

MICRORGANISMOS CONTRA O PLÁSTICO:

pesquisadores da Uniso identificam bactérias capazes de transformar
e degradar resíduos plásticos de forma mais sustentável

MICROORGANISMS VERSUS PLASTIC:

researchers from Uniso identified bacteria capable of transforming
and degrading plastic waste in a more sustainable way

Por/By: Guilherme Profeta
Fotos/Photos: Fernando Rezende

Foto/Photo: vchalup (Adobe Stock)

Montes de lixo plástico empilhados num lixão a céu aberto; até o ano 2050, 12 bilhões de toneladas de resíduos desse tipo deverão ter sido acumuladas em aterros sanitários e no meio ambiente de modo geral

Heaps of plastic waste piled up in an open-air landfill; by the year 2050, 12 billion tons of this type of waste are expected to have accumulated in landfills and throughout the environment

Pare de ler por um momento e olhe ao seu redor. Onde quer que você esteja, é bastante provável que haja objetos feitos de plástico derivado de petróleo à sua volta — sacolas, garrafas, utensílios descartáveis, embalagens diversas e por aí vai; a lista é interminável. Agora dê uma boa olhada na foto da página 56; é esse o destino final de boa parte de todo esse material, depois de seu descarte. Até 2050, estima-se que 12 bilhões de toneladas de resíduos sólidos desse tipo deverão ter sido acumuladas em aterros sanitários e no meio ambiente de modo geral.

Isso é especialmente preocupante porque o plástico, diferentemente de outros resíduos, pode levar de algumas décadas a vários séculos para ser degradado no meio ambiente (a depender do tipo). Além disso, ao longo do tempo, os resíduos plásticos podem se fragmentar em microplásticos e nanoplásticos, partículas tão pequenas que podem ser ingeridas por seres vivos e contaminar toda a cadeia trófica, inclusive os seres humanos. Por tudo isso, a poluição por resíduos plásticos é um dos grandes desafios com que a humanidade terá de lidar no avançar do **ANTROPOCENO**.

Stop reading for a moment and look around you. Wherever you are, it is quite likely that there are objects made from petroleum-based plastic around you—bags, bottles, disposable utensils, various types of packaging, and so on; the list is endless. Now take a good look at the photo on page 56; that is the final destination for much of this material after it is discarded. By 2050, an estimated 12 billion tons of this type of solid waste will have accumulated, whether in landfills or throughout the environment.

This is especially concerning because, unlike other types of waste, plastic can take anywhere from a few decades to several centuries to degrade in the environment, depending on the type. Moreover, over time, plastic waste can break down into microplastics and nanoplastics—particles so small that they can be ingested by living organisms and contaminate the entire food chain, including humans. For all these reasons, plastic pollution is one of the major challenges humanity will have to face as the **ANTHROPOCENE** progresses.

PARA SABER MAIS: O QUE É O ANTROPOCENO?

“Antropoceno” é um termo cunhado pelo químico holandês Paul Josef Crutzen (1933—2021), no início deste século, para se referir a esta era geológica substancialmente marcada pela influência da espécie humana sobre as paisagens terrestres. Entende-se que, no Antropoceno, as atividades antrópicas (a pecuária, o desmatamento, a emissão de gases, o descarte de resíduos etc.) passaram a modificar significativamente a constituição dos ambientes, os ecossistemas e o próprio clima, tornando o homem algo comparável a uma força geológica.

TO KNOW BETTER: WHAT IS THE ANTHROPOCENE?

“Anthropocene” is a term coined by Dutch chemist Paul Josef Crutzen (1933–2021) in the early 21st century to describe this geological era that is significantly characterized by the influence of the human species on Earth’s landscapes. The Anthropocene is understood as a time when human activities (such as livestock farming, deforestation, gas emissions, and waste disposal) have begun to significantly alter the configuration of environments, ecosystems, and even the climate, effectively making humanity comparable to a geological force.



O professor doutor Fabio M. Squina, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Uniso, coordenou uma equipe de 17 pesquisadores, tanto internos quanto externos à Uniso

Professor Fabio M. Squina, from Uniso's graduate program in Technological and Environmental Processes, coordinated a team of 17 researchers, both internal and external to Uniso

Muitos podem argumentar que é para isso que serve a reciclagem — em outras palavras, o processo de transformar materiais usados e descartados em produtos novos, o que ajuda a reduzir o consumo de recursos naturais — e essas pessoas não estão erradas, mas o problema é que a reciclagem sozinha (ao menos como ela é conduzida hoje) não é suficiente. “Os processos de reciclagem, tanto a mecânica quanto a química, são essenciais, mas insuficientes para lidar com os problemas da poluição por plásticos. Normalmente, esses processos produzem materiais plásticos de qualidade inferior, que acabam sendo descartados novamente, assim agravando o problema.”

