

***Ideonella sakaiensis* e ação de suas enzimas despolimerizantes de politereftalato de etileno (pet): uma revisão da literatura**

Gecielly de Souza Barbosa ¹

Allyson Rodrigo de Oliveira Lopes ²

Resumo

Ideonella sakaiensis é uma bactéria gram-negativa, aeróbica, não esporulada, em forma de bastonete, isolada de um consórcio microbiano coletado na cidade de Sakai no Japão, identificou-se que ela degrada politereftalato de etileno (PET). O presente trabalho tem por objetivo apresentar a *Ideonella sakaiensis* e seu importante mecanismo de ação na despolimerização do PET. Trata-se de revisão bibliográfica, por análise de artigos, revistas, periódicos, sites e documentos provenientes de estudos entre os anos de 2016 e 2021. Foram utilizados os descritores, *Ideonella sakaiensis*”, “plástico/plastic” e “saúde/health. Foram incluídos artigos em português e inglês e excluídos qualquer artigo que fugisse da temática. Esta bactéria demonstra capacidade de crescer no PET e o tem como fonte de energia, possibilitando a desfragmentação através de enzimas, que atuam despolimerizando a estrutura química do PET, caracterizando um processo de biocatálise enzimática.

Palavras – chave: Bactérias; Inovação; Plásticos

1 Introdução

Ideonella sakaiensis é uma bactéria gram-negativa, aeróbica, não esporulada, em forma de bastonete, que foi isolada de um consórcio microbiano coletado na cidade de Sakai no Japão, além de ser caracterizada com base em um estudo taxonômico polifásico identificou-se que ela degrada tereftalato de polietileno (PET); (TANASUPAWAT *et al*, 2016). A bactéria demonstra capacidade de crescer e transformar o PET em carbono e

¹ Centro Universitário da Vitória de Santo Antão – UNIVISA. Acadêmica do curso de Biomedicina do Centro Universitário da Vitória de Santo Antão – UNIVISA. gecielly@outlook.com

² Centro Universitário da Vitória de Santo Antão – UNIVISA. Professor do curso de Biomedicina do Centro Universitário da Vitória de Santo Antão – UNIVISA. allysonlopes85@gmail.com

energia, a partir da produção de duas enzimas MHETase e PETase que quebram a estrutura polimérica desse poliéster plástico.

O tereftalato de polietileno (PET) é o polímero plástico mais abundante produzido no mundo. Presente, majoritariamente, em embalagens descartáveis, garrafas de bebidas e elementos têxteis. Apresenta difícil reciclagem e baixa capacidade de degradação se acumulando no meio ambiente, o que tem sido reconhecido como um problema ambiental em grande escala (WWF, 2019).

Com a necessidade de envolver e conservar os produtos para venda, a escolha de materiais mais duráveis para o uso no comércio encontraram no plástico, provavelmente o material mais popular e adaptável desse tipo de polímero (CORRÊA, 2019). O PET foi patenteado na década de 40 e é possível que todo insumo produzido desde aquela época ainda não tenha sido degradado (UNIVASF, 2019). Em menos de trinta anos o Fundo Mundial para a Natureza (WWF, World Wide Found) (2019), estima que haverá mais plásticos do que peixes nos mares.

Segundo o Conselho Regional de Biomedicina (2ª Região), a competência do profissional biomédico inserido na microbiologia se dá por classificar, identificar e estudar todos os aspectos de microrganismos, além de desenvolver pesquisas técnico-científicas para avaliar como os agentes reagem entre si, com o ambiente em que estão inseridos e se afetam os seres vivos de alguma maneira. A forma que algo afeta determinado ambiente diz muito sobre como se deve lidar com a sua existência, seja pelo aumento de casos de doenças ou a presença excessiva de plástico nos oceanos, diz respeito a quem quer um futuro seguro.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a *Ideonella sakaiensis* e seu importante mecanismo de ação na despolimerização do PET, que em alguns anos poderá se tornar um recurso no problema da poluição plástica, enfatizando que a degradação biocatalítica mediada por enzimas pode ser potencialmente integrado ao processo de reciclagem de plástico para cooperar ou substituir as substâncias químicas atuais (ZHU, 2021). A *Ideonella sakaiensis* destaca-se por seu mecanismo de ação sinérgico e de possível utilização em relação ao problema, o que a torna uma promissora estratégia de diminuição da poluição existente.

2 Metodologia

Trata-se de revisão bibliográfica sistemática, por análise de artigos, periódicos, sites e documentos provenientes de estudos entre os anos de 2016 e 2021. A metodologia adotada teve como foco abordagem descritiva proveniente de bases de dados eletrônicas, a saber, Google acadêmico, PUBMED, *Scielo e Science Direct*. Buscando conceitos, referências, experimentos específicos e matérias relacionados à *Ideonella sakaiensis*, e poluição plástica.

