brasil, que é o quarto maior produtor de plástico e recicla menos do que 5%, apresentaria menor custo de produção de bioplásticos do que países da Europa, Estados Unidos e China. O artigo tem como finalidade apresentar os principais bioplásticos como alternativas a petroquímica, de forma apoiar a estruturação dessa nova indústria e realizar papel de agente de conscientização ambiental.

Palavras-chaves: Biodegradável. Biopolímero. Plástico.

BIOPLASTIC: VIABLE AND SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL PLASTIC

ABSTRACT: Conventional plastics are macromolecular polymers, synthesized from fossil raw material, petroleum. It is part of the third generation of the petrochemical chain and from the outset has many benefits to society, mainly due to its high resistance. This feature becomes unfavorable when there is insufficient solid waste management, making it one of the main pollutants of fauna and flora with proven toxicity, as well as representing economic and potential waste. The need for innovation in the polymer area has been creating space for the conscious development of new materials, such as bioplastics, derived from renewable raw materials, presenting biodegradability and boasting a good marketing perspective although it costs, on average, twice the conventional plastic because it is a new technology of smaller scale. Brazil, which is the fourth largest producer of plastics moreover, recycles less than 5%, would have lower production costs of bioplastics than countries in Europe, the United States and China. The article aims to present the main bioplastics as alternatives to petrochemicals, in order to support the structuring of this new industry and perform the role of environmental awareness agent.

Key-words: Biodegradable. Biopolymer. Plastic.

1 INTRODUÇÃO

Os plásticos convencionais são polímeros de constituição macromolecular que possuem como matéria-prima substância fóssil polimerizada, o petróleo, fazendo parte da terceira geração da cadeia petroquímica. Apresentam elevada maleabilidade, facilmente transformáveis mediante a utilização de calor e pressão, podendo ser utilizados para diversos fins

¹ Graduanda em Engenharia Química - Universidade Católica do Salvador - larissa.azevedo@ucsal.edu.br

² Doutor em Engenharia - Química Universidade Estadual de Campinas - sergio.neves@pro.ucsal.br

(RODRIGUES et al., 2015). A indústria de terceira geração citada, é conhecida como Transformadoras de Plásticos, responsável pela a moldagem e confecção através de resina pura do polímero ou com aditivos químicos, o que aprimora questões de forma, textura, cor e resistência, a depender da finalidade (OLIVATTO et al., 2018).

Este material ganhou mercado por sua versatilidade e bom processamento, fazendo com que o processo de produção fosse continuamente melhorado e otimizado ao decorrer dos anos, permitindo a redução de custo, apesar da variação do preço da sua matéria prima. A substituição de outros materiais por peças plásticas com características similares, possibilitou a popularização de outros produtos por meio da redução do valor final, proporcionando proveitos a sociedade. Um exemplo claro da boa aplicação deste material, é em peças automotivas, como painel e acessórios, o que resultou em automóveis mais leves e conseqüentemente, com maior desempenho (OLIVATTO et al., 2018).

Não obstante os diversos benefícios que o plástico trouxe para a sociedade, os seus resíduos são prejudiciais. Um grande volume de materiais plásticos se tornam rapidamente descartados pós-consumo e os impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos resíduos, que não são biodegradáveis, são apenas alguns dos problemas a serem citados (OLIVEIRA, 2012). Estudos científicos apresentam a relação da toxicidade do plástico em animais marinhos com comprovação que alguns peixes, inclusive no litoral brasileiro, contém alto índice de toxinas pesadas em seu organismo e isto está diretamente ligado à poluição de plásticos nos mares, rios e oceanos. Paralelo a isso, o aumento no consumo de peixe entre 2002 e 2010, segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), aumentou 196% (PEREIRA, 2017).

Desta forma, é possível dizer que a disposição incorreta deste material apresenta riscos não somente urbanos, como entupimento de bueiros, estética das cidades e lotação de aterros sanitários. Trata-se da evidência da falha no gerenciamento de resíduos sólidos e na educação social, com conseqüências diretas de poluição ambiental e também de saúde. A vida marinha em principal, tem sido incessantemente afetada, e ainda assim presente na cadeia alimentar e portanto contaminando outras espécies, inclusive o homem. Diante disso, a sociedade demanda novos materiais, tal qual o bioplástico.

Por definição da European Bioplastics Association, plásticos produzidos a partir de fontes renováveis e/ou plásticos biodegradáveis, são classificados como bioplásticos ou biopolímeros. Os bioplásticos podem ser produzidos a partir de fontes renováveis, tais como: óleos e gorduras vegetais, biomassa, tubérculos e como forma mais conhecida, através da cana-de-açúcar (PEREIRA, 2017).

Pode-se considerar que a produção de bioplásticos reduz a utilização de recurso não renovável, que é a matéria-prima largamente utilizada apesar dos elevados índices de toxicidade. A economia deste recurso, suprida por matéria prima de baixo custo, apresenta-se como alternativa mais sustentável e consciente, uma vez que o material proposto pode ser obtido de diversas fontes e apresenta menor impacto aos ecossistemas.

A possibilidade de substituição dos produtos de rápido descarte por biodegradáveis, reduziria o tempo de decomposição destas de 100 anos para aproximadamente 180 dias, a depender da produção e condições expostas. Tendo em vista que o processo de decomposição deixa como resíduos apenas água e gás carbônico, a metabolização deste gás é realizada pela própria matéria-prima por meio de fotossíntese, o que fecha o ciclo (OLIVEIRA e ARAÚJO, 2012). O bioplástico não se apresenta como sucessor do plástico convencional em toda demanda comercial, não substituindo, por exemplo, o plástico utilizado na construção civil, indústria automobilística, artigos de comércio em atacado e varejo ou de vestuário, os quais requerem a sua durabilidade.

Relevante advertir que a substituição deste material em questão não podem levar a um uso insensato sob o pretexto de que são biodegradáveis, ou ainda descartados de forma incorreta, o que seria classificado como não amigável ao meio ambiente, gerando resultados insatisfatórios acerca da substituição. Desta maneira, deve-se enfatizar a importância do uso racional como parte de um conjunto de ações significativas para a preservação ambiental (HIRATUKA et al, 2007; OLIVEIRA e ARAÚJO, 2012).

O presente trabalho é resultado de revisão bibliográfica com finalidade de apresentar informações relativas a produção, propriedades e das aplicações do bioplástico, desta forma conceituando e analisando as alternativas a petroquímica, bem como de atuar como agente de conscientização ambiental.