A afirmação é parte de um artigo assinado por uma equipe de 17 pesquisadores — dos quais 12 são da Universidade de Sorocaba (Uniso), incluindo professores, pesquisadores de pós-doutorado e estudantes, tanto dos programas de pós-graduação quanto de graduação —, sob a coordenação do professor doutor Fabio Marcio Squina, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Uniso. O artigo foi publicado no final de 2024, no periódico internacional *Science of the Total Environment*, e pode ser acessado por meio do *QR code* incluído na página 68.

Nesse trabalho, que foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), os pesquisadores identificaram bactérias com a capacidade de degradar certos tipos de plástico, mais especificamente o polietileno (PE) e o tereftalato de polietileno (PET), respectivamente utilizados na produção de sacolas e garrafas.

“Embora os plásticos sejam quimicamente inertes e resistentes à degradação microbiana, certos microrganismos, incluindo bactérias e fungos, vêm sendo descritos como degradadores de plástico”, destacam os autores, no artigo. Eles explicam que esses microrganismos formam **BIOFILMES** sobre a superfície dos plásticos, envolvendo-os e produzindo enzimas capazes de quebrar os polímeros em unidades moleculares menores e menos complexas, que podem ser utilizadas como fonte de energia. Encontrar esses organismos e compreender os seus processos

Many may argue that recycling—that is, the process of turning used and discarded materials into new products, which helps reduce the consumption of natural resources—is the solution. And they would not be wrong. But the problem is that recycling alone (at least the way it is done today) is just not enough. “Mechanical and chemical recycling processes are essential but insufficient for addressing plastic pollution issues. Usually, these recycling processes produce lower-quality plastic materials that are ultimately discarded again, thus aggravating the problem.”

The statement is part of a paper authored by a team of 17 researchers—12 of whom are affiliated with Uniso, including professors, postdoctoral researchers, and students from both graduate and undergraduate programs—under the coordination of professor Fabio Marcio Squina, from Uniso’s graduate program in Technological and Environmental Processes. The paper was published at the end of 2024 in the international journal *Science of the Total Environment* and can be accessed via the QR code on page 68.

In this study, which was funded by the São Paulo Research Foundation (Fapesp) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the researchers identified bacteria capable of degrading certain types of plastic, specifically polyethylene (PE) and polyethylene terephthalate (PET), which are used in the production of bags and bottles, respectively.

“Although plastics are chemically inert and resistant to microbial degradation, certain microorganisms, including bacteria and fungi, have been described as plastic-degrading organisms,” the authors highlight in the paper. They explain that these microorganisms form **BIOFILMS** on the surface of plastics, enveloping them and producing enzymes capable of breaking down the polymers into smaller, less complex molecular units that can be used as an energy source. Identifying these organisms and understanding their metabolic processes is,

metabólicos é, assim, um passo importante para o desenvolvimento de processos mais eficientes de biorreciclagem.

ENCONTRANDO OS MICRORGANISMOS CERTOS

Há uma série de estudos publicados nos últimos dez anos que vêm identificando e catalogando microrganismos capazes de degradar plástico, a partir de diversos contextos — ambientes marinhos, aterros sanitários e outros locais em que os microrganismos possam estar adaptados à metabolização desses materiais.

Isso é necessário porque não existe um único microrganismo suficientemente eficiente para quebrar sozinho as moléculas de que os polímeros são compostos. “A complexidade química e estrutural dos polímeros plásticos sintéticos torna difícil que um único microrganismo consiga degradá-los”, explicam os pesquisadores. “Ainda assim, consórcios microbianos, com habilidades metabólicas diferentes e complementares, podem, em conjunto, acelerar o processo de degradação”. Daí a importância de identificar múltiplas espécies, compreendendo como cada uma contribui com o sistema enzimático em seus respectivos biofilmes.

therefore, an important step toward developing more efficient biorecycling methods.

