

## **Bioprospecção de fungos filamentosos isolados de sedimentos de mangue do estado de Pernambuco para biodegradação de petroderivados**

**Bioprospection of filamentous fungi isolated from mangrove sediments of Pernambuco state for petroderivatives biodegradation**

**Bioprospección de hongos filamentosos aislados de sedimentos de manglar del estado de Pernambuco para la biodegradación de petroderivados**

Recebido: 09/06/2022 | Revisado: 19/06/2022 | Aceito: 23/06/2022 | Publicado: 04/07/2022

**Paulo Gustavo Otaviano da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1104-3984>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: paulo.2018109754@unicap.br

**Rafael de Souza Mendonça**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9226-1627>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: rafa.13souza@hotmail.com

**Everton Ricardo Carneiro Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4132-9350>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: everton.2020204204@unicap.br

**Galba Maria de Campos-Takaki**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: galba.takaki@unicap.br

**Rosileide Fontenele da Silva Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8526-554X>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: rosileide.andrade@unicap.br

**Dayana Montero Rodríguez**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8954-7309>  
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil  
E-mail: dayanamontero87@gmail.com

### **Resumo**

As atividades que envolvem a utilização do petróleo e seus derivados têm sido motivo de constante preocupação pelos danos causados aos ecossistemas, devido à elevada toxicidade e difícil degradação destes compostos. Conseqüentemente, diversos métodos de descontaminação vêm sendo desenvolvidos, destacando-se dentre eles a biorremediação, uma técnica ecologicamente viável que visa à aplicação de micro-organismos e/ou seus produtos para remover ou degradar derivados do petróleo e minimizar os efeitos nocivos nas áreas impactadas. Neste sentido, a utilização de micro-organismos isolados do próprio ecossistema constitui uma estratégia promissória, considerando que já possuem mecanismos de resistência a essas condições ambientais adversas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de biodegradação de petroderivados de fungos filamentosos isolados de sedimentos de mangue do Estado de Pernambuco, contaminados com o derramamento ocorrido em agosto de 2019 na costa do Nordeste brasileiro. Para isso, quatro isolados fúngicos pertencentes aos gêneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Talaromyces* sp. e *Trichoderma* sp. foram submetidos a aclimação em meio Ágar Sabouraud contendo 1-20% de óleo de motor queimado, constatando-se o crescimento em todas as concentrações após 72 h. Em seguida, os micro-organismos aclimatados a 20% foram selecionados para o ensaio de biodegradação de diesel e querosene, no meio Bushnell Haas contendo o indicador redox 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP), verificando-se resultados acima de 75% após 72 h. Contudo, *Aspergillus* sp. demonstrou o maior potencial, uma vez que alcançou 88,4% de biodegradação de ambos petroderivados. Assim, sugere-se a utilização deste micro-organismo promissor em processos de biorremediação de ecossistemas impactados por petróleo e derivados.

**Palavras-chave:** Fungos filamentosos; Biorremediação de derramamento de óleo; Seleção de micro-organismos biodegradadores; Recuperação ambiental.

## Abstract

Activities involving the use of petroleum and its derivatives have been a cause of constant concern for the damage caused to ecosystems, due to the high toxicity and difficult degradation of these compounds. Consequently, several decontamination methods have been carried out, highlighting among them bioremediation, an ecologically viable technique that aims at the application of microorganisms and/or their products to remove or degrade petroleum derivatives and minimize the harmful effects in the impacted areas. In this sense, the use of microorganisms isolated from the ecosystem itself constitutes a promising strategy, considering that they already have mechanisms of resistance to these adverse environmental conditions. Thus, the aim of this work was to evaluate the biodegradation potential of petroderivatives of filamentous fungi isolated from mangrove sediments in the State of Pernambuco, contaminated with the spill that occurred in August 2019 on the coast of Northeast Brazil. For this, four fungal isolates belonging to the genera *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Talaromyces* sp. and *Trichoderma* sp. were subjected to acclimatization in Sabouraud Agar medium containing 1-20% of burnt engine oil, and growth was verified at all concentrations after 72 h. Then, the microorganisms acclimated to 20% were selected for the diesel and kerosene biodegradation test, in Bushnell Haas medium containing the redox indicator 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCPIP), obtaining results above 75% after 72 h. However, *Aspergillus* sp. demonstrated the greatest potential, since it reached 88.4% of biodegradation of both petroderivatives. Thus, it is suggested the use of this promising microorganism in bioremediation processes of ecosystems impacted by oil and derivatives.

**Keywords:** Filamentous fungi; Oil spill bioremediation; Selection of biodegrading microorganisms; Environmental recovery.

