

**BRUNA MARIA DA CRUZ FONTES**

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

**VITÓRIA RISSI COSTA**

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

**DAYANE FELIX DE ALMEIDA**

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

**ELLEN KETLYN QUEIROZ DA SILVA**

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

**CLEIDE BARBIERI DE SOUZA**

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

*Recebido em dezembro de 2018.  
Aprovado em março de 2019.*

## BIORREMEDIAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS COM A COLABORAÇÃO DO FUNGO *Zalerion maritimum*

### RESUMO

O plástico possui decomposição longa, considerando seu uso breve e rápido descarte, essa matemática tornou-se adversa a biota aquática. Os oceanos erroneamente são os principais reservatórios dessa matéria, sendo desconhecido que a maioria do plástico nesse meio possui tamanho reduzido, denominando-se microplásticos, todavia, mesmo diminutos seguem com sua lenta decomposição e toxicidade, encontrando-se em todas as partes dos oceanos, inclusive no tecido e vísceras dos animais marinhos. Nesse contexto, o processo de biorremediação vem se apresentando uma promissora alternativa biotecnológica para reduzir a disseminação de microplásticos nos oceanos. Pesquisadores da Universidade de Aveiro, desenvolveram um projeto utilizando a biorremediação de microplásticos pelo fungo marinho *Zalerion maritimum*. O presente trabalho teve por objetivo conceituar microplásticos e compreender a estratégia de biorremediação proposta para redução desse risco aos oceanos.

**Palavras-Chave:** Microplásticos; Biorremediação; Fungo.

## BIOREMEDIATION OF MICROPLASTICS WITH COLLABORATION OF THE FUNGUS *Zalerion maritimum*

### ABSTRACT

The plastic has long decomposition, considering its brief use and rapid disposal, this mathematics has become adverse to the aquatic biota. Oceans are wrongly the main reservoirs this matter, being unknown that most of the plastic in this environment has reduced size, denominated microplastics, however, even tiny ones remain with slow decomposition and toxicity, being found in all parts of the oceans, including in the tissue and viscera of marine animals. Therefore, the bioremediation process has been presenting a promising biotechnological alternative reduce the spread of microplastics in the oceans. Researchers at the University of Aveiro have developed a project using bioremediation of microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. This work aimed to conceptualize microplastics and to understand the proposed bioremediation strategy to reduce this risk to the oceans.

**Keywords:** Microplastics; Bioremediation; Fungi.

## INTRODUÇÃO

Os plásticos nos oceanos e seus efeitos sobre a fauna marinha obtiveram um reconhecimento mundial sem precedentes na última década, sendo os seres humanos uma das principais ameaças ao ambiente marinho. Os plásticos vêm prejudicando há anos os animais marinhos, porém pesquisas recentes sobre microplásticos demonstram que por serem eles um transporte para substâncias tóxicas fornecem um risco maior do que o figurado (OLIVATTO, 2017). Os riscos que os microplásticos representam ao ecossistema marinho e à saúde humana, são consequências de décadas de lixo plástico entrando nos mares (BARBOSA, 2018).

Hoje, a presença de microplásticos nos oceanos já é considerada um risco potencial para o ecossistema marinho, mesmo que os seus impactos ainda não são totalmente conhecidos (ANDRADY, 2017). Por apresentarem resistência a degradação e facilidade de dispersão são uma grande preocupação, pois se difundem por inúmeras regiões oceânicas a nível mundial, encontrando-se das profundezas do mar até sua superfície, inclusive dentro de animais marinhos (COLE et al., 2011).

Mediante a atuação dos processos de degradação sobre os plásticos nos oceanos, os poluentes se acumulam cada vez mais em maior quantidade e menor tamanho, fixando substâncias contaminantes, bioacumuláveis e tóxicas, aumentando o risco de introdução destes compostos a nível dos consumidores primários, como plânctons e peixes filtradores, com efeitos imprevisíveis para as cadeias tróficas dos oceanos e sucedendo na alimentação do homem (OLIVATTO, 2017).

A biorremediação se mostra uma solução eficaz para redução dos microplásticos nos oceanos, se caracterizando como um procedimento que utiliza organismos vivos para reduzir as contaminações por poluentes, como o caso do microplástico. O procedimento pode contar com a colaboração potencial do fungo *Zalerion maritimum* que demonstrou em laboratório conseguir reduzir os níveis de fragmentos plásticos de uma forma rápida e eficiente (PAÇO et al., 2017).

Os microplásticos são encontrados nos oceanos a nível mundial, desencadeando impactos ao ecossistema marinho cuja as consequências ainda não são totalmente conhecidas (DESFORGES; GALBRAITH; ROSS, 2015). Portanto, esse estudo irá abordar o conceito de microplásticos e seus impactos nos oceanos, assim como a estratégia de biorremediação com colaboração do fungo *Zalerion maritimum*.

## O ACÚMULO DE PLÁSTICOS NOS OCEANOS E SUA DIFICULDADE DE DECOMPOSIÇÃO

Ao longo dos recentes 40 anos o plástico transformou a maneira que a sociedade vive, tornando-se imprescindível ao cotidiano humano, sendo matéria prima dos mais variados objetos e equipamentos utilizados, como por exemplo, utensílios domésticos, calçados, brinquedos entre outros materiais. Características como durabilidade, multifuncionalidade e preço acessível são os principais fatores responsáveis pela crescente utilização de materiais plásticos pela sociedade moderna, dado que o acelerado ritmo de vida induz a busca por recursos que forneçam praticidade (FISNER, 2012; CUCCATO, 2014).

Os plásticos podem ser classificados referente ao seu tamanho em macroplásticos que são os fragmentos plásticos maiores que 5 mm e em microplásticos definidos como fragmentos plásticos menores que 5 mm (ASCER, 2015).