FINDING THE RIGHT MICROORGANISMS

A number of studies published in the past ten years have been identifying and cataloging microorganisms capable of degrading plastic, from various contexts—marine environments, landfills, and other places where microorganisms might be adapted to metabolize these materials.

This is necessary because there is no single microorganism that is sufficiently efficient to break down the molecules that make up polymers on its own. “The chemical and structural complexity of synthetic plastic polymers makes it challenging for a single microorganism to degrade them,” the researchers explain. “Still, microbial consortia, with different and complementary metabolic abilities, can collectively enhance the process of plastic degradation.” Hence the importance of identifying multiple species, thus understanding how each one contributes to the enzymatic system in their respective biofilms.

PARA SABER MAIS: O QUE SÃO BIOFILMES?

Biofilmes são uma espécie de gel formado por substâncias como açúcares e proteínas, produzido por comunidades de microrganismos, como fungos e bactérias. Essas estruturas extracelulares ajudam os microrganismos a se fixar nos ambientes (como o limo que você encontraria numa tubulação de esgoto, ou até mesmo dentro da sua boca, no caso das placas bacterianas). Elas também ajudam os microrganismos a se proteger contra ameaças, podendo conter antibióticos, por exemplo. Na Uniso, várias pesquisas investigam as diversas aplicações dos biofilmes, incluindo a biodegradação de plásticos.

TO KNOW BETTER: WHAT ARE BIOFILMS?

Biofilms are a kind of gel formed by substances like sugars and proteins, produced by communities of microorganisms such as fungi and bacteria. These extracellular structures help microorganisms attach to surfaces (like the slime you might find in a sewer pipe, or even inside your mouth, when it comes to dental plaque). They also help protect microorganisms against threats and may contain antibiotics. At Uniso, several research projects investigate the various applications of biofilms, including their role in plastic biodegradation.

É claro que, por serem pequenas demais, as bactérias não podem ser visualizadas a olho nu, então, para encontrá-las, os cientistas precisam saber exatamente onde procurar. No caso do projeto coordenado por Squina, o local escolhido foi o solo de uma área rural no município de Salto de Pirapora (a cerca de 30 km de Sorocaba), que vinha sendo exposta à contaminação por diferentes tipos de resíduos plásticos já há uma década, tornando-a propícia para conter bactérias mais adaptadas à metabolização do plástico.

A partir de uma amostra desse solo, foram desenvolvidos dois consórcios microbianos — como são chamadas as comunidades de microrganismos que convivem e interagem uns com os outros num mesmo ambiente. Ambos os consórcios apresentaram a capacidade de crescer utilizando-se do PE ou do PET como fonte de carbono, degradando os plásticos no processo. No caso do PET, tal degradação deixou marcas consideráveis na superfície das amostras, o que pôde ser visualizado com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) da Uniso. De modo geral, os resultados foram bastante promissores.

“A análise por MEV revelou alterações na superfície do plástico após a exposição ao cultivo com consórcio microbiano. Foram observadas mudanças estruturais nos fragmentos de PET, como rachaduras, cavidades e erosão. Em comparação, o PET controle (que não foi exposto ao consórcio microbiano) apresentou uma superfície lisa e uniforme, sem rachaduras, cavidades ou sulcos”, explicam os pesquisadores.

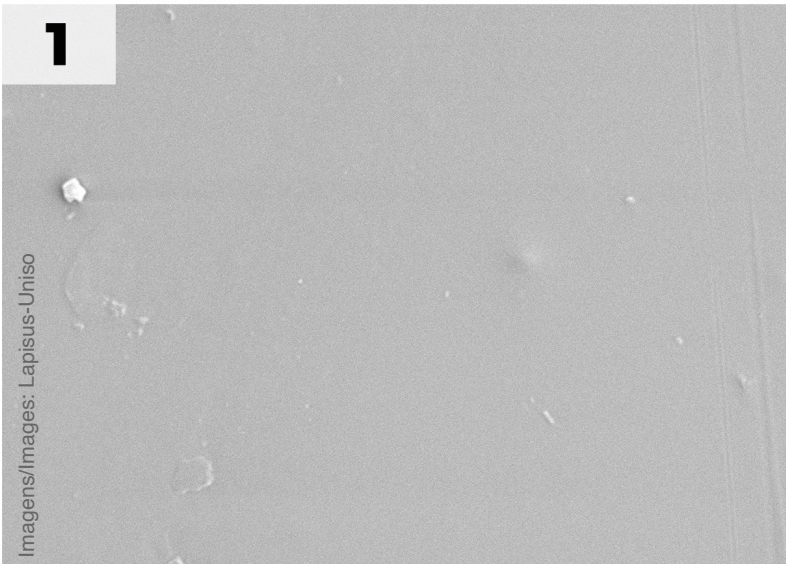
Por fim, esse trabalho confirmou o potencial de usar o solo contaminado com resíduos plásticos como fonte para desenvolver microrganismos especializados na biodegradação de PE e PET. Além disso, o trabalho caracterizou o genoma de 80 bactérias presentes nesses consórcios — algumas já identificadas previamente como espécies promissoras para a biodegradação, outras registradas pela primeira vez —, o que amplia significativamente o conhecimento da comunidade científica sobre microrganismos capazes de degradar plástico, seus genes, suas enzimas e as vias metabólicas relacionadas aos processos de degradação e reaproveitamento de plásticos derivados de combustíveis fósseis.