2 A PROBLEMÁTICA DO PLÁSTICO CONVENCIONAL

O plástico é sintetizado a partir de compostos orgânicos de constituição macromolecular, tendo como matéria-prima o petróleo, ou em menor escala o gás natural, por meio de reações de condensação e polimerização. Tornou-se destaque industrial por sua versatilidade, que incorpora características de outros materiais, tais como: rigidez, leveza, elasticidade, dentre outros. Por estes motivos, a empregabilidade deste material obteve crescente demanda, como por exemplo, na substituição de peças em aparelhos de maior valor agregado, como nos casos de eletrodomésticos e portáteis como forma de reduzir custos, e

principalmente em produtos descartáveis, e artigos de rápido comércio ligados a vestuário e lazer (GUAMÁ et al, 2008).

As embalagens de papel, por exemplo, foram substituídas pelas plásticas, sendo de forma geral utilizadas em grande escala pelos diversos setores nos dias atuais, principalmente em supermercados. Estas estão há muitos anos sendo despejadas em aterros sanitários, e por não serem biodegradáveis se acumulam no ambiente, conservando por muitos anos suas propriedades físicas, já que possuem elevada resistência (PEREIRA, 2017).

Oliveira e Araújo (2012) apresentam a quantidade de sacolas plásticas produzidas anualmente como superior a quinhentos bilhões. Sabido que cada sacola plástica leva cerca de 100 anos para se decompor no meio ambiente e em sua maioria o uso deste material é de apenas uma única vez antes do descarte, pode-se afirmar que a criação de resíduo perpetua por tempo muito superior ao de seu uso.

Dados levantados pela MARLISCO, projeto europeu de duração de junho de 2012 a maio de 2015, apontam que a Grande Porção de Lixo do Pacífico que passa dos 4.000.000 km², representa apenas 30% da soma total de lixo presente. Deste somatório, os plásticos compõem cerca de 60% a 80% do lixo encontrado e têm sua origem dividida em duas partes, sendo, a primeira responsável por cerca de 20% é de origem marinha, ou seja, plataformas offshore, pesca comercial, atividades de recreio e outros, e os 80% restante proveniente de fonte terrestre, transportados pelos rios, pelas cheias, descargas de águas residuais e falhas na gestão de resíduos.

Noticiado em maio deste ano pela BBC news, em expedição recordista em profundidade submarina, quase 11 quilômetros abaixo da superfície nas Fossa das Marianas, um dos pontos mais remotos do oceano Pacífico, resíduos plásticos foram encontrados, como embalagens de bala e sacolas plásticas. Outras amostras de materiais foram coletados para análise em laboratório quanto a presença de microplástico neste ambiente.

É estimado que cerca 40% dos plásticos produzidos são descartados dentro prazo de um ano, tendo como dominante os oriundos do setor de embalagens. Em estudo, a composição dos plásticos encontrados em praias e oceanos é em sua maioria polipropileno (PP), o polietileno (PE), o policloreto de vinila (PVC) e o poliestireno (PS) (SOBRAL, FRIAS e MARTINS, 2011). Essa incorreta disposição de materiais plásticos representam um desperdício econômico de, em média, R\$ 5,8 bilhões por ano, além de potencial ambiental e problemas colaterais causados. O descarte inadequado se tornou uma questão eminentemente cultural, e ocorre em desrespeito ao artigo 47 da Lei nº 12.305/10 referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos, acarretando principalmente problemas ecológicos, além de impacto negativo na estética das

idades. Esta lei ainda cita a prevenção e a redução dos resíduos como responsabilidade compartilhada entre as partes, produtora e consumidora, de forma a planejar a logística reversa e coleta seletiva (OLIVATTO et al., 2018).

Ainda que haja fotodegradação e a abrasão mecânica destes materiais, não há biodegradabilidade, resultando apenas em envelhecimento do material que por sua vez resulta em adsorção de poluentes hidrofóbicos, como por exemplo, poluentes orgânicos persistentes (POP). Outro problema ligado a fragmentação destes plásticos é a consequente geração de microplásticos, uma categoria que inclui todos as partículas menores que 5 mm, sendo um potencial veículo de exposição e transferência de POP de elevada toxicidade, de difícil controle e alta persistência no meio ambiente (SOBRAL, FRIAS e MARTINS, 2011).

Os microplásticos são classificados de acordo com sua origem, podendo ser: microplástico primário e microplástico secundário. O microplástico primário é aquele produzido em tamanho microscópico com finalidade de composição em outros produtos, sendo chamados de “pellet”. Já o microplástico secundário é resultante da fragmentação de plásticos maiores que foram descartados erroneamente no meio ambiente (OLIVATTO et al., 2018).

Estes têm sido encontrados em amostras ambientais de água e sedimento coletados em rios, lagos, mares e oceanos, além amostras de água de torneira, água mineral comercializada, sal e cerveja. Esta contaminação representa uma ameaça para a biota, já que decorrente do seu tamanho apresenta maior distribuição, podendo atingir até áreas remotas, e se tornam disponíveis para uma grande variedade de organismos além do homem (OLIVATTO et al., 2018). Essa ocorrência permite que as partículas plásticas, quando ingeridas, sejam transferidas sistema digestivo para o circulatório, acarretando em danos a órgãos como coração e fígado, para além do potencial efeito de tóxico (SOBRAL, FRIAS e MARTINS, 2011).

São três os principais meios utilizados para amenizar os problema causados pelos resíduos sólidos: redução na fonte, reutilização do que for possível e reciclagem do que ainda houver valor econômico. Isso contribui longevidade dos aterros sanitários, com destinação adequada, preservação de recursos naturais, redução no consumo de energia, além de ação social (SANTOS, AGNELLI e MANRICH, 2004).

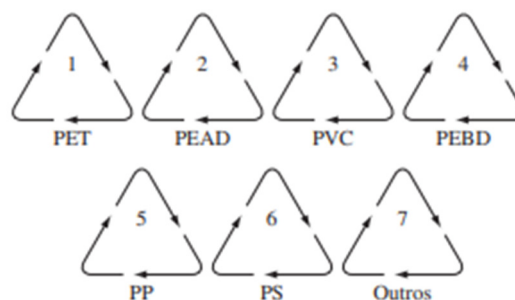
A reciclagem, que é um dos pontos apresentado, é também a forma mais comum para tratar o problema gerado pelo plástico, fecha ciclo e ostenta benefícios ecológicos, sociais e econômicos, já que torna-se fonte de renda para recicladores e transformadores e ainda é possível a economia de até 50% de energia com o uso de plástico reciclado (HIRATUKA et al, 2007). Um exemplo bem sucedido é reciclagem de latas de alumínio, que é favorecido pela alta relação peso x volume dessas embalagens. Já quando se trata de garrafas de PET o mesmo não

ocorre, isto porque as mesmas são volumosas, o que acaba limitando o crescimento do índice (SANTOS, AGNELLI e MANRICH, 2004).