Os oceanos preenchem cerca de dois terços da superfície terrestre e comportam uma rica biodiversidade, porém essa riqueza é ameaçada devido a hábitos culturais arraigados na sociedade desde a antiguidade, que erroneamente fazem dele uma espécie de estoque para todo tipo de resíduos produzidos, principalmente o plástico (MIRANDA, 2011).

Estima-se que somente no ano de 2010, foram gerados por 192 países costeiros aproximadamente 275 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano.

sendo que destes cerca de 4,8 a 12,7 milhões de toneladas foram descartados nos oceanos (JAMBECK et al., 2015). Entre os anos de 2015 a 2017, a produção mundial foi de aproximadamente 6,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos, desse total somente 9 % foram reciclados e 79 % obteve como destino final o meio ambiente ou aterros sanitários (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Segundo o relatório britânico “Foresight Future of the Sea Report”, 70 % dos oceanos são cobertos por resíduos plásticos e até o ano de 2025 essa quantia deverá triplicar.

O aumento da produção de plásticos, somado ao descarte inadequado e sua lenta degradação constitui uma ameaça aos recursos naturais (FISNER, 2012). O material plástico apresenta longevidade e resistência à degradação, a sua fragmentação pode demorar anos. As sacolas plásticas podem demorar de 100 a 400 anos para se decomporem, copos de plásticos demoram cerca de 200 a 450 anos, as tampinhas de garrafas, de 100 a 500 anos, garrafas de plásticos, mais de 500 anos (SANTOS et al., 2012; RIO DE JANEIRO, 2018).

Os canudos de plástico não são o topo do problema, porém são um exemplo do consumo abusivo de descartáveis. Levando até 450 anos para se decompor poluem cada vez mais os oceanos. Os canudos correspondem a 4 % do lixo plástico mundial, segundo dados da ONG “Ocean Conservancy”, sediada nos Estados Unidos. O estudo apontou que em 2017, os canudos foram a nível mundial o 7º item mais coletado nos oceanos. No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro foi a primeira a adotar a lei nº 6.384, de 04 de julho de 2018, que proíbe a utilização de canudos de plástico, exceto os biodegradáveis, em restaurantes, bares, quiosques, ambulantes, hotéis e similares (CORRÊA, 2018; RIO DE JANEIRO, 2018).

O plástico pode sofrer fragmentações ocasionando a diminuição do seu tamanho, porém não seu desaparecimento, mesmo não estando visível continuam onipresente no meio ambiente. Esses fragmentos de plástico são denominados microplásticos, e vem chamando a atenção de pesquisadores por não saberem exatamente as consequências que causam ou irão causar. O ambiente mais afetado são os oceanos (SOBRAL; FRIAS; MARTINS, 2011).

## MICROPLÁSTICOS: DEFINIÇÃO, ORIGEM E ENTRADA NOS OCEANOS

Os microplásticos são descritos como partículas de plástico de comprimento inferior a 5 mm e são consideradas a forma predominante de resíduos nos oceanos. Podem ser classificados baseados na sua fonte geradora como primários e secundários. Os microplásticos primários são compreendidos em tamanhos microscópicos e são utilizados de modo abrasivo como fibras plásticas na composição de tecidos sintéticos; na forma de esferas microscópicas em produtos de cosméticos - cremes esfoliantes e produtos de higiene pessoal - pasta de dentes; industrialmente utilizadas como matérias primas para a produção de plásticos maiores, denominados “pellets” (COLE et al., 2013; ROCHA-SANTOS; DUARTE, 2015).

A presença desse microplástico primário em formato de esferas microscópicas em produtos de uso pessoal, normalmente utilizados em domicílios deve-se ter atenção. Pois, após o consumo destes produtos, esse material irá compor o esgoto doméstico e, consequentemente, irão parar no meio aquático. Isso ocorre, pois, as estações de tratamento de esgoto não conseguem reter essas partículas de dimensões tão reduzidas pela falta de tecnologia adequada que, por sua vez, acabam sendo despejados em um ambiente de água doce e transportados, via os rios, até os oceanos ou são despejados diretamente no mesmo (OGATA et al., 2009; VAN CAUWENBERGHE et al., 2013).

Os microplásticos secundários, são classificados em tamanhos que podem ser percebidos a olho nu entre 5 mm à 1 mm de diâmetro. Considerados como fragmentos microscópicos decorrentes da degradação de macropelásticos já presentes nos oceanos (VAN CAUWENBERGHE et al., 2013). São frutos do descarte inadequado de resíduos e

processos degradativos que podem ocorrer nos oceanos ou em terra, e incluem biodegradação, fotodegradação (incidência de radiação UV), degradação termal (influência da variação entre baixas e altas temperaturas), degradação termo oxidativa (oxidação em temperaturas moderadas) e hidrólise (reação química com a água) (BROWNE; GALLOWAY; THOMPSON, 2007; GESAMP, 2015).

Ao contrário do que se pensa, não perdem seu lento poder de degradação, só por estarem em partículas menores. Em geral, os microplásticos são transportados pela ação dos ventos, correntes marinhas e turbulência causada pelo tráfego de embarcações. Podendo ser transportados para longas distâncias e atingir áreas remotas. Costumam ficar em suspensão na coluna d'água ou encalharem em praias, assim possuindo ampla distribuição. A acumulação de resíduos plásticos em determinadas regiões no oceano é influenciada por "giros" (GESAMP, 2015).

Uma das formações mais famosas de plástico flutuante deve-se à ação do grande giro do Pacífico Norte, popularmente conhecida, "Ilha de Plástico". Sendo uma aglomeração de resíduos que se forma entre a altura do Havaí e da Califórnia e se estende até a costa do Japão. Uma pesquisa, realizada em 2015, pela organização sem fins lucrativos "The Ocean Cleanup Foundation", sediada na Holanda, coletou 1.136.145 amostras de resíduos no Giro do Pacífico Norte, sendo 99,9 % peças plásticas. Foi estimada a existência de 1,8 trilhões de fragmentos plásticos de diversos tamanhos, sendo 94 % deles classificados como microplásticos, equivalendo a 8 % da massa total. Porém, com o tempo esses pedaços maiores, que representam 92 % da massa total de plástico na Grande Mancha de Resíduos do Pacífico, tendem a se fragmentar em microplásticos (LEBRETON et al., 2018).