Of course, since they are too small to be seen with the naked eye, bacteria cannot be visualized directly. Therefore, scientists need to know exactly where to look. In the case of the project coordinated by Squina, the chosen location was the soil of a rural area in the city of Salto de Pirapora (about 30 km away from Sorocaba), which had been exposed to contamination from various types of plastic waste for a decade, making it suitable for harboring bacteria more adapted to metabolizing plastic.

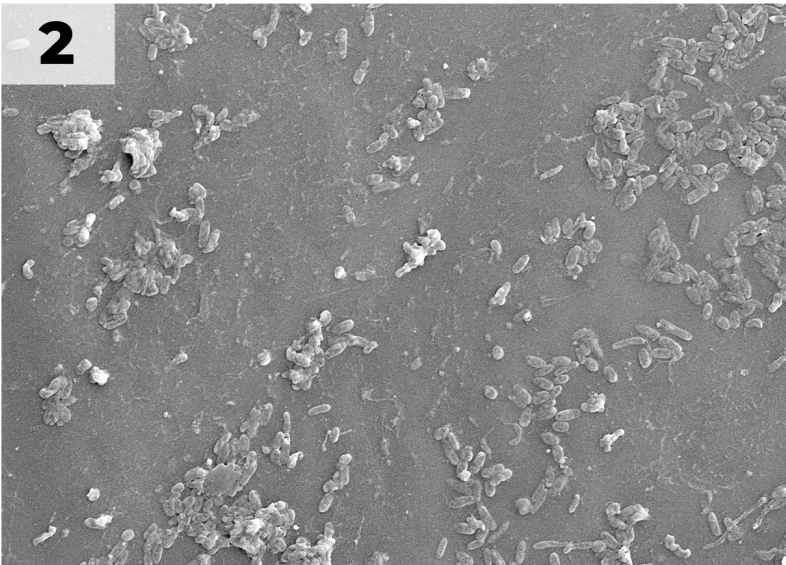
From a sample of this soil, scientists developed two microbial consortia—which are communities of microorganisms that live and interact with each other in the same environment. Both consortia showed the ability to grow using PE or PET as a carbon source, degrading the plastics in the process. In the case of PET, this degradation left considerable marks on the surface of the samples, which could be observed with the aid of Uniso’s scanning electron microscope (SEM). Overall, the results were quite promising.

“SEM analysis revealed changes in the plastic surface after being subjected to microbial consortium cultivation. The structural changes in the PET fragments, including cracks, pits, and erosion, became apparent. The control PET (which was not exposed to the microbial consortium) exhibited smooth and uniform surfaces without cracks, pits, or grooves,” the researchers explain.