É possível dizer que houve crescimento nos últimos anos no reciclo de materiais plásticos, no entanto essa taxa ainda é baixa em comparação à quantidade de resíduos produzidos. Isto porque, ainda que haja coleta em 90% dos municípios brasileiros, a contribuição da população com a coleta seletiva é abaixo dos 15%. Deste percentual, 15% da são plásticos, com o adendo de que as empresas responsáveis pelo processo de reciclagem possuem a dificuldade de discriminar a o tipo do polímero, devido a mistura de materiais poliméricos empregados na composição de um mesmo produto (GUAMÁ et al, 2008; OLIVATTO et al., 2018).

Os símbolos utilizados para identificação dos materiais plásticos mais utilizado são apresentados na Figura 1, conforme norma ABNT NBR 13230:2008, tendo também a finalidade de facilitar a logística reversa e reciclagem. Em tese todo plástico, pode ser destinado à reciclagem mecânica, porém há na realidade uma seleção dos materiais que apresentem maior valor econômico e o volume de disponível. A reciclagem energética, incineração dos materiais para geração de energia, acaba se tornando uma opção de revalorização para os materiais não favoráveis, mas apresentam em contrapartida a liberação de gases causadores de efeito estufa (COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2008).

Figura 1 - Identificação dos materiais plásticos conforme ABNT NRB 13230:2008



- 1 - PET - Polietileno tereftalato
- 2 - PEAD - Polietileno de alta densidade
- 3 - PVC - Policloreto de vinila
- 4 - PEBD - Polietileno de baixa densidade
- 5 - PP - Polipropileno
- 6 - PS - Poliestireno
- 7 - Outros

Fonte: COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2008.

O PVC, representado pela numeração 3, sofre comumente reciclagem energética, e a combustão deste material resulta em sérios problemas de corrosão de equipamentos utilizados neste processo e ainda em poluição ambiental devido a transformação do cloro (presente em sua composição) em produtos nocivos, como o cloreto de hidrogênio (quando em contato com vapor de água produz ácido hidrocloreto, responsável pelas corrosões), dioxinas, furanos e ftalatos (com efeito tóxico em animais e seres humanos), com formação de compostos de prolongada persistência no meio ambiente (FORLIN e FARIA, 2002).

A numeração 7 (Outros) normalmente é empregado para produtos de embalagens multicamadas, mamadeiras, CD, DVD e utilidades domésticas, muitos destes materiais não são recicláveis mecanicamente no Brasil, e os materiais deste grupo são apontados como os principais com presença de Bisfenol A. O Bisfenol A (BPA) é um monômero, que assim como os aditivos e plastificantes são considerados disruptores endócrinos, com atividade estrogênica. Amplamente utilizado na produção de resinas epóxi e plásticos de policarbonato, aplicadas no envernizamento de latas de alimento e produção de mamadeira e garrações de água. Em menor quantidade, também presente na produção de PVC, representado pelo grupo 3, comentado anteriormente (COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2008; BERNARDO et al, 2015).

Perante o exposto, ainda se tem dois fatores cruciais que influenciam a reciclagem: a complexa composição e a contaminação que ocorre durante o seu uso, por muitas vezes isto torna a destinação para aterros sanitários mais viável economicamente do que a reciclagem. É preciso ainda dizer que, a reciclagem pode ainda modificar as propriedades plásticas, limitando posteriores aplicações destes materiais (GIORDANI e OLIVEIRA, 2014; GUAMÁ et al, 2008).

Conseqüentemente, é necessário conscientizar tanto a comunidade científica, disposta ao desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações de forma a reaproveitar materiais, quanto os órgãos governamentais, apresentando modificações na legislação, aumento de gestão e incentivo a pesquisa e utilização destes novos materiais (GUAMÁ et al, 2008).

3 BIOPLÁSTICOS

Como novo pilar na solução para este imbróglio, além do atendimento à demanda de uma sociedade cada vez mais exigente com a preocupação ambiental, o mercado vem apresentando alternativas, tais como o bioplástico. São ditos bioplásticos dois tipos distintos de materiais: o de origem biológica (matéria-prima renovável) ou parcialmente biológica, mas que não são biodegradáveis ou compostáveis (como o plástico verde, originado do etanol), ou

plásticos que são tanto de origem biológica quanto biodegradáveis (MACEDO, 2015; BRASIL, 2007).

Quando o polímero é convertido na sua totalidade em dióxido de carbono, água, minerais e/ou biomassa, sem libertar qualquer tipo de substância nociva para o meio ambiente num período de tempo reduzido, este pode ser considerado biodegradável, como os poliácido láctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA) e polímero de amido (PA), apresentados na Tabela 1, que serão discutidos no presente estudo, apesar de haverem outros (MACEDO, 2015; BRASIL, 2007).

Os “bioplásticos” conhecidos popularmente como oxi-degradáveis, tem sua decomposição responsável por aditivos que aceleram o processo, fazendo com que o plástico se decomponham em partículas cada vez menores, mas não garantindo total decomposição podendo resultar em disposição de microplásticos, problema citado anteriormente, não sendo recomendados pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) desde 2015. Ademais, é defendido pela entidade, o tratamento dos resíduos pós-consumo como educação ambiental, visando a produção e consumo consciente, e correto descarte das embalagens (ABIPLAST, 2018).

Tabela 1 - Bioplásticos biodegradáveis.

MATERIAL	TIPO	MÉTODO DE PRODUÇÃO
PA	Polissacarídeo	Polímero natural modificado
PLA	Poliéster	Ácido láctico produzido por fermentação seguido de polimerização
PHA	Poliéster	Produzido por fermentação direta de fonte de carbono por microrganismo de forma intracelular

Fonte: BRASIL, 2007.

Existem polímeros de origem petroquímica mas que apresentam biodegradabilidade, exemplo destes são PBAT, PBS e PCL. Os dois primeiros, atualmente, já apresentam rota sustentável a partir de incorporação de amido e argila (COSTA, 2018).

O consumo de bioplásticos na Europa, dobrou do ano de 2001 para 2003, totalizando 40 mil toneladas, mas ainda representando apenas 0,1% do mercado europeu de plásticos. As perspectivas de consumo são promissoras e especialistas presumem que, apesar de atualmente ter valor inexpressivo, nos próximos anos os bioplásticos atingirão de 1% a 2% do mercado

mundial. De maneira geral, fontes do setor apresentam que entre os anos de 1990 e 2002 houve duplicação da demanda a cada 2 anos, corroborando para a expectativa do crescimento. Esta expectativa se baseia na ênfase mundial a acerca dos aspectos ambientais e econômicos envolvidos no uso de matérias-primas fósseis finitas (BASTOS, 2007).

Em estudo mercadológico realizado por Borschiver, Almeida e Roitman (2008), artigos publicados em revistas científicas que citam o bioplásticos no período de 2002 e 2007, somam 3838 artigos, sem duplicatas, com destaque para o ano de 2006, com índice de publicações. Destes, apenas 220 falavam especificamente sobre biopolímeros, incluindo informações a respeito do tipo de matéria-prima e produção, e apontando a principal aplicação como a área medicinal. Classificando as publicações, 11 destas eram pertencentes a empresas, 208 a universidades/centros de pesquisa e 2 de pessoa física. Em relação ao país de origem das instituições, os Estados Unidos se destacam com 42% das publicações. Foram encontrados 107 patentes entre os anos de 2001 a 2007, sem duplicatas, na base de dados da United States Patent and Trademark Office (USPTO), utilizando-se as palavras-chave "Biopolymers" e "Biomaterials".