Os dados apresentados foram buscados utilizando os descritores e operadores booleanos em português e em inglês, respectivamente: “*Ideonella sakaiensis*” E/AND “plástico/plastic”, “*Ideonella sakaiensis*” E/AND “saúde/health”. Refinado em seguida utilizando as sentenças “microplástico/ microplastic” E/AND “saúde/health”, “saúde/health” E/AND “ftalatos/ phthalates. A análise foi realizada a partir de resultados e tópicos centrados no objeto de estudo. Foram excluídos artigos que não trataram o uso de *Ideonella sakaiensis* na degradação de PET como temática principal

3 Resultados e discussão

A partir da busca realizada, foram selecionadas 31 publicações; presentes nas bases de dados PUBMED, Google acadêmico, *Scielo e Science Direct*. De acordo com os critérios de exclusão foram excluídos oito estudos. Os vinte e três artigos restantes se adequaram aos critérios de inclusão e foram utilizados para composição do estudo como esquematizado na **Tabela 1**.

Tabela 1: Publicações e bases de dados utilizadas para composição da presente pesquisa

	SCIELO	SCIENCE DIRECT	PUBMED	GOOGLE ACADÊMICO	WWF	TOTAL
SELECIONADOS	4	11	14	1	1	31
EXCLUÍDOS	1	5	2	0	0	8
TOTAL	3	6	12	1	1	23

FONTE: Elaboração do autor.

3.1 *Ideonella sakaiensis*

Tanasupawat *et al.* (2016), a bactéria cresceu em pH variável de 5,5 - 9,0 e temperatura entre 30° - 37° Celsius. As espécies *Ideonella dechloratans* e *Ideonella azotifigens* apresentam características fisiológicas e bioquímicas diferenciadas. A bactéria (**figura 1**) é um bacilo com um flagelo polar, que possibilita sua movimentação, capaz de transformar carbono orgânico retirado do meio como sua fonte de energia vital. (TANASUPAWAT *et al.*, 2016).

Segundo SEO (2019), estudos sobre a PETase, enzima secretada pela *Ideonella Sakaiensis*, indicam que o mecanismo de ação da enzima é único, tendo maior atividade em filmes PET do que outras hidrolases/esterases, capaz de quebrar cadeias de polímeros extremamente grandes e hidrofóbicos

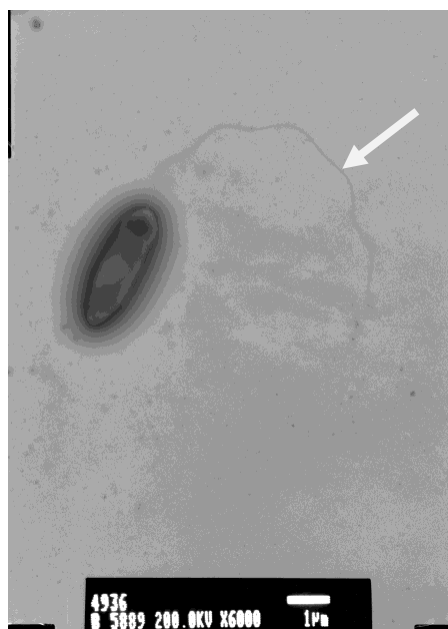


FIGURA 1: Micrografia eletrônica da *Ideonella sakaiensis*
FONTE: TANASUPAWAT, *et al.* (2016).

O mecanismo de ação da *Ideonella sakaiensis* consiste em despolimerizar cadeias de carbono por meio de duas enzimas, PET hidrolase e MHET hidrolase. A bactéria demonstra capacidade de crescer no PET e o tem como fonte de energia, possibilitando a desfragmentação através de enzimas, que atuam despolimerizando a estrutura química do

tereftalato de polietileno (PET), caracterizando um processo de biocatálise enzimática. (YOSHIDA *et al.*, 2016).

3.2 Degradação de PET

O PET é uma resina termoplástica formada pela reação de duas moléculas, o ácido tereftálico e o etileno Glicol que são caracterizados como um hidrocarboneto praticamente insolúvel possui um grupo funcional éster na sua cadeia principal. Segundo Corrêa (2019), a utilização de termoplásticos é quase que totalmente em embalagens primárias de alimentos, no entanto, a maior aplicação do termofixos se dá na confecção e preparação de tintas, vernizes, termosselantes, adesivos, sistemas rígidos para embalagens flexíveis (tampas, sistemas de dosagem etc.), entre outros.

São diferentes bactérias, fungos e enzimas que estão em evidência no estudo de despolimerização dos plásticos, porém, degradantes de Tereftalato de polietileno (PET) estão em menor número comparado a outros polímeros, alguns destes degradantes são *Streptomyces scables*, *Streptomyces sp.* e *Pseudomonas* que liberam enzimas capazes de quebrar cadeias complexas que são componentes desse material (AMOBONYE, 2021; SHARMA; JAIN, 2020).