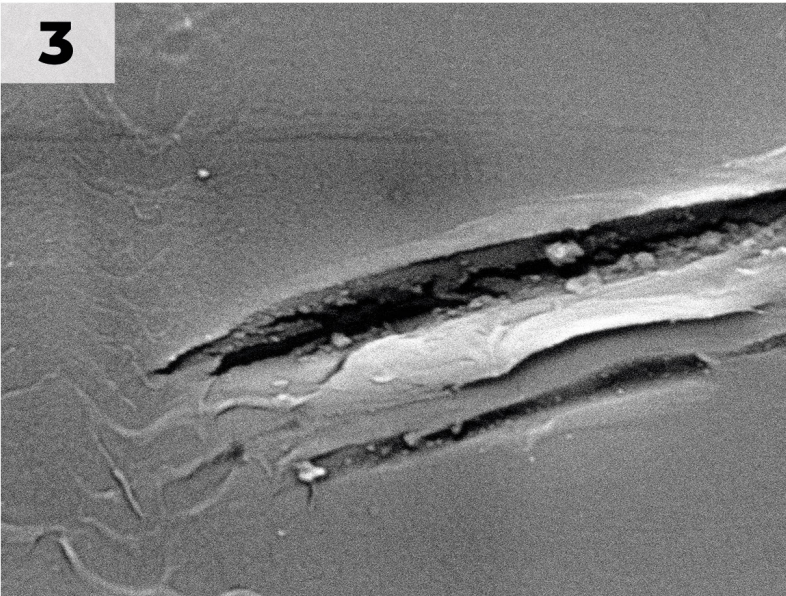
Finally, this work confirmed the potential of using soil contaminated with plastic waste as a source for developing microorganisms specialized in the biodegradation of PE and PET. Additionally, the study characterized the genome of 80 bacteria present in these consortia—some already previously identified as promising species for biodegradation, others recorded for the first time—, which significantly expands the scientific community’s knowledge about microorganisms capable of degrading plastic, their genes, their enzymes, and the metabolic pathways related to the degradation and reuse of plastics derived from fossil fuels.



(1) Superfície do plástico sem dano (controle), ampliação de 5.000 vezes
(1) Undamaged plastic surface (control), magnified 5,000 times



(2) Bactérias sobre a superfície do plástico, ampliação de 2.000 vezes
(2) Bacteria on the plastic surface, magnified 2,000 times



(3) Exemplo de dano sobre a amostra de plástico, ampliação de 15.000 vezes. Todas as imagens foram produzidas por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), no Laboratório de Processamento de Imagens e Sinais da Uniso (Lapisus)
(3) Example of damage on the plastic sample, magnified 15,000 times. All images were produced using a scanning electron microscope (SEM) at Uniso’s Laboratory for Image and Signal Processing (Lapisus, in the Portuguese acronym)



Da terra ao mar, poluição plástica é um problema que atinge diversos ecossistemas

From land to sea, plastic pollution is a problem that affects many ecosystems

PRODUZINDO SUBSTÂNCIAS DE INTERESSE

Dentre as espécies de bactérias identificadas nos consórcios bacterianos, uma merece destaque especial. Trata-se de uma nova cepa de *Pseudomonas sp.*, identificada como BR4, que demonstrou capacidade de degradação de PET e PE. Mas o que a torna verdadeiramente especial é a sua capacidade de produzir um bioplástico de polihidroxibutirato (PHB) contendo unidades de hidroxivalerato (HV), um tipo de molécula que, uma vez presente, melhora as propriedades do copolímero, gerando maior flexibilidade e resistência à quebra, quando em comparação com o PHB puro.

Na prática, essa bactéria consegue produzir um plástico mais flexível e menos quebradiço, além de biocompatível (ou seja, que não costuma fazer mal

PRODUCING SUBSTANCES OF INTEREST

Among the species of bacteria identified in the bacterial consortia, one stands out in particular. It is a new strain of *Pseudomonas sp.*, identified as BR4, which demonstrated the ability to degrade PET and PE. What makes it truly special, however, is its capacity to produce a bioplastic of polyhydroxybutyrate (PHB) containing hydroxyvalerate (HV) units, a type of molecule that, once present, improves the properties of the copolymer, providing greater flexibility and resistance to breakage when compared to pure PHB.

In practical terms, this bacterium is capable of producing a more flexible and less brittle plastic, in addition to being biocompatible (which

para organismos vivos) e também biodegradável. “Essas características específicas tornam o bioplástico produzido pela cepa BR4 promissor para diversas aplicações, incluindo a fabricação de materiais biodegradáveis, embalagens sustentáveis e biomateriais médicos”, ressaltam os pesquisadores, no artigo.

Além disso, por ser biodegradável, esse tipo de plástico, se amplamente utilizado, também pode ajudar a reduzir o grande problema original da poluição plástica, já que ele é reincorporado ao ambiente em menos tempo e sem grandes prejuízos.

O QUE TUDO ISSO SIGNIFICA PARA O FUTURO?

Infelizmente, é pouco provável que a humanidade diminua abruptamente sua dependência de plásticos derivados de petróleo (o que seria o ideal), daí a importância de desenvolver — junto à adoção de práticas mais sustentáveis de consumo — formas eficientes e economicamente viáveis de degradação desse material.