## Resumen

Las actividades que involucran el uso del petróleo y sus derivados han sido un motivo de preocupación constante por los daños causados a los ecosistemas, debido a la alta toxicidad y difícil degradación de estos compuestos. En consecuencia, se han desarrollado varios métodos de descontaminación, destacándose entre ellos la biorremediación, una técnica ecológicamente viable que tiene como objetivo aplicar microorganismos y/o sus productos para remover o degradar petroderivados y minimizar los efectos nocivos en las áreas impactadas. En este sentido, el uso de microorganismos aislados del propio ecosistema constituye una estrategia promisoría, considerando que ya cuentan con mecanismos de resistencia a esas condiciones ambientales adversas. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de biodegradación de petroderivados de hongos filamentosos aislados de sedimentos de manglares en el Estado de Pernambuco, contaminado con el derrame ocurrido en agosto de 2019 en la costa del noreste de Brasil. Para ello, cuatro aislamientos fúngicos pertenecientes a los géneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Talaromyces* sp. y *Trichoderma* sp. fueron aclimatados en medio Agar Sabouraud que contenía 1-20% de aceite de motor usado, y se comprobó el crecimiento en todas las concentraciones después de 72 h. Luego, los microorganismos aclimatados al 20% fueron seleccionados para el ensayo de biodegradación de diesel y queroseno, en medio Bushnell Haas conteniendo el indicador redox 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP), verificándose resultados superiores al 75% después de 72 h. Sin embargo, *Aspergillus* sp. demostró el mayor potencial, ya que alcanzó un 88,4% de biodegradación de ambos petroderivados. Así, se sugiere el uso de este prometedor microorganismo en procesos de biorremediación de ecosistemas impactados por petróleo y derivados.

**Palabras clave:** Hongos filamentosos; Biorremediación de derrames de petróleo; Selección de microorganismos biodegradadores; Recuperación ambiental.

## 1. Introdução

O petróleo é uma fonte de energia de origem fóssil, constituída quimicamente por uma mistura complexa de hidrocarbonetos (Ribeiro, 2014; Sharma, et al., 2019). Sua destilação resulta em alguns combustíveis mais utilizados, como: a gasolina, o óleo diesel e o querosene. Este último é composto por parafinas, cicloparafinas, aromáticos e oleofinas, com cadeias de carbono que variam de C9 a C20, sendo considerado um poluente tóxico para a saúde humana e ao meio ambiente (Moharad, et al., 2016; Ahmed & Fakhruddin, 2018).

Assim, nas atividades que envolvem a utilização do petróleo ou de seus derivados, em processos que vão desde a extração e refino até a distribuição dos mesmos, a ocorrência de derrames acidentais constitui um fator de relevante preocupação, considerando que esses compostos apresentam propriedades tóxicas, mutagênicas e carcinogênicas aos seres vivos (Ribeiro, 2014; dos Santos, et al., 2021). Neste sentido, um dos maiores desastres socioambientais já registrados no Brasil aconteceu em agosto de 2019, provocado por um vazamento de petróleo de origem ainda desconhecida que se alastrou por mais de 70% dos 3.300 quilômetros do litoral Nordeste do país (Araújo, et al., 2020; Fukushima, 2022).

Diante disso, diversos métodos vêm sendo desenvolvidos para a recuperação, remoção ou degradação *in-situ* ou *ex-*

*situ* do petróleo derramado e conseqüentemente, para a minimização dos seus efeitos sobre os ecossistemas (Aparna, et al., 2011; Zahed, et al., 2022). Contudo, as técnicas convencionais (métodos físicos e químicos) apresentam problemas operacionais em razão do seu alto custo, necessidade de pessoal e de equipamentos. Entretanto, a aplicação de métodos biológicos no tratamento de locais contaminados com compostos orgânicos tóxicos e voláteis, particularmente hidrocarbonetos do petróleo, tem se mostrado viável e economicamente promissor. Dentre deles, a biorremediação é uma das tecnologias que vem sendo utilizada há vários anos, demonstrando uma maior eficiência na remoção dos contaminantes e na remediação de áreas impactadas, quando comparada às técnicas físicas e químicas (Ribeiro, 2014; Micle, et al., 2018; Decesaro, et al., 2021).

Os estudos de degradação de compostos químicos têm mostrado vários micro-organismos extremamente versáteis em catabolizar moléculas recalcitrantes. Trabalhos atuais em biotecnologia indicam os fungos filamentosos e as bactérias como principais micro-organismos eficientes na degradação de poluentes, possuindo alto potencial de ação na recuperação de ambientes contaminados (Kadri, et al., 2018; Alao & Adebayo, 2022). A eficiência de um ou outro micro-organismo depende, em muitos casos, da estrutura da molécula e da presença de enzimas hábeis em degradar o produto, as quais apresentam especificidade para a maioria dos substratos (Baniyadi & Mousavi, 2018; Hamouda, et al., 2022).