Os microplásticos de baixa densidade são predominantemente encontrados na superfície do oceano devido à sua alta flutuabilidade, enquanto os de alta densidade são mais prováveis nas profundezas. O padrão hidrodinâmico próprio de cada região define a distribuição dos microplásticos, o que favorece com que possam atingir profundidades maiores, fazendo com que todos os organismos fiquem susceptíveis a interagir com o contaminante (OLIVATTO, 2017).

## RISCOS DOS MICROPLÁSTICOS AO MEIO MARINHO

Por possuírem superfície hidrofóbica, os microplásticos são como verdadeiras esponjas de contaminantes, pois acabam atraindo diversos tipos de poluentes químicos como metais pesados, pesticidas e outros diversos poluentes hidrofóbicos, principalmente Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's – derivados de pesticidas e químicos industriais), Pesticidas (DDT) e Bifenilos Policlorados (PCBs). Evidenciando ainda mais o potencial dos microplásticos como fonte de contaminação para os organismos que os ingerem (OLIVATTO, 2017).

Sabe-se que os POP's apresentam alta estabilidade química, resistência a elevadas temperaturas e persistência em ambiente aquático. Sendo assim, um poluente hidrofóbico muito utilizado na indústria do plástico. Os POP's são adsorvidos pelos microplásticos, assim se tornando contaminantes extremamente preocupantes, por causa do seu grande potencial de acumulação (NOBRE, 2016).

A contaminação não se restringe somente à presença de poluentes aderidos à sua superfície. Os microplásticos podem conter plastificantes, que são aditivos químicos adicionados a composição do material plástico durante fabricação para melhorar suas propriedades estruturais (COLE et al., 2011). Os organismos marinhos acabam sendo expostos de maneira direta a esses aditivos mediante ingestão dos microplásticos (OLIVATTO, 2017).

O Bisfenol A (BPA) e Ftalatos são os principais aditivos químicos utilizados pela indústria do plástico, ambos são carcinogênicos, altamente tóxicos podendo ocasionar desregulação hormonal, infertilidade entre outros efeitos



prejudiciais para os animais e também para os seres humanos em dosagem significativa. Sendo assim, contaminantes, potencialmente perigosos para a biota (OLIVATTO, 2017).

Apesar dos reais impactos e comportamento dos microplásticos nos ecossistemas ainda não serem plenamente conceituados, algumas consequências de sua onipresença nos oceanos já foram descobertas (WANG et al., 2016; DIAS, 2017). O seu efeito nocivo é potencializado por características semelhantes aos polímeros comuns, como lenta degradação e densidade leve, que possibilitam o seu fácil transporte pelas correntes oceânicas, se dissipando por todo o oceano (MARTINS, 2018).

São inúmeros os impactos negativos decorrentes a presença de microplásticos nas águas oceânicas. Sendo uma delas, o fato de microrganismos colonizarem sua superfície e assim serem carregados para outras regiões podendo ser nocivos ou até mesmo modificarem as propriedades desse novo local. Porém, o impacto mais substancial nesse cenário é a ameaça a biota, pois em virtude de seu diminuto tamanho ficam acessíveis para a maior parte dos organismos marinhos (OLIVATTO, 2017; SLUKA, 2018).

Animais como peixes, crustáceos e aves marinhas acabam ingerindo microplásticos por confundi-los com presas, já organismos filtradores como mexilhões e larvas de equinodermos acabam filtrando-os em conjunto com água e alimentos (ASCER, 2015). Os plásticos por apresentarem aditivos químicos tóxicos, ao serem absorvidos pelos animais podem gerar alterações fisiológicas graves e outras condições que interferem na cadeia alimentar aquática, podendo ser citadas obstrução do canal alimentar com consequente redução da alimentação e desnutrição; impactos negativos no crescimento e reprodução decorrentes de alterações nas taxas hormonais e reprodutivas (OLIVATTO, 2017). Além disso, desencadeia efeito nocivo na capacidade de sobrevivência a condições ambientais contrárias, pois provoca uma sensação ilusória de saciedade, gerando diminuição nas reservas energéticas (PEREIRA, 2014).

## CADEIA DE CONTAMINAÇÃO

Pesquisas realizadas já comprovaram a ingestão de microplásticos por organismos menores como detritívoros, pepinos do mar, crustáceos predadores e organismos filtradores. Aves marinhas, peixes e crustáceos, podem voluntariamente ou por ingestão de organismos já contaminados, ingerirem microplásticos. Sucedendo um grande impacto em toda a cadeia de alimentação dos animais marinhos (WRIGHT; THOMPSON; GALLOWAY, 2013; ASCER, 2015).

A princípio, os plânctons e os pequenos animais se alimentam do microplástico contaminado e ao serem devorados por animais marinhos maiores, propagam a intoxicação. Brevemente, esse ciclo se repete muitas vezes, gerando grande alastro da contaminação dos animais aquáticos (LEGNAIOLI, 2013).

Os homens ao se alimentarem desses animais ingerem consequentemente o microplástico, presume-se que essas partículas no organismo humano, podem desencadear respostas imunotoxicológicas, estresse químico, alteração da expressão gênica e morte celular, entre outros fatores que ainda carecem de estudos (SELTENRICH, 2015).