Amobonye *et al* (2021), comentaram que o componente biótico da degradação do plástico sintético é atribuído principalmente à ação de várias comunidades microbianas, que têm sido observadas como potenciais degradadores de xenobióticos, como o PET; e tem base em sua capacidade de adaptar-se e usar estes produtos químicos como seu crescimento e substratos de energia.

Zhu (2021), ainda afirma que considerando a onipresença dos plásticos em diferentes ecossistemas e a tremenda diversidade metabólica, existe a possibilidade de que comunidades microbianas em vários habitats provavelmente têm evoluído adquirindo capacidades de decomposição plástica. O processo está sendo estudado e testado para reduzir a poluição plástica já existente no planeta.

3.3 Poluição por micro e nanoplásticos

Corrêa (2019), afirmara que dentre as matérias- prima que são mais utilizadas nas indústrias de cosméticos e alimentos, as que mais se destacam no lixo produzido diariamente pelos habitantes, no Brasil, são o plástico e o papel, fazendo com que seja

necessária uma avaliação da utilização destes dois materiais. Azeredo (2017) indicou que apesar da origem do microplástico ser incerta, reforça o fato que quando ingerido pelos peixes, eles derivam de materiais maiores que foram degradados até atingirem o ambiente onde foram depositados.

Para Kumar (2020), teia alimentar marinha pode ser modificada pela grande concentração de micro e nanoplásticos, uma vez acumulados os produtos químicos tóxicos presentes causam graves problemas às formas de vida aquáticas, como mortalidade, danos físicos internos e externos, entre outras coisas.

Em concordância Azeredo (2017), informara que quando encontrados em grandes quantidades, os microplásticos podem prejudicar a saúde dos peixes, por exemplo, por meio do acúmulo de metais pesados e da perda de saciedade. Além de serem, responsáveis por causar efeitos físicos negativos nos peixes ao impedir a absorção de nutrientes devido ao seu acúmulo em apêndices alimentares e causando danos aos tecidos gastrointestinais, além de efeitos fisiológicos que causam mudanças comportamentais.

4 Conclusão

A *Ideonella Sakaiensis* pode se tornar um recurso capaz de despolimerizar um plástico abundante que está infiltrado em todos os ecossistemas do planeta. O seu mecanismo de ação único se destaca porque aborda um acúmulo de material inútil e torna plausível a batalha contra um problema que afeta muitas pessoas. A liberação de agentes tóxicos pelos microplásticos é um assunto que tem tomado grandes proporções, visto que, cada vez mais a consciência ambiental se alinha com a inovação.

Até que haja um processo de utilização de microrganismos capazes de afetar o acúmulo da poluição plástica no planeta, muitos estudos deverão ser idealizados, muitos hábitos mudados, muitas discussões deverão ser feitas e estudos aprofundados. Pois, a maneira com que se lida com a problemática em questão cria mais perguntas, que poderão ser respondidas com mais análises e incentivo ao crescimento da responsabilidade ambiental e científica de quem habita o planeta.

5 Agradecimentos

À Deus por sua infinita misericórdia.

6 Referências

- AMOBONYE, A. BHAGWAT, P., SINGH, S., e PILLAI, S. Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. **Science of the Total Environment**, v. 759, n. 143536, p. 1-16, Mar, 2021.
- AUSTIN, H. P. ALLEN, M. D., DONOHOE, B. S., RORRER, N. A., KEARNS, F. L., SILVEIRA, R. L., POLLARD, B. C., DOMINICK, G., DUMAN, R., EL OMARI, K., MYKHAYLYK, V., WAGNER, A., MICHENER, W. E., AMORE, A., SKAF, M. S., CROWLEY, M. F., THORNE, A. W., JOHNSON, C. W., WOODCOCK, H. L., MCGEEHAN, J. E. E BECKHAM, G. T.. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 19, p. 4350-4357, May, 2018.
- AZEREDO. D. G. D., GASS V. L., MILANEZ, J. F. B. & PIZZATO A. C., Evidências em relação aos riscos à saúde pelo uso do plástico em embalagens alimentícias, **Ciência & Saúde**, vol. 10, no. 3, pp. 184–191, Jul, 2017.
- BENJAMIN, S., MASAI, E., KAMIMURA, N., TAKAHASHI, K., ANDERSON, R. C., E FAISAL, P. A. Phthalates impact human health: Epidemiological evidences and plausible mechanism of action.. **journal of hazardous materials**, v. 1, n. 340, p. 360-383, Oct, 2017.
- BOLLAÍN, C. P.; AGULLÓ, D. V. Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. **Revista Española de Salud Pública**, v. 93, n. 1, p. 1-5, Sep, 2019.
- CARBERRY, M; O'CONNOR, W; PALANISAMI, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. **Environment International**, v. 115, n. 1, p. 400-409, Jun,2018.
- CORRÊA, J. O. S., DIAS,I.C., RAHHAL, N.D.F. E ALMEIDA, A.M.. Estudo sobre benefícios e desvantagens do uso do plástico e do papel em embalagens para sustentabilidade. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 5 n.2. p. 77-87. Nov, 2019.
- CRBM. **Manual do Biomédico**. Disponível em: <<http://www.crbm2.gov.br/docs/ebook-manual-do-biomedico.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2021
- GRAF, L. G. MICHELS, E., YEW, Y., LIU, W., PALM, G. J., E WEBER, G. Structural analysis of PET-degrading enzymes PETase and MHETase from *Ideonella sakaiensis*. **Methods in Enzymology**, v. 1, n. 648, p. 337-356, 2021.
- KARBALAEI, S. HANACHI, P., WALKER, T. R., E COLE, M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. **Environmental Science and Pollution Research** , v. 25, n. 36, p. 36046-36063, Oct,2018.