Muitos micro-organismos têm sido utilizados para a degradação de gasolina, óleo diesel e resíduos de petróleo provenientes de derramamentos, nos oceanos ou no solo. Entretanto, a utilização de micro-organismos isolados do próprio ambiente contaminado tem sido selecionada por muitos autores como a abordagem mais promissora no processo de biorremediação, considerando que a população autóctone do habitat alvo se encontra mais adaptada fisiologicamente às condições do mesmo (Radwan, et al., 2019; Chen, et al., 2020; Berde, et al., 2022).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi investigar o potencial para a biodegradação de petroderivados de fungos filamentosos isolados de sedimentos de mangue do Estado de Pernambuco, localizados na área impactada com o derramamento ocorrido em agosto de 2019 na costa do Nordeste brasileiro.

## 2. Metodologia

### Micro-organismos

Neste trabalho foram utilizados quatro isolados de fungos filamentosos pertencentes aos gêneros *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Talaromyces* sp. e *Trichoderma* sp., gentilmente cedidos pela Coleção de Culturas da Universidade Católica de Pernambuco, Recife – Brasil, registrada na World Federation for Culture Collections (WFCC) sob número 927. Os micro-organismos foram previamente isolados de sedimentos de mangue do Estado de Pernambuco, localizados na área impactada com o derramamento ocorrido em agosto de 2019 na costa do Nordeste do Brasil. Os isolados encontravam-se mantidos em meio Ágar Sabouraud (40 g/L de glicose, 10 g/L de peptona e 20 g/L de ágar), sob temperatura de 5°C.

### Petroderivados

Na etapa de aclimação dos micro-organismos foi utilizado óleo de motor queimado obtido após o uso em motor automotivo. O mesmo foi esterilizado em Erlenmeyer de 250 ml a 100 °C em vapor fluente. No ensaio de biodegradação de petroderivados foram utilizados diesel e querosene, previamente esterilizados por filtração em filtro de seringa de 0,22 µm de porosidade (KASVI, modelo K18-230).

### Aclimação dos micro-organismos em óleo de motor queimado

A aclimação dos micro-organismos em óleo de motor queimado foi realizada em triplicata a partir da transferência dos isolados para placas de Petri contendo 20 ml do meio Ágar Sabouraud com 1, 5, 10, 15 e 20% do petroderivado previamente esterilizado. Em seguida, as placas inoculadas foram incubadas em estufa à temperatura de 28°C, e o crescimento

dos isolados, acompanhado a cada 24 h, até 72 h. Placas contendo as mesmas concentrações do óleo de motor queimado, sem inocular, foram incubadas como controle (Montero-Rodríguez, et al., 2014; Ribeiro, et al., 2014).

### Ensaio de biodegradação de petroderivados

Após etapa de aclimação foram selecionados os isolados fúngicos com maior potencial de biodegradação, é dizer, os que demonstraram crescimento na maior concentração do óleo (20%). O ensaio de biodegradação de petroderivados (diesel e querosene) foi conduzido em tubos de ensaio contendo 9,7 ml do meio Bushnell Haas (BH) (0.2 g/L MgSO<sub>4</sub>, 0.02 g/L CaCl<sub>2</sub>, 1 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 1 g/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1 g/L NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e 0.05 g/L FeCl<sub>2</sub>), previamente esterilizado em autoclave a 121°C por 15 min. Os tubos foram acrescentados com 200 µl de solução do indicador redox 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP) (0,5 g/L) e 100 µl do petroderivado (diesel ou querosene) previamente filtrado usando filtro de seringa de 0,22 µm (KASVI, modelo K18-230) (Ozyurek & Bilkay, 2020). O ensaio foi realizado por separado para cada isolado fúngico, utilizando dois discos (6 mm) do micélio crescido na placa contendo 20% de óleo de motor queimado (etapa de aclimação). Foram preparados controles abióticos contendo 9,7 ml do meio BH, 200 µl de solução do DCPIP e 100 µl do petroderivado (diesel ou querosene), sem inocular. O ensaio foi realizado em duplicata e os tubos foram cobertos na superfície com plástico filme e colocados em estante, onde todos foram cobertos com papel alumínio e incubados durante 72 h a 28°C, em condições estáticas e *sob* escuridão (para evitar a ocorrência de fotooxidação). Alíquotas de 2 ml foram retiradas de cada tubo a cada 24 h e submetidas a centrifugação a 12000 rpm e 15°C por 15 min. Em seguida, os sobrenadantes foram retirados e a absorbância foi determinada a 600 nm em espectrofotômetro UV/Vis (modelo Libra S32, Biochrom Ltd.) (Ozyurek & Bilkay, 2020). Os dados de absorbância foram coletados e utilizados para calcular a porcentagem de biodegradação, de acordo a Equação 1 (Mamitha, et al., 2013):

$$\text{Biodegradação (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{Absorbância da amostra}}{\text{Absorbância do controle}} \right) \times 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