## FUNGO *Zalerion maritimum* COMO FERRAMENTA DE BIORREMEDIAÇÃO

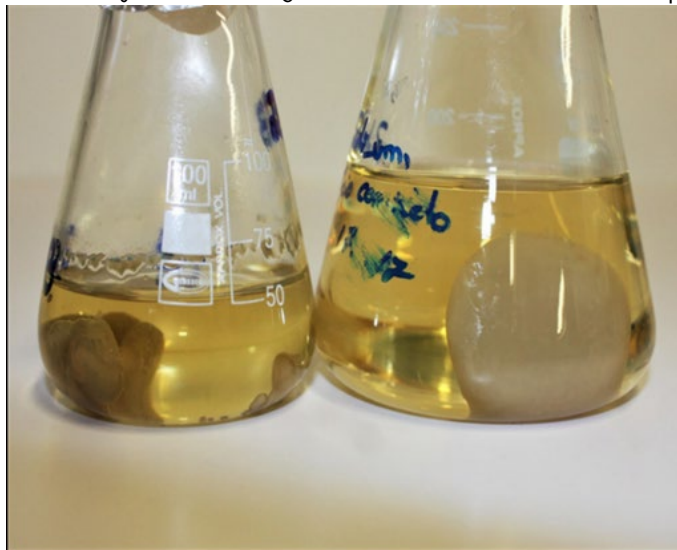
Inúmeros estudos já evidenciaram que os fungos são excelentes biorremediadores de uma variedade de compostos. Os fungos dos gêneros *Penicillium chrysogenum*, *Absidia orchidis*, *Penicillium nonatum*, *Aspergillus niger* possuem uma grande eficiência na remoção de metais pesados de regiões contaminadas. Quando considerando resíduos de indústrias têxteis, como os corantes, observa-se que o fungo *Aspergillus niger*, possui uma grande eficiência na remoção de alguns tipos desses corantes. Os fungos *Aspergillus* e *Penicillium* demonstram que podem ser aplicados na biorremediação de solos contaminados por herbicidas (POLONIO et al., 2014).

Salienta-se ainda que estudos já demonstraram a grande capacidade de fungos endofíticos degradarem o poliéster poliuretano polímero sintético (PUR), um polímero suscetível a biodegradação originado pela condensação de um poli-isocianato e um poliol (RUSSELL et al., 2011).

O fungo *Zalerion maritimum* ou *Zalerion varium* encontrado na costa portuguesa, espanhola, ao largo da Austrália e Malásia apresenta atividade de decomposição de madeiras presentes nos oceanos, considerando-se que a madeira possui celulose em sua composição e que para realizar essa degradação o fungo necessita conter um potente arsenal enzimático, dado que a lignina e a celulose presentes na madeira são compostos que precisam de potentes enzimas para serem decompostos, e associado ao conhecimento prévio de que a celulose é um polímero levantou-se a hipótese de que esse mesmo fungo seria igualmente capaz de degradar o polietileno (PINTO, 2006; PAÇO et al., 2017).

Com objetivo de confirmar a hipótese levantada pesquisadores da Universidade de Aveiro situada em Portugal, realizaram um experimento laboratorial para isso: 0,130 g de microplásticos de polietileno e 0,500 gramas do micélio do fungo *Zalerion maritimum* previamente cultivado (amostra contendo fungo e microplástico), foram colocados em erlenmeyers como observado na figura 1, incubados sob agitação, protegidos da luz, em temperatura de 25 °C por um período de 28 dias; neste experimento foram usadas também amostras controle contendo microplásticos não expostos ao fungo e amostras somente com fungos não expostos ao microplástico, para estabelecer um padrão comparativo (PAÇO et al., 2017).

Figura 1 -Erlenmeyers com fungo *Zalerion maritimum* e microplásticos.



Fonte: HENRIQUES, 2017; PAÇO et al., 2017.

Os pesquisadores realizaram análises por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier - Reflexão Total Atenuada, Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), e microscopias óticas e eletrônicas para obter seus resultados, sendo evidenciados alguns dados que demonstraram a relação entre *Z. maritimum* e a degradação de microplásticos (PAÇO et al., 2017).

Nos erlenmeyers com fungos e microplásticos foi observado que conforme a biomassa do fungo aumentava o peso das partículas de microplásticos decaía (PAÇO et al., 2017). Essa correlação entre a perda de peso dos microplásticos e o padrão de crescimento microbiano também foi evidenciada em um estudo sobre a biodegradação de microplásticos com auxílio de bactérias das espécies *Bacillus cereus* e *Bacillus gottheilii*, sendo relatado que após 40 dias de incubação ocorreu uma perda de 1,6 % de

polietileno da porcentagem de peso dos microplásticos expostos a *B. cereus* e, perda de 6,6 % de polietileno da porcentagem de peso para microplásticos expostos a *B. gottheilii* (AUTA; EMENIKE; FAUZIAH, 2017).

Auta et al. (2018), relataram da mesma forma essa correlação ao estudarem a biodegradação de microplásticos por meio das bactérias pertencentes as espécies *Bacillus* sp. estirpe 27 e *Rhodococcus* sp. estirpe 36. Após uma incubação de 40 dias foi observado uma perda de 6,4 % do peso de microplásticos exposto a *Bacillus* sp. e perda de 4,0 % do peso das partículas plásticas expostas a *Rhodococcus* sp.

Comparando a amostra controle (Fungos sem microplástico) com a amostra que continha a associação entre fungo com microplástico, respectivamente, foi notado que na segunda situação, após 7 dias, o aumento da massa de *Z. maritimum* foi sutilmente maior do que na primeira situação. Esse fato induz a ideia de que o fungo passou a usar o material polimérico como nutriente, e assim apresentou maior biomassa do que aqueles que estavam tendo como única fonte os nutrientes do meio de cultivo, o que reforça ainda mais essa ideia é o fato de que justamente entre 7 e 14 dias notou-se a maior taxa de remoção do material polimérico, ou seja, conforme a biomassa de fungos aumentava a quantidade de microplásticos naquele meio diminuía (PAÇO et al., 2017).