Os resultados obtidos nesse estudo são passos importantes, parte de um caminho que segue nessa direção. Uma vez disponíveis na literatura científica, eles podem, inclusive, ser reproduzidos por outras equipes de pesquisadores — que podem, também, desenvolver consórcios microbianos a partir de solo contaminado, como uma plataforma para descobrir enzimas e microrganismos viáveis para a degradação e o reaproveitamento de plásticos. Isso é bastante positivo, naturalmente, mas é preciso compreender que a ciência é um processo e que esses resultados não implicam soluções imediatas.

“Embora tenham ocorrido avanços na conversão de plásticos por meio de biotecnologia, ainda existem várias lacunas que precisam ser abordadas para que a biorreciclagem de plásticos seja uma realidade”, advertem os pesquisadores. Essas lacunas envolvem aprofundar o entendimento dos mecanismos metabólicos que ocorrem nos biofilmes formados por comunidades bacterianas de interesse, associando esses processos a espécies específicas de bactérias e aos seus respectivos genes. Esse conhecimento permitirá o desenvolvimento gradual de

means it is not harmful to living organisms), and also biodegradable. “This specific feature makes the PHA produced by strain BR4 promising for various applications, including manufacturing biodegradable materials, sustainable packaging, and medical biomaterials,” the researchers emphasize in the paper.

Furthermore, because it is biodegradable, this type of plastic, if widely used, could also help reduce the original problem of plastic pollution, as it is reintegrated into the environment more quickly and without significant harm.

WHAT ARE THE IMPLICATIONS FOR THE FUTURE?

Unfortunately, it is unlikely that humanity will abruptly reduce its dependence on petroleum-based plastics (which would be ideal), and that is why it is important to develop efficient and economically viable ways to properly degrade this material—alongside the adoption of more sustainable consumption practices.

The results obtained in this study are important steps, part of a path that leads in this direction. Once available in the scientific literature, they can even be reproduced by other research teams—who can also develop microbial consortia from contaminated soil as a platform to discover enzymes and microorganisms that are viable for the degradation and reuse of plastics. This is certainly positive, but it is important to understand that science is a process, and these results do not imply immediate solutions.

“Although there have been advancements in plastic conversion using biotechnology, several gaps need to be addressed to accomplish the biorecycling of plastics,” the researchers advise. These gaps involve deepening the understanding of the metabolic mechanisms occurring in biofilms formed by bacterial communities of interest, thus linking these processes to specific bacterial species and their respective genes. This knowledge will enable the gradual development of more efficient microorganisms, with enhanced metabolic capacities to degrade plastics, thus paving the way for the development

microrganismos mais eficientes, com capacidades metabólicas aprimoradas para degradar plásticos, assim abrindo caminho para o desenvolvimento de processos biotecnológicos que possam, um dia, ser empregados em larga escala.

“Na verdade, para alguns tipos específicos de plástico (como o próprio PET), essas soluções em larga escala estão relativamente mais próximas do que as pessoas imaginam, enquanto para outras elas ainda não estão tão avançadas. Internacionalmente, essa é uma área de pesquisa bastante competitiva. Na Uniso, o que estamos fazendo agora é trabalhar para melhorar a capacidade de biodegradação que a bactéria BR4 tem, de modo a degradar plásticos mais resistentes e mais duráveis, bem como aperfeiçoar a capacidade desse microrganismo de produzir bioplásticos, além de desenvolver o processo como um todo para chegar numa escala industrial”, completa Squina.

“No contexto internacional, existem muitos grupos trabalhando na busca por microrganismos como esses que foram identificados aqui, já que essa situação insustentável de poluição plástica é um grande problema no mundo todo. Os resultados desse trabalho, que desenvolvemos sob a coordenação do professor Squina, reforçam que, institucionalmente, estamos no caminho certo, especialmente ao apoiar os grupos de pesquisa instalados na universidade. É preciso oferecer suporte para que esses grupos desenvolvam pesquisas de altíssimo nível, que possam competir com aquilo que é publicado no resto do mundo, principalmente numa área tão sensível e importante quanto a ambiental, em que soluções precisam vir de todo lugar e devem ser prioridade. Felizmente, essa é uma área em que temos atuado fortemente já há algum tempo, e essa pesquisa é um dos frutos dessa vocação institucional refletida em nossos pesquisadores”, conclui o professor doutor José Martins de Oliveira Junior, Pró-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Inovação da Uniso, que é coordenador do Laboratório de Processamento de Imagens e Sinais da Uniso (Lapisus) — onde foram feitas as imagens de MEV — e também um dos pesquisadores envolvidos no estudo.

of biotechnological processes that could, one day, be applied on a large scale.