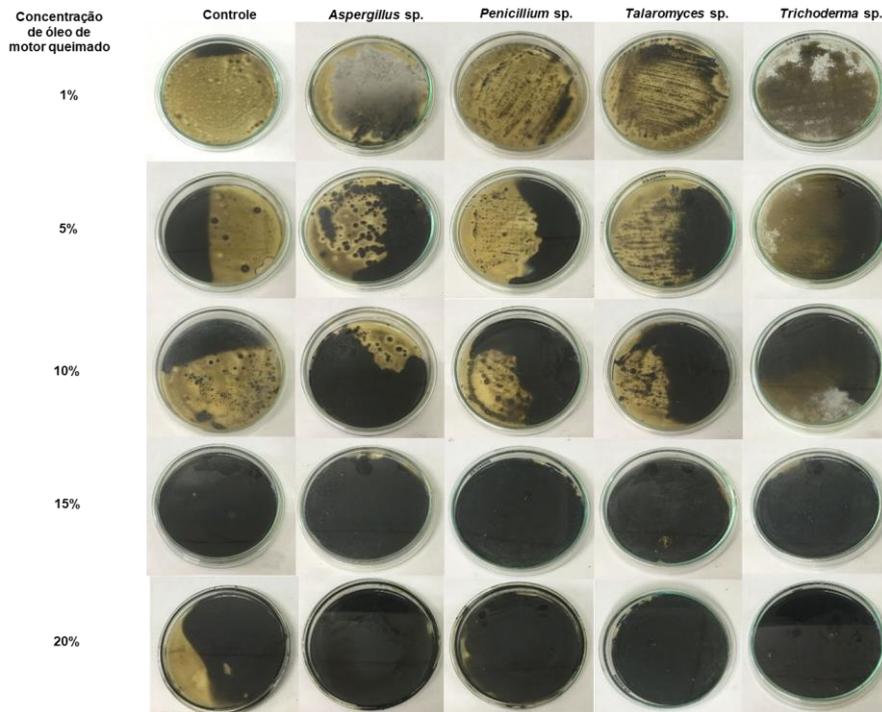
## 3. Resultados e Discussão

### Aclimação dos micro-organismos em óleo de motor queimado

Dentre os grupos microbianos, os fungos têm sido indicados por vários autores para a aplicação em processos de biorremediação, pois são capazes de crescer sob condições de estresse ambiental, as quais geralmente limitam o crescimento de outros micro-organismos (Cechinel, 2019; Gunyar & Uztan, 2021). Em particular, o crescimento dos fungos filamentosos, por meio do alongamento e da ramificação das hifas, é induzido quimiostaticamente em direção à fonte de carbono orgânico. Assim, permite a colonização de grandes áreas, aumentando a superfície de contato destes micro-organismos com os contaminantes e, conseqüentemente, a biodegradação dos mesmos (Olicón-Hernández, et al., 2017; Sánchez, 2020).

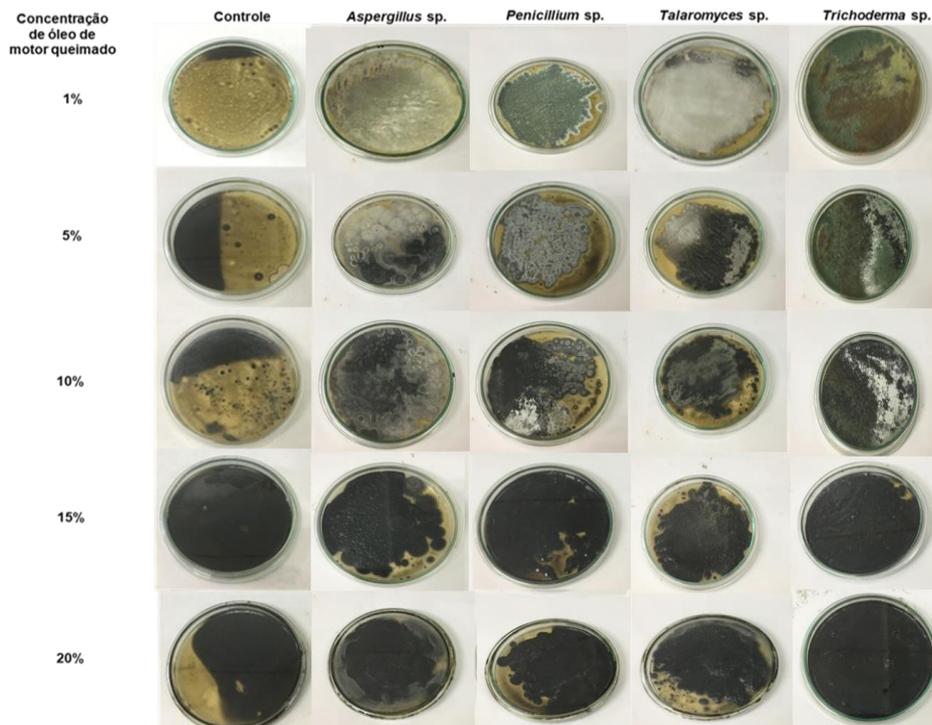
Além disso, é essencial que o período de detoxificação do petroderivado pelos micro-organismos ocorra rapidamente. Diante disso, muitos autores relatam que a aclimação prévia ao poluente exerce grande influência neste processo, pois as células microbianas em contato com o mesmo vão exibir uma resposta fisiológica diferente da que estariam habituadas. Esta fase desencadeia a produção de metabolitos como enzimas e biossurfactantes que irão acelerar a biotransformação e/ou biodegradação dos petroderivados (Montero-Rodríguez, et al., 2014; Ribeiro, 2014; Sahariah & Chatterjee, 2022). Neste contexto, os quatro isolados fúngicos utilizados no presente trabalho foram submetidos a aclimação em concentrações crescentes (1 a 20%) de óleo de motor queimado durante 72 h, e resultados positivos foram obtidos após 48 e 72 h, como pode ser verificado nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