Dados semelhantes foram evidenciados na pesquisa de Pramila e Ramesh (2011), que demonstrou que os fungos *Aspergillus versicolor* e *Aspergillus* sp., também isolados dos oceanos, uma vez inoculados em meio de cultura suplementado com Polietileno de Baixa de Densidade (LDPE) apresentaram um aumento considerável de biomassa após uma exposição de 7 e 17 dias, principalmente do fungo *Aspergillus versicolor*.

Para concluir de forma mais direta a assimilação dos microplásticos por *Zalerion maritimum*, entre os dias 7, 14, 21 e 28 foram coletadas amostras de microplásticos, e mediante análise por microscopia óptica e eletrônica foi possível visualizar que quando comparadas aos microplásticos obtidos originalmente, os que ficaram expostos a ação do fungo haviam sido reduzidos, apresentaram alterações morfológicas adquirindo um aspecto de que foram triturados, visualizando-se certas irregularidades em suas superfícies. Por intermédio da análise por microscopia eletrônica, foi indicado que na superfície dos microplásticos que mostraram claras alterações em suas estruturas, encontrou-se material biológico (PAÇO et al., 2017). Esses mesmos achados foram evidenciados em outros estudos que avaliam a biodegradação de materiais poliméricos (JECU et al., 2012). Pramila e Ramesh (2011), observaram por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) essas mesmas alterações estruturais em fragmentos de Polietileno de Baixa Densidade (LDPE) colonizados por fungos do gênero *Aspergillus*, onde visualizou-se que as películas de LDPE apresentavam material biológico em sua superfície, e o mais importante esses fragmentos apresentavam formação de microporos, além de rachaduras.

Dados similares foram evidenciados em um estudo sobre a biodegradação de microplásticos por bactérias das espécies *Bacillus* sp. e *Rhodococcus* sp. isolados do sedimento de mangue. Após 40 dias de incubação com essas bactérias os microplásticos apresentaram danos na sua superfície como irregularidades, pontuações, e a formação de poros (AUTA et al., 2018).

Auta, Emenike e Fauziah (2017), ao estudarem a capacidade de linhagens bacterianas biodegradarem microplásticos, observaram que as espécies *Bacillus cereus* e *Bacillus gottheilii* ao serem expostos aos microplásticos se desenvolveram na sua superfície, sendo relatado a presença de alterações estruturais nas partículas de plástico colonizadas pelos microrganismos, visualizando-se numerosos orifícios, erosões, rachaduras e ranhuras.

## ESTRATÉGIA DE BIORREMEDIAÇÃO

Considerando que a técnica atual para reduzir os plásticos nos oceanos consiste em retirar os resíduos plásticos, antes que sofram o processo de degradação e resultem nos microplásticos, com o auxílio de redes de pescas e direcioná-los para aterros sanitários não evidenciou eficácia (HENRIQUES; SANTOS, 2017). A estratégia de biorremediação proposta pelos investigadores da Universidade de Aveiro, consiste em elaborar ambientes controlados como espécies de estações de tratamento nas zonas costeiras, onde nesses locais bem delimitados seriam introduzidos os microplásticos conjuntamente com o fungo *Z. maritimum*, e assim seria possível controlar os nutrientes nessa área para que ficassem suficientemente baixos para que o fungo passasse a buscar uma fonte alternativa de nutrição (CAPUCHO, 2017; PAÇO et al., 2017 ; SANTOS, 2017).

É necessário estabelecer o controle sobre os nutrientes, pois existe a limitação de que o fungo não irá espontaneamente passar a biodegradar o microplástico. No experimento foi comprovado que ele só o utiliza quando é exposto a um meio com baixa de nutrientes, fazendo uso dos microplásticos como uma fonte alternativa de alimento. Além disso, outro obstáculo para o método biotecnológico é o pouco estudo sobre essa espécie, informações mais abundantes não são encontradas e literaturas abordando aspectos comportamentais mais específicos são escassas (CAPUCHO, 2017; PAÇO et al., 2017; SANTOS, 2017).

Essas zonas controladas seriam semelhantes as utilizadas para aquacultura, onde em tanques flutuantes são cultivados organismos aquáticos. A proposta seria desenvolver ambientes delimitados nos quais seja possível controlar as condições do meio, para que assim ocorresse de maneira segura a introdução de microplásticos e fungos, com a finalidade que o processo de biorremediação ocorresse sem o desencadeamento de danos ao ecossistema regional (CAPUCHO, 2017; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO MAR; GOVERNO DE PORTUGAL, 2018).

Como uma das principais características do desenvolvimento sustentável é que este seja ambientalmente consciente, e que reduzir a poluição dos oceanos por microplásticos pode ser visto como uma das etapas desse desenvolvimento, o uso de um microrganismo para alcançar esse alvo se mostra extremamente promissor, visto que, um processo de biorremediação é comprovadamente correto ecologicamente posto que não provoca uma alteração no equilíbrio dos ecossistemas, já que visa puramente a biodegradação do poluente em questão, demonstrando uma vantagem potencial do uso do fungo *Z. maritimum* como método biotecnológico de biorremediação (CORIOLANO; MORAIS FILHO, 2016).

## DISCUSSÃO

O microplástico ganhou um espaço crescente nas discussões ecológicas mundiais, sendo acompanhado de dados preocupantes. Segundo Olivatto (2017) e Paço et al. (2017), já foi constatado que se trata de um grave problema ambiental, pois os mesmos são partículas menores que 5 mm e estão difundidos por diversas regiões, principalmente nos oceanos. Sendo notório nos dados levantados que grande parte dessa poluição é consequência da gritante ineficácia das atuais técnicas de combate à poluição plástica, que consiste meramente em métodos de reciclagem e retirada dos microplásticos dos oceanos.