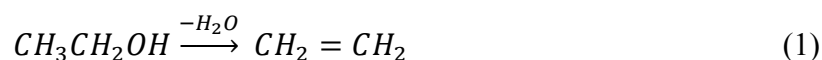
O bioplástico presta ainda um papel importante da economia circular, reduzindo pegada de carbono, optando por fonte renováveis, tornando-se material compostável se biodegradável, devolvendo nutrientes ao solo e reduzindo o volume de resíduos destinados a aterros (COSTA, 2018). Entretanto, ainda que haja uma crescente procura por bioplásticos que sejam biodegradáveis, é sabido que o principal destino de resíduos plásticos, no Brasil, são os aterros sanitários, porém a repartição natural do bioplástico não ocorrerá se for destinado como resíduo comum, sua decomposição tem como fator determinante o correto descarte. A decomposição polimérica é dividida em duas vias: a fragmentação e a mineralização. Como primeira etapa, a fragmentação resulta em material de peso molecular em torno de 1000 daltons, ou seja, são degradados em partículas cujo tamanho é pequeno suficiente para servir de nutrientes para os microrganismos, ocorrendo desaparecimento visual. Já na mineralização, os produtos fragmentados são digeridos pelos microrganismos, resultando em produção de gás carbônico, água e uma pequena quantidade de outros produtos de degradação biocompatíveis (GIORDANI e OLIVEIRA, 2014). A reciclagem orgânica é um processo bem estabelecido, normatizado, cabível de certificação e selos, e deve vir a público como meio de conhecimento para que haja a correta destinação final (COSTA, 2018; HIRATUKA et al, 2007).

Mesmo que diante desta nova realidade, é vital destacar a imprescindibilidade no aumento da capacidade de gestão dos processos produtivos como principal elo para incremento da produtividade, a redução de custos e preços e ao aprimoramento da qualidade do produto

final. Outro fator crítico para competitividade do setor plástico é o acesso ao capital, a dificuldade de investimento e atualização tecnológica, tornando-se restritivas, em especial para as pequenas empresas, de maneira geral (HIRATUKA et al, 2007).

3.1 PLÁSTICO VERDE

O crescente preço do petróleo e da nafta, assim como sua alta variação, se tornou decisivo no incentivo da utilização do etanol na produção de plástico, além da busca por multiplicar investimentos para novos insumos ambientalmente sustentáveis. A cultura de cana de açúcar metaboliza gás carbônico e produz sacarose, o caldo passa por fermentação e destilação produzindo etanol (CH_3CH_2OH). Após isso o etanol é desidratado na temperatura de $180^\circ C$, geralmente utilizando um catalisador ácido, resultando em eteno, por meio da Equação 1. O uso do etanol para esta finalidade, produção do eteno, se tornou elemento significante na equação de demanda-oferta. Estima-se que essa demanda tenha alcançado cerca de 1,95 bilhões de litros, dentro do período entre 2011 e 2017 (HIRATUKA et al, 2007; LIMA e SOUZA, 2014).



Tendo iniciativas suportadas por empresas químicas como a multinacional Dow Química ou a maior empresa petroquímica brasileira, a Braskem, o plástico verde teve sua produção alavancada, sendo superior às demais alternativas plásticas. A Dow, buscava por parceria com Crystalsev, o fabricante da cana-de-açúcar, para que ocorresse a produção de 350 mil t/a de polietileno verde, produção essa, superior à da Braskem que estimava em torno de 100 mil a 200 mil t/a de polietileno do etanol da cana adquirido do mercado (BASTOS, 2007).

O eteno vem sido aplicado em produtos petroquímicos na composição de resinas termoplásticas e polímeros verdes para suprir a demanda socioambiental com o uso do etanol, e também para competir diretamente com os preços do petróleo na produção do plástico comum, diferentemente de outros biopolímeros de custo mais elevado (LIMA e SOUZA, 2014).

As unidades de polimerização utilizadas para processar o eteno verde da Braskem são as mesmas já existentes no complexo petroquímico de Triunfo-RS, sendo distribuídas em duas plantas, uma com capacidade de 140.000 ton/ano e a outra de 150.000 ton/ano. Ambas com parceria tecnológica da Basell, para otimização da produção com utilização das plantas de polimerização já existentes (BELLOLI, 2010).

Apesar desta ser uma realidade cada vez mais atual, os polímeros verdes não são considerados produtos novos, isto porque historicamente Henry Ford desenvolveu partes plásticas de automóveis com a produção baseada em soja, interrompida na Segunda Guerra Mundial (BASTOS, 2007). Plásticos obtidos através da cana de açúcar são captadores de gás carbônico, quando comparados ao plástico convencional, há diferença de cerca de 6 toneladas de gás por tonelada de plástico produzido (MORSCHBACKER, 2007).

O Plástico Verde da Braskem completou nove anos de produção, sendo uma das alternativas mais popularmente conhecidas como alternativa ao plástico convencional. O portfólio de produtos da empresa aumentou, passando também a disponibilizar polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) e polietileno de baixa densidade (PEBD), estes com finalidade para embalagens rígidas ou flexíveis, sacolas, filmes e outros. A empresa também se destaca entre os dez maiores produtores de eteno (BRASKEM, 20--).

Ainda que aconteça a incineração de material plástico, prática não recomendada, ou para redução de resíduos ou geração de energia, quando se trata de plástico verde, a emissão de gases na atmosfera é mínima quando comparado ao plástico de origem fóssil. Além disso, a não incineração do plástico verde, retira cerca de 2,5 toneladas de gás carbônico do ar (MORSCHBACKER, 2007).

O preço do etano sofre definição pela demanda petroquímica e gás natural, já o eteno tem seu preço definido com base no que chamam de “produtor marginal”, o produtor que apresenta maiores plantas e base nafta da Europa ou Ásia. No oriente médio, por exemplo, os produtores possuem menores custos e conseguem alcançar maiores margens de lucratividade (BRASKEM, 20--).

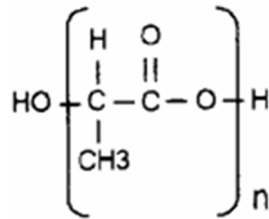
São levantadas controvérsias sobre o uso deste material, pois, ainda que durante o ciclo de produção de sua matéria prima, de fonte renovável, haja captura de CO₂, um dos gases mais contribuintes para aquecimento global, este não é biodegradável, causando os mesmo impactos do plástico convencional. Ademais, ainda apresenta custo superior de produção, consumo de água e insumos agrícolas, pontos não favoráveis tanto economicamente quanto de forma ambiental (OLIVATTO et al., 2018).