**Figura 1:** Aclimação dos isolados fúngicos a concentrações crescentes de óleo de motor queimado após 48 h de incubação a 28°C.



Fonte: Autores.

**Figura 2:** Aclimação dos isolados fúngicos a concentrações crescentes de óleo de motor queimado após 72 h de incubação a 28°C.



Fonte: Autores.

Após 48 h de incubação, constatou-se o crescimento de todos os isolados fúngicos apenas nas menores concentrações (1, 5 e 10%) do petroderivado (Figura 1). Resultados similares foram relatados previamente por Cruz (2011) após 48 h de

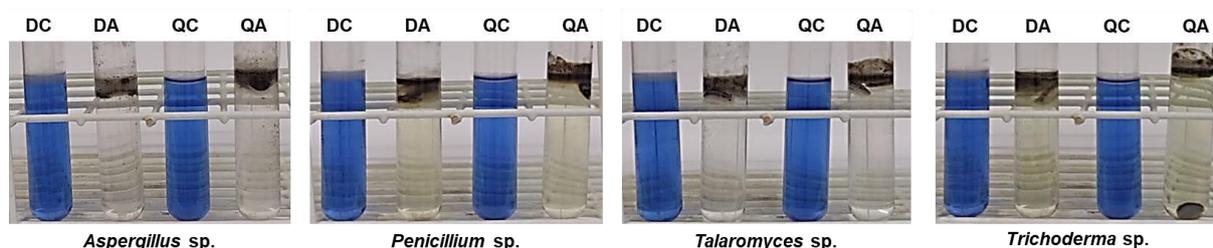
aclimação de *Aspergillus tamaritii* em médio contendo concentrações crescentes de querosene. Assim, a ausência de crescimento nas placas contendo 15 e 20% do óleo deve-se provavelmente à necessidade de um maior período de adaptação às condições adversas (concentrações maiores do óleo de motor queimado), considerando a toxicidade deste petroderivado (Caixeta, et al., 2021). Além disso, nessas concentrações verificou-se que o óleo (composto hidrofóbico) não se dissolveu completamente no meio de cultura, formando uma película que cobriu toda a superfície das placas, o que pode ter interferido na oxigenação dos cultivos e, por consequência, no metabolismo celular. Contudo, após 72 h, foi comprovado o crescimento dos isolados no meio contendo 15 e 20% do petroderivado (Figura 2), verificando-se a aclimação das quatro cepas em todas as concentrações testadas. Segundo Passos, et al. (2009), a etapa de adaptação do micro-organismo ao poluente é essencial, pois, aumenta a taxa de degradação e tolerância, tornando o processo mais eficiente, e também a presença de uma fonte adicional de carbono facilmente assimilável, garante produção inicial de biomassa para a biodegradação.

### Biodegradação de diesel e querosene

Neste estudo, se verificou o potencial dos micro-organismos selecionados (os quatro isolados aclimatados a 20 % de óleo de motor queimado) na biodegradação de diesel e querosene, utilizando o meio Bushnell-Haas contendo o indicador redox 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP). O mecanismo utilizado pelos fungos para biodegradar os petroderivados pode ser observado pela incorporação de um aceptor de elétrons, como o DCPIP, indicada pela mudança da cor do meio, de azul escuro a incolor (Peixoto, et al., 2018; Ribeiro, et al., 2020). Assim, esta metodologia é considerada eficaz e tem sido amplamente utilizada na seleção de micro-organismos com potencial de biodegradação (Al-Nasrawi, 2012; El Hanafy, et al., 2015; Al-Dossary, et al., 2020; Ozyurek, et al., 2021).

Neste contexto, os micro-organismos previamente aclimatados a 20 % de óleo confirmaram o potencial de biodegradação dos petroderivados testados, uma vez que para os quatro isolados verificou-se a mudança de cor do meio, de azul para incolor, após 72 h de incubação (Figura 3). No entanto, após 24 h já se havia constatado uma discreta alteração da cor do meio (de azul escuro a azul mais claro), pouco perceptível, que se tornou mais evidente após 48 h do ensaio, o que indicou a ocorrência de biodegradação significativa dos petroderivados contidos no meio, após 2 dias.