Sendo o destino desse material os oceanos, sabe-se que essas partículas acabam sendo ingeridas por seres aquáticos, confundidas com alimento. Sendo uma grande ameaça para a saúde dos animais, uma vez que suas substâncias contaminantes podem alterar os hormônios reguladores do crescimento, desenvolvimento do corpo, o metabolismo e as funções reprodutivas, entre outros fatores. Plânctons e pequenos animais se alimentam do microplástico contaminado e, ao serem ingeridos por peixes



maiores, propagam a intoxicação. No fim da cadeia, quando o ser humano se alimenta desses peixes maiores, está ingerindo conseqüentemente o plástico e os poluentes.

Geyer, Jambeck e Law (2017) observaram que a produção plástica mundial dos últimos 3 anos chegou a marca dos 6,3 milhões de toneladas e que desse total somente 9 % são de fato reciclados, sendo cerca de 79 % descartadas em aterros ou diretamente no meio ambiente. Segundo Santos (2017), a retirada de microplásticos com auxílio de redes de pescas e o direcionamento a aterros sanitários é igualmente improdutivo, servindo unicamente como meio de remoção e não de eliminação da poluição.

Estudos como de Pramila e Ramesh (2011), Paço et al. (2017), Auta et al. (2018), visualizaram que utilizar a biorremediação como estratégia mostra-se uma promissora solução. Pramila e Ramesh (2011), Russell et al. (2011), Paço et al. (2017), evidenciam que os fungos são os microrganismos com maior potencial a serem utilizados como ferramentas para essa estratégia. Percebe-se que os atuais métodos de combate à poluição, voltados para ações de conscientização e remoção, mostram-se infrutíferos surgindo justamente a necessidade de buscar formas biotecnológicas e mais ambiciosas para sanar o problema.

Os pesquisadores portugueses comprovaram por meio do procedimento laboratorial uma clara relação entre o fungo *Zalerion maritimum* e a degradação de microplásticos. Evidenciando-se que os fungos expostos a microplásticos sem outra fonte de nutrição apresentaram um maior ganho de massa do que aqueles que continham como única fonte os nutrientes do meio de crescimento. Concluindo-se também que o aumento da biomassa do fungo foi acompanhado de um decréscimo da massa de microplástico. Os dados relatados permitem inferir que os fungos passaram a utilizar os microplásticos como fonte nutritiva e por isso apresentaram maior massa do que aqueles com meio de nutrição restrito.

Essa perda de peso dos microplásticos foi igualmente relatada em estudos sobre a biodegradação de microplásticos por bactérias das espécies *Bacillus* sp. estirpe 27, *Rhodococcus* sp. estirpe 36, *Bacillus cereus* e *Bacillus gottheilii* (AUTA; EMENIKE; FAUZIAH, 2017; AUTA et al., 2018). Dados semelhantes foram evidenciados na pesquisa de Pramila e Ramesh (2011), que demonstrou que os fungos *Aspergillus versicolor* e *Aspergillus* sp., uma vez expostos a um meio de cultura suplementado com LDPE apresentaram um aumento considerável de massa após uma exposição de 7 e 17 dias, principalmente do fungo *Aspergillus versicolor*.

Paço et al. (2017) ao realizar análises por microscopia ótica e eletrônica, visualizaram que amostras de microplásticos expostas a *Z. maritimum* demonstraram modificações estruturais expressivas. Os fragmentos diminuíram de tamanho em comparação as partículas obtidas inicialmente, apresentando aparentes evidências de deterioração em sua superfície. Pramila e Ramesh (2011), descreveram essas mesmas alterações estruturais em fragmentos de LDPE colonizados por fungos do gênero *Aspergillus*. Estudos sobre biodegradação de microplásticos com outros microrganismos evidenciaram semelhantes alterações (AUTA; EMENIKE; FAUZIAH, 2017; AUTA et al., 2018).

Levando a estabelecer o conceito de que os microrganismos foram capazes de se fixarem nos microplásticos, crescerem em sua superfície e conseqüentemente degradá-los. Os resultados relatados por Paço et al. (2017), comparado com outros estudos já descritos, demonstra que *Zalerion maritimum* possui capacidade de biodegradar microplásticos, podendo ser empregado futuramente como um eficaz método de biorremediação.

## CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou primeiramente o descaso para com o ecossistema marinho, devido a imensa quantidade de microplásticos e poluentes que são equivocadamente dispensados nesse meio e disseminam-se por ação das correntes

marítimas. Sendo assim, encontrados desde do fundo do mar até a areia das praias, e o mais alarmante no interior dos animais marinhos. Essas minúsculas partículas são componentes tóxicos que atingem o biossistema marinho de uma forma drástica, chegando inclusive a afetar os principais responsáveis por essa cadeia de contaminação, os próprios seres humanos.

Em segunda análise dos dados foi possível observar a ineficácia dos atuais métodos de prevenção e combate à poluição marinha por microplásticos, mostrando ainda como um cenário adverso pode servir como uma forma para que a biotecnologia possa mostrar sua importância na sociedade. A ideia não é mais simplesmente retirá-los do oceano e levá-los para um aterro sanitário, ou seja, retirar o poluente de uma área e por consequência poluir outra, a biorremediação permite a degradação dessas diminutas partículas.

A estratégia de biorremediação proposta pelos pesquisadores portugueses é mais uma prova de que microrganismos podem ser importantes ferramentas no combate à poluição. O fungo *Zalerion maritimum* comprovou sua capacidade de biodegradar microplásticos, possuindo potencial de ser empregado no futuro como um eficaz método de biorremediação que demonstra ser ambientalmente consciente pois o fungo possui como habitat natural as águas oceânicas.

## REFERÊNCIAS

ANDRADY, Anthony L. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, [s.l.], v. 119, n. 1, p.12-22, jun. 2017. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1730111X?via%3Dihub>>.

Acesso em: 05 dez. 2018.

ASCER, Liv Goldstein. Efeitos de microplástico na fisiologia do mexilhão Perna perna (Bivalvia: Mytilidae). 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências

Biomédicas, Fisiologia Geral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41135/tde-09032016-101239/en.php>>.