3.2 Poli(ácido láctico) (PLA)

O ácido láctico pode ser produzido por rota petroquímica, a partir de etileno e acetileno, mas as vias de matérias-primas naturais (principalmente que contenham açúcar ou amido) tem

sido muito empregadas na sua produção por via biotecnológica, retratando uma rota mais sustentável. A produção do polilactato pode ser obtida de forma direta ou indireta, a primeira pela polimerização por condensação que resulta em ácido poliláctico, e a segunda por meio do lactato que resulta em polilactato, podendo ser encontrado na forma de dois isômeros óticos: L- e D-ácido láctico, com sua estrutura apresentada na Figura 2 (BASTOS, 2007).

Figura 2 - Estrutura da molécula de Polilactato.



Fonte: PRADELLA, 2006.

As primeiras produções de PLA ocorrerem em 1932, mas não era obtida as mesmas capacidades físicas que podem ser alcançadas nos dias atuais. A DuPoint patenteou em 1954 este biopolímero com maior peso molecular mas ainda com baixa instabilidade, que acarretou a sua descontinuação (BELLOLI, 2010). Atualmente, a Cargill (EUA), com a marca NatureWorks lidera a produção deste biopolímero com a capacidade anual de 140.000 ton (BASTOS, 2007). A Greenliving Brasil é uma das empresas brasileiras que oferecem produtos à base de PLA e outros bioplásticos, em seu catálogo de clientes se encontram por exemplo a rede de restaurantes Giraffas, Devassa cervejaria e Mr Cheney. Confirmação que outras grandes empresas também se mostram dispostas a adaptação de seus materiais (GREENLIVING BRASIL, 201-).

Quando comparado a outros biopolímeros, o PLA apresenta inúmeras vantagens: os produtos da degradação do PLA são atóxicos, apresenta biocompatibilidade, podendo ser utilizado em aplicações biomédicas, bom processamento térmico em relação a outros biopolímeros e menor custo energético (25-55% menos energia do que polímeros à base de petróleo), além disso, seu peso molecular varia na mesma faixa do PET (PEREIRA et al., 2016).

A utilização deste bioplástico é garantida pela versatilidade, abrangendo o setor de embalagens em geral, filamentos de impressão 3D, dispositivos médicos, tecidos não-trançados e outras finalidades, podendo substituir o PET e o PS (poliestireno) com a vantagem de emissão de gases estufas 75% inferior (GREEN LIVING BRASIL, 201-). As propriedades físicas apresentadas faz dele um dos principais nesta categoria, apresentando atualmente a maior taxa

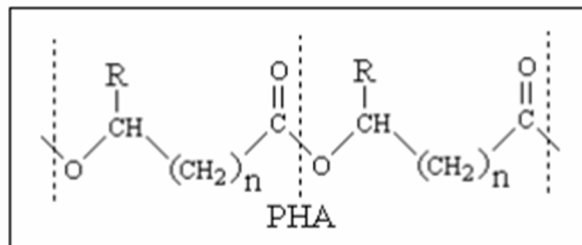
de consumo a nível mundial devido a versatilidade apresentada, e por ser biodegradável (BASTOS, 2007; BELLOLI, 2010). Este material pode ainda ser reciclado, porém, antes de ser destinado para reciclagem mecânica, é necessária a adição de um processo de policondensação. Isso demanda uma infraestrutura especial com linha dedicada a reciclagem deste material (COSTA, 2018).

Assim como outros biopolímeros, têm baixa resistência à tração, sendo muito mais quebradiço do que o plástico convencional, trazendo menos de 10% deformação na ruptura (PEREIRA et al., 2016). Outros fatores apresentados como desvantagens são: baixo ponto de fusão e resistência de impacto, além de baixa barreira de gás (BELLOLI, 2010).

3.3 Polihidroxialcanoato (PHA)

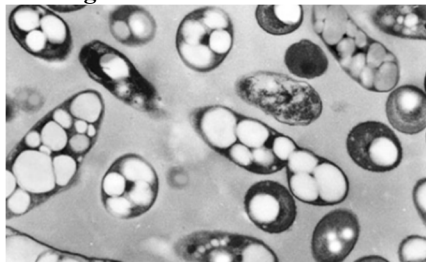
Polihidroxialcanoatos (PHAs) são poliésteres alifáticos sintetizados naturalmente por microrganismos de diversos gêneros, intracelularmente (Figura 3), como substâncias naturais de reserva e energia, estes apresentam estrutura química representada na Figura 4.

Figura 3 - Estrutura da molécula de PHA



Fonte: PRADELLA, 2006.

Figura 4 – Grânulos de PHA.



Fonte: BIO-ON, 2014?.

Isto acontece sob limitação de um nutriente essencial ao seu crescimento em conjunto com excesso de carbono, de fonte renovável ou não, ou por plantas geneticamente modificadas. Isso faz com que suas reservas sejam acumuladas na forma de grânulos intracelulares, chegando a representar até 80% da massa seca celular. São extraídos do interior da célula produtora por

meio de solventes orgânicos, posteriormente purificados e processados, gerando um biopolímero (BASTOS, 2007; CAMPOS, 2013).

O termo PHA é um termo utilizado em referência um grupo de poliésteres, que dentre os principais promissores temos os PHB, PHB/HV e PHB/HHx, explicitados na Tabela 2, onde R está explicitado da Figura 3.

Tabela 2 - Poliésteres da família PHA.

MATERIAL	ESTRUTURA
PHB	Homopolímero poli(3-hidroxi- <i>n</i> -butirato) $n=4$ Composto de unidades monoméricas de 4 carbonos;
PHB/HV	Copolímero de poli(3-hidroxi- <i>n</i> -butirato) e 3-hidroxi- <i>n</i> -valerato $n=4$ Compostos de unidades monoméricas de 4 carbonos (R = CH ₃ -) e 5 carbonos (R = CH ₃ -CH ₂ -)
PHB/HHx	Copolímero de poli(3-hidroxi- <i>n</i> -butirato) e 3-hidroxi- <i>n</i> -hexanoato $n=6$ Compostos de unidades monoméricas de 4 carbonos (R = CH ₃ -) e 6 carbonos (R = CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -)

Fonte: PRADELLA, 2006.

Atualmente, a produção de PHAs são em pequena escala, ainda que haja potencial de substituição de polímeros convencionais, em principal, os projetos das empresas Metabolix/ADM e P&G/Kaneka, com uso em embalagens, tecidos e entrega controlada de medicamentos. Estas, com perspectivas para os próximos anos de construção e operação comercial de planta de 50.000 t/ano e 30.000 t/ano, respectivamente. (BASTOS, 2007; CAMPOS, 2013)

O potencial dito, se dá pela similaridade em termos de propriedades termoplásticas e físico-químicas do PHA comparado aos polímeros petroquímico, podendo substituir completamente polipropileno e polietileno, e parcialmente outros polímeros. Isto com o adendo de serem biodegradáveis e biocompatíveis, podendo ser reciclados e incinerados sem a geração de produtos tóxicos (CAMPOS, 2013).