**Figura 3:** Ensaio de biodegradação de petroderivados após 72 h de incubação dos isolados fúngicos no meio Bushnell-Haas contendo o indicador DCPIP. DC: diesel controle (controle abiótico constituído pelo meio Bushnell Haas + indicador DCPIP + diesel); DA: diesel amostra (meio Bushnell Haas + indicador DCPIP + diesel + inóculo), QC: querosene controle (controle abiótico constituído pelo meio Bushnell Haas + indicador DCPIP + querosene); QA: querosene amostra (meio Bushnell Haas + indicador DCPIP + querosene + inóculo).



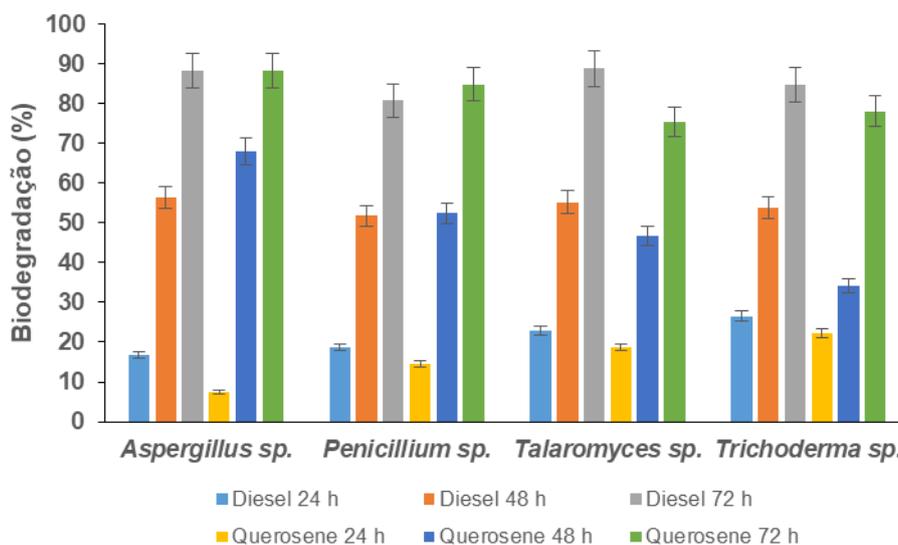
Fonte: Autores.

Estas observações (resultados qualitativos) foram corroboradas pelos resultados quantitativos, obtidos a partir dos dados da análise espectrofotométrica. Como se mostra na Figura 4, após 48 h todos os isolados fúngicos demonstraram biodegradação em torno a 50%, excetuando *Aspergillus sp.* (68,1%) e *Trichoderma sp.* (34,1%), ambos no ensaio contendo

querosene. Contudo, após 72 h os quatro isolados verificaram biodegradação de diesel e querosene acima de 75%, destacando-se *Aspergillus* sp. com 88,4% para os dois petroderivados. Assim como na etapa de aclimação, sugere-se que a obtenção de melhores resultados após 72 h do ensaio se deve à complexidade das moléculas contidas nos compostos a serem degradados (diesel e querosene), assim como ao fato do ensaio ter ocorrido em condições estáticas. Segundo Durval (2017), a agitação é um fator determinante na mistura das fases aquosa e oleosa bem como na transferência de massa de oxigênio em experimentos de biodegradação utilizando frascos agitados.

Vários estudos destacam que os fungos filamentosos são micro-organismos com elevada capacidade para biodegradar compostos policíclicos aromáticos contidos no petróleo e derivados, uma vez que possuem um sistema enzimático versátil (Ye, et al., 2011; Moustafa, 2016; Govarathanan, et al., 2017; Barnes, et al., 2018). Dentre deles, os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são considerados os mais eficientes na degradação de hidrocarbonetos, sendo relatados em inúmeras pesquisas (Saratale, et al., 2007; Al-Nasrawi, 2012; El Hanafy, et al., 2015; Ozyurek, et al., 2021). Representantes desses gêneros estão amplamente difundidos no ambiente, pois produzem estruturas reprodutivas em grande número e muito resistentes, que lhes permitem resistir a condições ambientais desfavoráveis, como baixa umidade, altas temperaturas e elevadas concentrações de petróleo bruto no solo, proporcionando-lhes uma vantagem competitiva para a sobrevivência em tais ambientes (Schwarz, et al., 2019; Al-Dossary, et al., 2020). Nesse sentido, El Hanafy, et al. (2015) relataram a degradação de petróleo por *A. niger* Y1 e *P. commune* Y4, obtendo 54 e 48% após 2 semanas de incubação a 30°C sob agitação. Recentemente, Ozyurek, et al. (2021) informou *A. ochraceus* NRRL 3174 com excelente capacidade na biodegradação de petróleo.

**Figura 4:** Biodegradação de petroderivados no meio Bushnell-Haas pelos isolados fúngicos de sedimentos de mangue.



Fonte: Autores.