Acesso em: 10 mar. 2018.

AUTA, H.s. et al. Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. *Marine Pollution Bulletin*, [s.l.], v. 127, p.15-21, fev. 2018. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17309931?via%3Dihub>>.

Acesso em: 03 dez. 2018.

AUTA, H.s.; EMENIKE, C.u.; FAUZIAH, S.h.. Screening of *Bacillus* strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 231, p.1552-1559, dez. 2017. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.043>. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117309648?via%3Dihub>>.

Acesso em: 03 dez. 2018.

BARBOSA, Priscilla da Silva. INGESTÃO DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO PELO PACU-CURUPETÉ *Tometes kranponhah* (SERRASALMIDAE), PEIXE ENDÊMICO DO RIO XINGU, BRASIL. 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia Aquática e Pesca., Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em:

<[http://www.ppgeap.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2018/PPGEAP\\_Dissertac%CC%A7a%CC%83o\\_Priscilla%20da%20Silva%20Barbosa\\_2018.pdf](http://www.ppgeap.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2018/PPGEAP_Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Priscilla%20da%20Silva%20Barbosa_2018.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2018.

- BROWNE, Mark A.; GALLOWAY, Tamara; THOMPSON, Richard. Microplastic-an emerging contaminant of potential concern? Integrated Environmental Assessment And Management, [s.l.], v. 3, n. 4, p.559-561, out. 2007. Wiley.  
<http://dx.doi.org/10.1002/ieam.5630030412>. Disponível em:  
<<https://pdfs.semanticscholar.org/7d9f/9331db1126a873c514d18cfbb1d694bb0aab.pdf>>.  
Acesso em: 01 jun. 2018.
- CAPUCHO, Joana; SANTOS, Teresa Rocha. Fungo marítimo é solução para erradicar microplásticos dos oceanos.2017. Disponível em:  
<<https://www.dn.pt/sociedade/interior/fungo-maritimo-e-solucao-para-erradicar-microplasticos-dos-oceanos-8693395.html>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- COLE, Matthew et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin, [s.l.], v. 62, n. 12, p.2588-2597, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11005133>>. Acesso em: 15 maio 2018
- CORIOLOANO, Ana Catarina Fernandes; MORAIS FILHO, Manuel Capristanio de. BIORREMEDIAÇÃO, UMA ALTERNATIVA NA UTILIZAÇÃO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA INDÚSTRIA PETROLÍFERA. Holos, [s.l.], v. 7, p.133-150, 12 nov. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).  
<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2016.4278>. Disponível em:  
<<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4278/1594>>. Acesso em: 26 maio 2018.
- CORREA, Mayara. Projetos de lei querem acabar com uso de canudos plásticos em Sorocaba e São Roque. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/2018/08/28/projetos-de-lei-querem-acabar-com-uso-de-canudos-plasticos-em-sorocaba-e-sao-roque.ghtml>>. Acesso em: 03 set. 2018.
- CUCCATO, Guaciara Regina Soares Pinho. A IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS E A CONSCIENTIZAÇÃO DOS ALUNOS DO ENSINO MÉDIO. 2014. 30 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em:  
<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4264/1/MD\\_ENSCIE\\_2014\\_2\\_38.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4264/1/MD_ENSCIE_2014_2_38.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- DESFORGES, Jean-pierre W.; GALBRAITH, Moira; ROSS, Peter S.. Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. Archives Of Environmental Contamination And Toxicology, [s.l.], v. 69, n. 3, p.320-330, 12 jun. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5>. Disponível em:  
<<https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-015-0172-5>>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- DIAS, Martin. Microplásticos: um problema para os oceanos. 2017. Disponível em:  
<<http://www.ccst.inpe.br/microplasticos-um-problema-para-os-oceanos/>>. Acesso em: 25 maio 2018.
- FISNER, Mara. Grânulos plásticos em praias arenosas: avaliação de um método amostral quantitativo e da contaminação química. 2012. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em:  
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21134/tdc-28032013-112545/en.php>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

GESAMP (Org.). SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: A GLOBAL ASSESSMENT. 2015. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP\\_microplastics\\_full\\_study.pdf](http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics_full_study.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2018.

GEYER, Roland et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, [s.l.], v. 3, n. 7, p.1-5, jul. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1700782>. Disponível em: <<http://advances.sciencemag.org/content/advances/3/7/e1700782.full.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018.

Government Office for Science (Org.). Foresight Future of the Sea: A Report from the Government Chief Scientific Adviser. Reino Unido: Government Office For Science, 2018. Disponível em: <[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/706956/foresight-future-of-the-sea-report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/706956/foresight-future-of-the-sea-report.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2018.

HENRIQUES, Ana Maria; SANTOS, Teresa Rocha. Cientistas portugueses descobrem fungo que “come” microplásticos. 2017. Disponível em: <<https://www.publico.pt/2017/06/28/p3/noticia/cientistas-portugueses-descobrem-fungo-que-come-microplasticos-1828211>>. Acesso em: 18 maio 2018.

JAMBECK, J. R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, [s.l.], v. 347, n. 6223, p.768-771, 12 fev. 2015. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1260352>. Disponível em: <[https://www.iswa.org/fileadmin/user\\_upload/Calendar\\_2011\\_03\\_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71\\_\\_2\\_.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/Calendar_2011_03_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71__2_.pdf)>. Acesso em: 03 dez. 2018.

LEBRETON, L. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. Scientific Reports, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-15, 22 mar. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>>. Acesso em: 26 maio 2018.