Porém, de modo geral, de produção deste bioplástico pode chegar a ser quatro vezes superior, e aproximadamente 40% do custo é decorrente da fonte de carbono (etapa de produção). Resultado disso é um contínuo estudo para alternativas de fornecimento de carbono para o processo, para que seu custo diminua. Uma alternativa a esse imbróglio é a utilização resíduos de etanol ou metanol, glicerol ou ácidos graxos, uma vez que no Brasil há um excedente de 70.000 toneladas de glicerina por ano resultantes de outros processos. A utilização

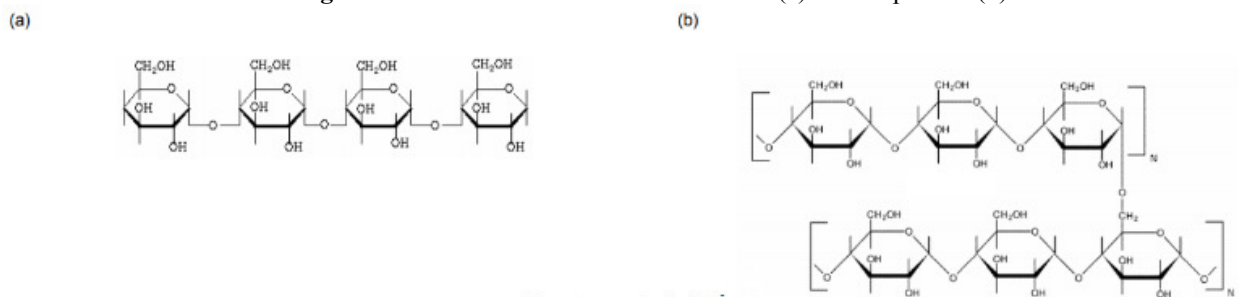
destes como fonte de carbono para produção de PHAs, permite não somente a redução de custos mas também uma saída para o desperdício e destinação benéfica dos mesmo (CAMPOS, 2013).

Outro ponto a ser levado em consideração, é a utilização de substratos alternativos de baixo custo em processos fermentativos, tais como resíduos agroindustriais. Isto porque, 1,3 bilhão de toneladas de alimento é desperdiçado ou perdido ao longo das cadeias produtivas de alimentos, que poderiam servir também como fonte de celulose ou amido, podendo ser sintetizados em biopolímeros. Sendo assim, é possível dizer que sua produção pode ainda basear-se não somente em matéria-prima renovável, como reutilização de recursos que são tratados como resíduos em outros processos (CAMPOS, 2013; MACEDO, 2015).

3.4 Polímero de Amido (PA)

O amido é produzido por plantas como reservatório de energia e apresentam certo grau de organização molecular. A obtenção de amido em nível comercial é restringida aos vegetais, tais como tubérculos, raízes e cereais (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010). É constituído por dois polissacarídeos diferentes: a amilose e a amilopectina. A amilose resulta em um polímero linear, já a amilopectina, se distingue da amilose pelas unidades de anidroglicose, resultando em um polímero ramificado, como podem ser vistos nas Figura 5.

Figura 5 - Estrutura da molécula de amilose (a) e amilopectina (b).



Fonte: PRADELLA, 2006.

Ambas são macromoléculas que apresentam massa molar elevada (SOUZA e ANDRADE, 2000; RÓZ, 2004). A relação amilose/amilopectina está entre os principais fatores de interferência, assim como também: origem botânica, o grau de cristalinidade, a forma dos grânulos, o tipo de processamento do amido e as interações ocorridas entre esta substância e outros componentes do processo. Sendo classificado em função da sua estrutura físico-química e da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática. Devido a linearidade da amilose, as moléculas se orientam paralelamente e consideravelmente próximas para formação de ligações de

hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, reduzindo a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de filmes. (LOBO e SILVA, 2003; MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010).

A incorporação de amido, que é conhecido como polímero natural, na indústria dos plásticos oferece a alternativa na substituição destes polímeros sintéticos na confecção de cápsulas, sacolas, proteção de objetos contra impactos no transporte e outros itens descartáveis, tais quais utilizados pela indústria alimentícia e correlacionados. O amido ainda poderia ser transformado em material termoplástico, abrangendo as possibilidades de aplicação, obtendo desempenho em técnicas clássicas de processamento, como extrusão, moldagem por injeção e prensagem a quente (RÓZ, 2004).

A produção do bioplástico de amido é baseada na metodologia *casting*, a qual se realiza a solubilização do amido de interesse em um determinado solvente para formação de uma substância gelatinosa que, após desidratação, forma um filme polimérico (RÓZ, 2004).

Em termos de propriedades, este biopolímero quando comparado com os demais, é inferior, não apresentando até então aplicação para substituição total de nenhum plástico, apenas parcial. Contudo, o baixo custo, alta disponibilidade e rápida degradabilidade tem atraído o mercado tecnológico para incorporação em outros bioplásticos ou para aprimorar o próprio. Grandes empresas tais quais Biotec (Alemanha), Novamont (Itália) e Rodenburg já produzem este biopolímero em capacidade de 40.000 a 120.000 ton/ano. Dentre as desvantagens, é possível citar a opacidade, baixa resistência a óleos, solventes e umidade de bactérias (BELLOLI, 2010).

3.5 Outros bioplásticos

Ainda em menor escala que os bioplásticos citados anteriormente, é possível citar uma gama de outras novas que vêm surgindo diante da demanda ambiental e tecnológica, os quais podemos citar as Poliamidas (PA), obtidos através da fermentação ou transformação química do ácido oleico, Policloreto de vinila (PVC) que pode ser obtido do eteno verde (oriundo do etanol como citado anteriormente) e Poliésteres Alifáticos - Aromáticos (PAA) (BELLOLI, 2010).

O PAA, com produção em grandes empresas como a Fuji, Celanese, Basf, Toray, DuPont e GE, somando 200.000 ton/ano. Divergindo dos outros polímeros petroquímicos, estes apresentam rápida degradação quando expostos ao combinado de água e microrganismos. Contudo, a principal barreira para crescimento é o elevado preço quando comparado a outros

polímeros sintéticos. Ainda assim, há grandes perspectivas, podendo ser produzidos de matérias-primas renováveis, por meio de técnicas de DNA recombinante, engenharia bioquímica e obtidos através da fermentação seguida de copolimerização. (BASTOS, 2007; BELLOLI, 2010).