Assim, se corroborou o potencial de aplicação dos fungos utilizados neste estudo em processos de biorremediação de petroderivados, em particular de *Aspergillus* sp.

#### 4. Conclusão

Este trabalho confirmou o potencial de fungos filamentosos isolados de sedimentos de mangue contaminados com petróleo para biodegradação de petroderivados. A aclimação dos micro-organismos mostrou-se como um passo essencial na seleção de cepas com maior capacidade de biodegradação, o que foi verificado pelos resultados qualitativos e quantitativos. Contudo, *Aspergillus* sp. demonstrou o maior potencial de biodegradação, apresentando-se como um micro-organismo

promissor para a descontaminação de ecossistemas impactados com petróleo e derivados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro da FACEPE (projeto APQ-0638-2.01/19), da CAPES e do CNPq, assim como ao Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais e Biotecnologia (NPCIAMB), da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), pela disponibilidade de uso de reagentes, equipamentos e laboratórios.

## Referências

- Ahmed, F., & Fakhruddin, A. N. M. (2018). A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 11(3), 1-7.
- Alao, M. B., & Adebayo, E. A. (2022). Fungi as veritable tool in bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-polluted wastewater. *Journal of Basic Microbiology*.
- Al-Dossary, M. A., Abood, S. A., & Al-Saad, H. T. (2020). Factors affecting polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation by *Aspergillus flavus*. *Remediation Journal*, 30(4), 17-25.
- Al-Nasrawi, H. (2012). Biodegradation of crude oil by fungi isolated from Gulf of Mexico. *J Bioremed Biodegrad*, 3(4), 147-52.
- Aparna, A.; Srinikethan, G.; Hedge, S. Effect of addition of biosurfactant produced by *Pseudomonas* ssp. on biodegradation of crude oil. In *International Proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering*, Singapore, v. 6, p. 71-75
- Araújo, M. E. D., Ramalho, C. W. N., & Melo, P. W. D. (2020). Pescadores artesanais, consumidores e meio ambiente: consequências imediatas do vazamento de petróleo no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 36.
- Baniasadi, M., & Mousavi, S. M. (2018). A comprehensive review on the bioremediation of oil spills. *Microbial action on hydrocarbons*, 223-254.
- Barnes, N. M., Khodse, V. B., Lotlikar, N. P., Meena, R. M., & Damare, S. R. (2018). Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India. *3 Biotech*, 8(1), 1-10.
- Benguenab, A., & Chibani, A. (2021). Biodegradation of petroleum hydrocarbons by filamentous fungi (*Aspergillus ustus* and *Purpureocillium lilacinum*) isolated from used engine oil contaminated soil. *Acta Ecologica Sinica*, 41(5), 416-423.
- Berde, V. B., Bramhachari, P. V., & Berde, C. P. Bioremediation of Petroleum Contaminated Soils. In *Bioremediation and Phytoremediation Technologies in Sustainable Soil Management* (pp. 231-249). Apple Academic Press. 2022.
- Caixeta, P. C. F. (2021). Minhocas da espécie *Eisenia fetida* como bioindicador de solo contaminado com óleo de motor remediado por bioestimulação. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 43 f.
- Cechinel, L. (2019). *Isolamento de fungos a partir de solo com uso intenso de agroquímicos, visando a biorremediação* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Chen, Q., Bao, B., Li, Y., Liu, M., Zhu, B., Mu, J., & Chen, Z. (2020). Effects of marine oil pollution on microbial diversity in coastal waters and stimulating indigenous microorganism bioremediation with nutrients. *Regional Studies in Marine Science*, 39, 101395.
- Cruz, G. G. D. (2012). *Degradação de querosene por consórcio microbiano misto* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco).
- Decesaro, A., Rempel, A., Machado, T. S., Cappellaro, Â. C., Machado, B. S., Cechin, I., ... & Colla, L. M. (2021). Bacterial biosurfactant increases ex situ biodiesel bioremediation in clayey soil. *Biodegradation*, 32(4), 389-401.
- dos Santos, R. A., Rodríguez, D. M., Ferreira, I. N. D. S., de Almeida, S. M., Takaki, G. M. D. C., & de Lima, M. A. B. (2021). Novel production of biosurfactant by *Serratia marcescens* UCP 1549 in solid-state fermentation and application for oil spill bioremediation. *Environmental Technology*, 1-12.
- Durval, I. J. B. (2017). *Estudo de um biossurfactante produzido por espécies de Bacillus isoladas de água do mar e seu potencial para biorremediação de derramamento de petróleo* (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- El Hanafy, A. A., Anwar, Y., Mohamed, S. A., Al-Garni, S. M. S., Sabir, J. S., Zinadah, O. A. A., & Ahmed, M. M. (2015). Isolation and molecular identification of two fungal strains capable of degrading hydrocarbon contaminants on Saudi Arabian environment. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*, 9(12), 1215-1218.
- Fukushima, L. M. (2022). Coral-Sol um invasor resistente: avaliação da toxicidade aguda de contaminantes associados às atividades petrolífera e petroquímica sobre a espécie *Tubastraea coccinea*. Trabalho de Conclusão de Curso.
- Govarthanan, M., Fuzisawa, S., Hosogai, T., & Chang, Y. C. (2017). Biodegradation of aliphatic and aromatic hydrocarbons using the filamentous fungus *Penicillium* sp. CHY-2 and characterization of its manganese peroxidase activity. *RSC advances*, 7(34), 20716-20723.
- Gunyar, O. A., & Uztan, A. H. (2021). Environmental mycobiotechnology in special reference to fungal bioremediation. In *Nanotechnology Applications in Health and Environmental Sciences* (pp. 361-383). Springer, Cham.