LEGNAIOLI, Stella. Microplásticos: um dos principais poluentes dos oceanos. 2013. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1267-microplasticos-um-dos-principais-poluentes-dos-oceanos.html>>. Acesso em: 30 maio 2018

MARTINS, Maria Clara Tavares. AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE MICROPLÁSTICOS EM EFLUENTE GERADO POR ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE). Disponível em: <[http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2017/relatorios\\_pdf/ctc/QUI/QUI-Maria Clara Tavares Martins.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2017/relatorios_pdf/ctc/QUI/QUI-Maria Clara Tavares Martins.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2018.

Ministerio da Agricultura e do Mar e Governo de Portugal. Plano Estratégico para a Aquicultura Portuguesa 2014-2020. Disponível em: <[http://eaquicultura.pt/wp-content/uploads/2016/02/Plano\\_Estratégico\\_Aquicultura\\_2014\\_2020.pdf](http://eaquicultura.pt/wp-content/uploads/2016/02/Plano_Estratégico_Aquicultura_2014_2020.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2018.

MIRANDA, Daniele de Almeida. PRESENÇA DE MICROPLÁSTICO NO CONTEÚDO ESTOMACAL DE PEIXES DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM SALVADOR - BA. 2011. 40 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2011. Disponível em: <[http://www.globalgarbage.org/praiadownloads/Monografia\\_Daniele\\_de\\_Almeida\\_Miranda.pdf](http://www.globalgarbage.org/praiadownloads/Monografia_Daniele_de_Almeida_Miranda.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2018.

NOBRE, Caio Rodrigues. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE MICROPLÁSTICOS EM MATRIZES AMBIENTAIS UTILIZANDO INVERTEBRADOS MARINHOS. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia, Universidade Santa Cecília, Santos, 2016. Disponível em: <[https://unisanta.br/arquivos/mestrado/ecologia/dissertacoes/Dissertacao\\_Caio\\_Nobre.pdf](https://unisanta.br/arquivos/mestrado/ecologia/dissertacoes/Dissertacao_Caio_Nobre.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2018.



OGATA, Yuko et al. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. Marine Pollution Bulletin, [s.l.], v. 58, n. 10, p.1437-1446, out. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X09002690>>. Acesso em: 15 maio 2018.

OLIVATTO, Glaucia Peregrina. Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara. 2017. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/29926/29926.PDF>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

PAÇO, Ana et al. Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. Science Of The Total Environment, [s.l.], v. 586, p.10-15, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.017>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717302577?via=ihub>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

PEREIRA, Flávia Cabral. Microplásticos no ambiente marinho: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos. 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21134/tde-30032015-150240/pt-br.php>>. Acesso em: 25 maio 2018.

PINTO, Fagner Ferreira. DEGRADAÇÃO DE MADEIRAS POR FUNGOS: ASPECTOS BIOTECNOLÓGICOS E DE BIORREMEDIAÇÃO. 2006. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Microbiologia, Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9RPGD5/monografia\\_\\_fagner.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9RPGD5/monografia__fagner.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 19 maio 2018.

POLONIO, Julio Cesar et al. Potencial biorremediador de microrganismos: Levantamento de resíduos industriais e urbanos tratáveis no município de Maringá-PR.. Bbr - Biochemistry And Biotechnology Reports, [s.l.], v. 3, n. 2, p.31-45, 8 mar. 2014. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/2316-5200.2014v3n2p31>. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/bbr/article/view/19155>>. Acesso em: 19 maio 2018.

PRAMILA, R.; RAMESH, K. Vijaya. Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water- a SEM analysi. African Journal Of Microbiology Research, [s.l.], v. 5, n. 28, p.5013-5018, 30 nov. 2011. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/ajmr11.670>. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/AJMR/article-full-text-pdf/296918417039>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 6384, de 04 de julho de 2018. . Rio de Janeiro , 18 jul. 2018. p. 3-4. Disponível em: <<http://doweb.rio.rj.gov.br/porta1/visualizacoes/pdf/3828/#/p:4/e:3828>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

ROCHA-SANTOS, Teresa; DUARTE, Armando C.. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. Trac Trends In Analytical Chemistry, [s.l.], v. 65, p.47-53, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993614002556>>. Acesso em: 24 maio 2018.

RUSSELL, Jonathan R. et al. Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi. *Applied And Environmental Microbiology*, [s.l.], v. 77, n. 17, p.6076-6084, 15 jul. 2011. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.00521-11>. Disponível em: <<https://aem.asm.org/content/aem/77/17/6076.full.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2018.

SANTOS, Amélia S. F. e et al. Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. *Polímeros*, [s.l.], v. 22, n. 3, p.228-237, 14 jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282012005000036>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282012000300005&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000300005&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 19 maio 2018.

SELTENRICH, Nate. New Link in the Food Chain? Marine Plastic Pollution and Seafood Safety. *Environmental Health Perspectives*, [s.l.], v. 123, n. 2, p.34-41, fev. 2015. *Environmental Health Perspectives*. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-a34>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4314237/>>. Acesso em: 07 dez. 2018.

SLUKA, Robert. Microplásticos no ambiente marinho. 2018. Disponível em: <<http://www.arocha.org/pt/projects/microplasticos/>>. Acesso em: 25 maio 2018.

SOBRAL, Paula; FRIAS, João; MARTINS, Joana. Microplásticos nos oceanos - um problema sem fim à vista. *Ecologia*, Lisboa, n. , p.12-21, 2011. Disponível em: <[http://www.speco.pt/images/Artigos\\_Revista\\_Ecologia/revistaecologia\\_3\\_art\\_3\\_3.pdf](http://www.speco.pt/images/Artigos_Revista_Ecologia/revistaecologia_3_art_3_3.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2018.

VAN CAUWENBERGHE, Lisbeth et al. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 182, p.495-499, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.013>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113004387>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

WANG, Jundong et al. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, [s.l.], v. 113, p.7-17, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113615300659>>. Acesso em: 26 maio 2018.

WRIGHT, Stephanie L.; THOMPSON, Richard C.; GALLOWAY, Tamara S.. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 178, p.483-492, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113001140>>. Acesso em: 20 maio 2018.