“In fact, for some specific types of plastic (such as PET itself), large-scale solutions are relatively closer than people might imagine, while for others, they are not as advanced. Internationally, this is a highly competitive topic of research. At Uniso, what we are doing now is working to improve the biodegradation capacity of the BR4 bacterium in order to degrade more resistant and durable plastics, as well as enhance this microorganism’s ability to produce bioplastics, in addition to developing the process as a whole to reach an industrial scale,” Squina concludes.

“Internationally speaking, there are many groups working to find microorganisms like those identified here, as the unsustainable situation of plastic pollution is a major problem worldwide. The results of this work, which we developed under the coordination of professor Squina, reinforce that, institutionally, we are on the right track, especially by supporting the research groups established at the university. It is necessary to provide support so these groups can develop high-level research that can compete with what is published elsewhere in the world, particularly when it comes to such a sensitive and important field as the environment, where solutions need to come from everywhere and should be a priority. Fortunately, this is a field in which we have been strongly active for some time, and this study is one of the outcomes of this institutional commitment reflected in our researchers,” says professor José Martins de Oliveira Junior, Vice-Rector of Research, Extension (Outreach), Innovation and Graduate Programs, who is also the coordinator of Uniso’s Laboratory for Image and Signal Processing (Lapisus, in the Portuguese acronym)—where the SEM images were produced—, as well as one of the researchers involved in the study.

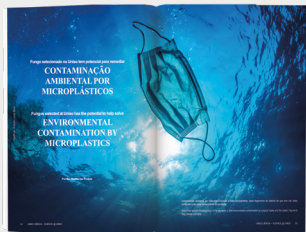


O professor doutor José M. de Oliveira Junior, Pró-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Inovação, também é coordenador do Laboratório de Processamento de Imagens e Sinais da Uniso (Lapisus)

Professor José M. de Oliveira Junior, Vice-Rector of Research, Extension (Outreach), Innovation and Graduate Programs, is also the coordinator of Uniso’s Laboratory for Image and Signal Processing (Lapisus)

PARA SABER MAIS: LEITURAS RELACIONADAS

TO KNOW BETTER: RELATED READINGS



Fungo selecionado na Uniso tem potencial para remediar contaminação ambiental por microplásticos (Uniso Ciência #11, jun./2023)



Fungus selected at Uniso has the potential to help solve environmental contamination by microplastics (Science @ Uniso #11, Jun./2023)



Soluções para muitos dos problemas ambientais contemporâneos podem estar no microbioma vegetal (Uniso Ciência #12, dez./2023)



Solutions to many contemporary environmental issues may lie within plant microbiome (Science @ Uniso #12, Dec./2023)

Com base no artigo “*Plastic-degrading microbial communities reveal novel microorganisms, pathways, and biocatalysts for polymer degradation and bioplastic production*”, publicado no periódico *Science of the Total Environment*, em novembro de 2024, de autoria dos seguintes pesquisadores: Ellen Karen Barreto Roman (Universidade Estadual de Campinas - Unicamp), Murilo Antonio Ramos (Uniso), Geizecler Tomazetto (Uniso), Bruno Botega Foltran (Uniso), Matheus Henrique Galvão (Uniso), Iara Ciancaglini (Unicamp e Uniso), Robson Tramontina (Unicamp e Uniso), Felipe de Almeida Rodrigues (Uniso), Larissa Soares da Silva (Uniso), Ana Luiza Hernandez Sandano (Uniso), Diógenes G. da S. Fernandes (Universidade Federal do ABC - UFABC), Dnane Vieira Almeida (UFABC), Denicezar Angelo Baldo (Uniso), José Martins de Oliveira Junior (Uniso), Wanius Garcia (UFABC), André Damasio (Unicamp), Fabio Marcio Squina (Uniso).

Siga o link para ler o artigo original (em inglês, conteúdo pago):



Use the QR code to follow the link and access the original paper (in English, paid content):



Foto/Photo: Fernando Rezende