- Hamouda, R. A., Daassi, D., Hassan, H. A., Hussein, M. H., & El-Sheekh, M. M. (2022). Use of live microbes for oil degradation in situ. In *Advances in Oil-Water Separation* (pp. 297-317). Elsevier.
- Kadri, T., Magdouli, S., Rouissi, T., & Brar, S. K. (2018). Ex-situ biodegradation of petroleum hydrocarbons using *Alcanivorax borkumensis* enzymes. *Biochemical Engineering Journal*, 132, 279-287.
- Micle, V., Sur, I. M., Criste, A., Senila, M., Levei, E., Marinescu, M., ... & Rogozan, G. C. (2018). Lab-scale experimental investigation concerning ex-situ bioremediation of petroleum hydrocarbons-contaminated soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 27(8), 692-705.
- Mojarad, M., Alemzadeh, A., Ghoreishi, G., & Javaheri, M. (2016). Kerosene biodegradation ability and characterization of bacteria isolated from oil-polluted soil and water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4323-4329.
- Montero-Rodríguez, D., Andrade, R. F. S., Ribeiro, D. L. R., Lima, R. A., Araujo, H. W. C., & Campos-Takaki, G. M. (2014). Ability of *Serratia marcescens* UCP/WFCC 1549 for biosurfactant production using industrial wastes and fuels biodegradation In: Industrial, medical and environmental applications of microorganisms: Current status and trends. *Madrid*, 211-216.
- Moustafa, A. M. (2016). Bioremediation of oil spill in Kingdom of Saudi Arabia by using fungi isolated from polluted soils. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(5), 680-91.
- Olicón-Hernández, D. R., González-López, J., & Aranda, E. (2017). Overview on the biochemical potential of filamentous fungi to degrade pharmaceutical compounds. *Frontiers in microbiology*, 8, 1792.
- Ozyurek, S.B., Avcioglu, N. H., & Seyis Bilkay, I. (2021). Mycoremediation potential of *Aspergillus ochraceus* NRRL 3174. *Archives of microbiology*, 203(10), 5937-5950.
- Passos, C. T. D., Burkert, J. F. D. M., Kalil, S. J., & Burkert, C. A. V. (2009). Biodegradação de fenol por uma nova linhagem de *Aspergillus* sp. isolada de um solo contaminado do sul do Brasil. *Química Nova*, 32, 950-954.
- Radwan, S. S., Al-Mailem, D. M., & Kansour, M. K. (2019). Bioaugmentation failed to enhance oil bioremediation in three soil samples from three different continents. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Ribeiro, D.L.R. Avaliação do potencial de degradação de diesel e biodiesel em ambientes impactados utilizando *Pseudomonas aeruginosa*. Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 165 p.
- Sahariah, B. P., & Chatterjee, T. (2022). Bioremediation of Mine tailings from Chhattisgarh, India. *Geomicrobiology Journal*, 1-11.
- Sánchez, C. (2020). Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: An overview of macro-and microplastics biodegradation. *Biotechnology advances*, 40, 107501.
- Saratale, G., Kalme, S., Bhosale, S., & Govindwar, S. (2007). Biodegradation of kerosene by *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. *Journal of Basic Microbiology*, 47(5), 400-405.
- Schwarz, A., Adetutu, E. M., Juhasz, A. L., Aburto-Medina, A., Ball, A. S., & Shahsavari, E. (2019). Response of the fungal community to chronic petrogenic contamination in surface and subsurface soils. *Geoderma*, 338, 206-215.
- Sharma, S., Verma, R., & Pandey, L. M. (2019). Crude oil degradation and biosurfactant production abilities of isolated *Agrobacterium fabrum* SLAJ731. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101322.
- Ye, J. S., Yin, H., Qiang, J., Peng, H., Qin, H. M., Zhang, N., & He, B. Y. (2011). Biodegradation of anthracene by *Aspergillus fumigatus*. *Journal of hazardous materials*, 185(1), 174-181.
- Zahed, M. A., Matinvafa, M. A., Azari, A., & Mohajeri, L. (2022). Biosurfactant, a green and effective solution for bioremediation of petroleum hydrocarbons in the aquatic environment. *Discover Water*, 2(1), 1-20.