KUMAR, A. G. ANJAN K., HINDUJA M., SUJITHA K., DHARANI G. Review on plastic wastes in marine environment : Biodegradation and biotechnological solutions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, n. 1, p. 1-8, Jan, 2020.

KUMAR, V. MAITRA. S.S., SINGH R., BURNWAL, D.K. Acclimatization of a newly isolated bacteria in monomer tere-phthalic acid (TPA) may enable it to attack the polymer poly-ethylene tere-phthalate(PET), **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 4, p. 1-7, Aug, 2020.

LANDIM, A. P. M., BERNARDO, C.O., MARTINS, I.B.A., FRANCISCO, M.R., SANTOS, M.B. E MELO, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

OLIVEIRA, C. W. d. S.; CORREA, C. d. S.; SMITH, W. S. Ecologia alimentar e presença de microplásticos no conteúdo estomacal de peixes neotropicais em um rio urbano da bacia do alto rio Paraná. **Rev. Ambient. Água**, v. 15, n. 4, e2551, 2020.

PALUSELLI, A. FAUVELLE, V., GALGANI, F., & SEMPÉRÉ, R. . PHTHALATE Release from Plastic Fragments and Degradation in Seawater. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 1, p. 166-175, Nov, 2019.

ROWDHWAL, S. S. S; CHEN, Jiexiang. Toxic Effects of Di-2-ethylhexyl Phthalate: An Overview. **Biomed Research Internacional**, v. 2018, n. 1, p. 2018-2019, 2018.

SEO, H. KIM, S., SON, H. F., SAGONG, H. Y., JOO, S., & KIM, K. J.. Production of extracellular PETase from *Ideonella sakaiensis* using sec-dependent signal peptides in *E. coli*. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 508, n. 1, p. 250-255, Jan, 2019.

SHARMA, B.; JAIN, P. Deciphering the advances in bioaugmentation of plastic wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, n. 1, p. 1-16, Dec, 2020.

TANASUPAWAT, S. TAKEHANA, T., YOSHIDA, S., HIRAGA, K., & ODA, K. *Ideonella sakaiensis* sp. nov., isolated from a microbial consortium that degrades poly (ethylene terephthalate). **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 66, n. 8, p. 2813-2818, Aug, 2016.

TIWARI, N.; SANTHIYA, D.; SHARMA, J. G. Microbial remediation of micro-nano plastics: Current knowledge and future trends. **Environmental Pollution**, v. 265, n. 1, p. 1-10, Oct, 2020.

TOURNIER, V. TOPHAM, C. M., GILLES, A., DAVID, B., FOLGOAS, C., MOYA-LECLAIR, E., KAMIONKA, E., DESROUSSEAU, M. L., TEXIER, H., GAVALDA, S., COT, M., GUÉMARD, E., DALIBEY, M., NOMME, J., CIOCI, G., BARBE, S., CHATEAU, M., ANDRÉ, I., DUQUESNE, S., & MARTY, A.. An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. **Nature**, v. 580, n. 7802, p. 216-219, Apr, 2020.

UNIVASF. **A cor da garrafa PET importa?** Disponível em:

<<https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/a-cor-da-garrafa-pet-importa>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.** Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 5 mai. 2021.

YOSHIDA, S. HIRAGA, K., TAKEHANA, T., TANIGUCHI, I., YAMAJI, H., MAEDA, Y., TOYOHARA, K., MIYAMOTO, K., KIMURA, Y., & ODA, K A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). **Science**, v. 351, n. 6278, p. 1196-1199, Mar, 2016.

ZHU, B.; WANG, D.; WEI, N. Enzyme Discovery and Engineering for Sustainable Plastic Recycling. **Trends in Biotechnology**, p. 1-16, Mar, 2021.