Hão ainda o bioplásticos oriundos de algas, cânhamo, blendas com gelatina, amido ou argila como o caso do poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(succinato de butileno) (PBS), dentre outros biopolímeros, que apenas confirmam a necessidade de novas tecnologias alinhadas com o alto empenho da comunidade científica em ofertar alternativas. O envolvimento das grandes empresas químicas no desenvolvimento de biopolímeros demonstra a adaptabilidade à nova realidade tecnológica ascendida pela biotecnologia e necessidades atuais, inclusive como forma de endossar lucratividade (BASTOS, 2007).

4 QUADRO GERAL

Sendo assim, o potencial de substituição do plástico convencional por bioplásticos com biodegradabilidade apresentados, pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Substituição do plástico convencional por bioplástico.

MATERIAL	PVC	PEAD	PEBD	PP	PS	PA*	PET
PA	-	+	+	+	+	-	-
PLA	-	+	-	+	+	+	+
PHA (incluindo PHB)	-	+	-	++	+	-	-
PHB/HHx	+	++	++	++	+	-	+

Fonte: BRASIL, 2007.

- não substitui
- + substitui parcialmente
- ++ substitui completamente
- *PA: Poliamida

Desta maneira, é possível reafirmar que a substituição por bioplásticos não atende toda a demanda existente, principalmente quando resistência mecânica e durabilidade são exigidas, mas que ainda assim, os materiais de descarte rápido já apresentam alternativas. Em panorama geral, dados levantados em 2002 apontam que a capacidade instalada (conforme Tabela 4), é superior a demanda, com exceção do Japão (conforme Tabela 5) que importou para suprir sua demanda. O Japão desde 2002, quando ratificou o Protocolo de Quioto, anunciou o Plano

Estratégico para Biotecnologia o qual incentiva biotecnologia avançada, dando ênfase ao uso de bioplásticos, apesar da matéria prima seja alto.

Tabela 4 - Aplicações do bioplástico e capacidade de produção em 2002.

MATERIAL	APLICAÇÃO	EMPRESA	CAPACIDADE (t/ano)
PA	Filmes de recobrimento	Rodenburg Biopolymers (Holanda)	40.000
		Novamont (Itália.)	32.000
		BIOP Biopolymer Technologies (Alemanha)	10.000
PLA	Embalagens, fios de sutura, fibras e tecido, filamentos 3D.	Cargill (EUA)/NatureWorks	140.000
		Purac (Holanda)	80.000
		Galactic (Bélgica)	25.000
PHA	Similar a termoplásticos sintéticos; área médica	Metabolix (EUA)	1.100

Fonte: BASTOS, 2007.

Tabela 5 - Demanda de bioplásticos (t/ano), ano base 2002.

	Estados Unidos	Europa	Japão	Total
Produção	17.000	34.000	6.000	57.000
Importação	2.000	3.000	4.000	-
Exportação	6.000	2.000	<0,5	-
Consumo	12.000	35.000	10.000	57.000

Fonte: BASTOS, 2007.

Os custos para produção dos bioplásticos atualmente ainda custam, em média, o dobro do plástico convencional. Mas é preciso ressaltar que o mercado petroquímico está há muitos consolidado, tanto em produção e tecnologias, quanto na oferta e demanda de produtos. É previsto que com o aumento da demanda e investimento no setor de bioplásticos, haja os avanços necessários para que sua implementação resulte em queda de custo, especialmente no Brasil, onde há oferta de matéria prima, que os preços podem se tornar cada vez mais

competitivo, ainda que o ritmo dessa queda ainda seja incerto (BASTOS, 2007; CASTRO, 2019; MORSCHBACKER, 2007). Em contrapartida, com a alta variação no preço do barril de petróleo, quando o mesmo alcança em média US\$ 50/barril, valor alcançado desde o primeiro bimestre deste ano, o preço de comercialização de bioplásticos em geral pode convergir de US\$ 4/kg (valor médio em 2002) para US\$ 1/kg ainda no próximo ano. Além disso, trata-se de comparação de valores de venda de pequena escala, 273.000 t/ano de bioplásticos, contra a produção estruturada de anos do plástico petroquímico, que alcança mais de 100 milhões de t/ano (PRADELLA, 2006; BRASIL, 2007).

Os subprodutos gerados durante a produção podem ser fonte para fornecimento de energia, que são os bagaços, palhas e sabugos. Tal reaproveitamento já presente em, por exemplo, plantas de fabricação de etanol. Subprodutos e resíduos de outros processos também podem vir a se tornar parte da cadeia produtiva do bioplásticos assumindo o papel contrário, fornecendo energia, matéria-prima ou auxílio em determinadas etapas, como o caso de resíduos alimentares ou glicerina/glicerol (BASTOS, 2007; CASTRO, 2019; MORSCHBACKER, 2007).

A adaptação das indústrias atuais para produção de bioplástico é outro ponto determinante quando se trata de planejamento. Cada linha de bioplástico tem suas especificidades e grande diferença da produção do plástico comum, exigindo uma atenção maior em sua cadeia produtiva, ainda que inicialmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que a problemática do plástico convencional vem atingindo níveis crescentes de poluição e contaminação, sendo acumulado em lixões, aterros sanitários e erroneamente no meio ambiente, através das bibliografias utilizadas para o embasamento teórico, foram avaliadas e destacadas alternativas sustentáveis para substituição dos mesmos.

O crescimento científico ostenta a boa perspectiva destes bioplásticos proveniente de matéria prima de baixo custo para fins comerciais, principalmente no Brasil, que apesar de apresentar um ritmo mais lento, as iniciativas devem seguir a mesma orientação do panorama internacional. Ademais, há a maior disponibilidade de matéria prima e com custo inferior a outros países da Europa ou Estados Unidos, por exemplo. Apesar do custo de produção de bioplásticos ainda ser superior ao plástico convencional, é imprescindível salientar que a consolidação do plástico petroquímico existe há anos versus uma tecnologia ainda recente e a

necessidade de visualização dos custos socioambientais não mais reversíveis, como o impactos a vida marinha, contaminações e transtornos urbanos, além do esgotamento de aterros e lixões.

É preciso então, mais medidas políticas como forma de apoiar a estruturação dessa nova indústria, além de dedicação contínua de pesquisas e investigações nesta área para que possamos atingir o grau de maturidade do panorama internacional permitindo haver competição econômica e ampliação do quadro de substituições.

Na ausência atual de incentivos governamentais, ainda é possível contar com o apoio a pesquisa e desenvolvimento de agências públicas como a Finep, o CNPq e a Fapesp, a atuação de estudantes das mais diversas áreas que corroboram com essa nova necessidade, além de incentivos privados de indústrias que vem se adaptando ao interesse cada vez maior do consumidor consciente, conquistando vantagem comercial.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), 2006. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br>>. Acesso em: 25 de mai. de 2019.

BASTOS, V. D.. **Biopolímeros e polímeros de matérias-primas renováveis alternativos aos petroquímicos**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 201-234, 2007. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11834>>. Acesso em: 18 de ago. de 2019.

BELLOLI, R. **Polietileno Verde do Etanol da Cana-de-açúcar Brasileira: Biopolímero de classe mundial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2010.

BERNARDO, P. E. M. et al.. **Bisfenol A: o uso em embalagens para alimentos, exposição e toxicidade – Uma Revisão**. Revista Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, ISSN 0073-9855, v. 74 n. 1, p. 1-11, 2015. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial74_1_completa/pdf/artigosseparados/1631.pdf>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

BIO-ON. Disponível em: <<http://www.bio-on.it/what.php>>. Acesso em: 11 de dez. de 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 out. de 2018.

BRASIL. Ministério Das Relações Exteriores. Embaixada do Brasil em Tóquio - Setor de Promoção Comercial e Investimentos (SECOM). **Estudo de mercado: Bioplásticos**. 2007.

BRASKEM. I'm green, [20--] Disponível em: <<http://plasticoverde.braskem.com.br>>. Acesso em: 28 out. de 2018.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M.; ROITMAN, T.. **Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 3, p. 256-261, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v18n3/12.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CAMPOS, M. I. **Polihidroxicanoatos (PHAs) obtidos a partir da glicerina bruta residual do biodiesel (GBRB): produção, otimização, cinética e propriedade**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal da Bahia. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/19126>>. Acesso em: 28 de set. de 2019.

CASTRO, T. H. M. **Os Bioplásticos: Impactos Ambientais e Perspectivas de Mercado**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. C.. **Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 2, p. 119-125, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v18n2/a08v18n2.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

COSTA, J. P. F. N.. **Bioplásticos compostáveis na Economia Circular**. Dissertação (Mestrado em Design de Equipamento) - Universidade De Lisboa, Faculdade De Belas-artes, Lisboa, Portugal, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10451/34951>>. Acesso em: 10 de mai. de 2019.

FAO: **30% de toda a comida produzida no mundo vai parar no lixo**. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-30-de-toda-a-comida-produzida-no-mundo-vai-parar-no-lixo/>>. Acesso em: 14 de mai. de 2019.

FORLIN, Flávio J., FARIA, J. A. F.. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

GIORDANI, A. OLIVEIRA, A. M. S. **Estudo e caracterização de embalagens plásticas produzidas a partir de bioplástico (plástico verde)**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2014.

GREEN LIVING BRASIL. Instituto GENESIS – PUC – Rio de Janeiro, 201-. Disponível em: <<http://greenlivingbrasil.com>>. Acesso em: 11 de out. de 2019

GUAMÁ, F. F. M. C. et al. **Lixo plástico - de sua produção até a madeira plástica**. XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção – ENEGEP, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://web-resol.org/textos/enegep2008_tn_sto_077_542_11394.pdf>. Acesso em: 1 de ago. de 2019.

HIRATUKA, C. et al. **Transformados plásticos**. Relatório de acompanhamento setorial. Convênio: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial e Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, v. 1, 2007. Disponível em: <http://www.eco.unicamp.br/Neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/transformados-plasticos_vol-I_dezembro2007.pdf>. Acesso em: 25 de abr. de 2019

LIMA, N. C.; SOUZA, G. H. S.. **A DEMANDA DO ETANOL E SUA CARACTERIZAÇÃO NO MERCADO BRASILEIRO DE COMBUSTÍVEIS**. Organizações Rurais & Agroindustriais, Minas Gerais, v. 16, n. 4, p. 532-544, 2014. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/878/87832899010.pdf>>. Acesso em: 23 de set. de 2019.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L.. **Amido resistente e suas propriedades físico-químicas**. Rev. Nutr., Campinas, v. 16, n. 2, p.219-226, abr./jun., 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rn/v16n2/a09v16n2.pdf>>. Acesso em: 31 de jul. 2019.

MACEDO, M. J. M. F.. **Produção de bioplásticos a partir de agro-resíduos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2015.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-155, jan./mar., 2010.

MARLISCO - **Marine Litter in European Seas** - Social Awareness and Co-Responsibility. Disponível em: <<http://www.marlisco.eu/exhibition.en.html>>. Acesso em: 29 de abr. de 2019.

MORELLE, R.. Submarino encontra plástico no ponto mais profundo dos oceanos. **BBC News**, 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-48261879>>. Acesso em: 2 de nov. de 2019.

MORSCHBACKER, A. **Inovação e Tecnologia - Polietileno Verde**. Fórum Varejo Sustentável Alternativas de Embalagens no Varejo. São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.fgv.br/cev/rsnovarejo/arquivos/forum_varejo/AntonioMorschbacker.pdf>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

OLIVATTO, G. P. et al. **Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno**. Rev. Virtual Quím., v. 10, n. 6, p. 1618-2004, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180125>>

OLIVEIRA, F.; ARAÚJO, H.. **Plástico biodegradável: uma alternativa eficaz e sustentável**. BioAtivo - 10ª Edição, p. 10-14. 2012. IPT -Instituto de Pesquisa Tecnológica. Disponível em: <https://www.ipt.br/download.php?filename=777-Revista_BioAtivo__10_edicao.pdf>. Acesso em: 28 de abr. de 2019.

OLIVEIRA, M. C. B. R.. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PEREIRA, G. J.. **Os perigos da poluição por plásticos (petroquímicos) e os desafios ambientais: uma questão de responsabilidade planetária**. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) - Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte, 2017.

PEREIRA, H. G. et al. **Comportamento mecânico do poli(ácido láctico) com diferentes pigmentações para a impressão 3d de componentes para aplicação em próteses e órteses**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2016, Natal, Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/404-041.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

PRADELLA, J. G. C.. **Biopolímeros e intermediários químicos**. Relatório Técnico nº 84 396-205, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2006. São Paulo, Brasil.

RODRIGUES, K. et al. **PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DA CASCA DA BATATA (*Solanum tuberosum*)**. XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós-Graduação – SEPesq, Centro Universitário Ritter dos Reis, 2015. Disponível em: <https://www.uniritter.edu.br/files/sepesq/arquivos_trabalhos/3611/741/885.pdf>. Acesso em: 10 de mai. de 2019.

RÓZ, A. L.. **Preparação e caracterização de amidos termoplásticos**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S.. **Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v14n5/23062.pdf>>. Acesso em: 18 de ago. de 2019.

SOBRAL, P.; FRIAS, J. e MARTINS, J. Martins. **Microplásticos nos oceanos - um problema sem fim à vista**. *Ecologi@ - Revista Online da Sociedade Portuguesa de Ecologia*, Ed. 3, p.12-21, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/2012nahead/aop_0884.pdf>. Acesso em: 18 de ago. de 2019.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. **Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 10, n. 1, p. 24-30, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v10n1/3099.pdf>>. Acesso em: 22 de set. de 2019.