

## RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/09/2023.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

---

**FUNGOS BASIDIOMICETOS DE SOLOS DE RECUO DA  
GELEIRA COLLINS (ANTÁRTICA):  
CARACTERIZAÇÃO TAXONÔMICA E APLICAÇÃO  
AMBIENTAL**

**GABRIELE SANTANA DE FARIAS**

Orientadora: Lara Durães Sette  
Coorientadora: Patrícia Giovanella

Rio Claro – SP

2022

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

---

**FUNGOS BASIDIOMICETOS DE SOLOS DE RECUO DA  
GELEIRA COLLINS (ANTÁRTICA):  
CARACTERIZAÇÃO TAXONÔMICA E APLICAÇÃO  
AMBIENTAL**

**Gabriele Santana de Farias**

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biociências do Câmpus de Rio Claro,  
Universidade Estadual Paulista, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Microbiologia Aplicada.

Orientadora: Lara Durães Sette  
Coorientadora: Patrícia Giovanella

Rio Claro – SP  
2022

F224f

Farias, Gabriele Santana de

Fungos basidiomicetos de solos de recuo da geleira Collins  
(Antártica) : caracterização taxonômica e aplicação ambiental /  
Gabriele Santana de Farias. -- Rio Claro, 2022

78 f. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Lara Durães Sette

Coorientadora: Patrícia Giovanella

1. Basidiomicetos antárticos. 2. Biorremediação. 3. Vermelho  
Congo. 4. Óleo diesel. 5. Geleira Collins. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de  
Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:


FUNGOS BASIDIOMICETOS DE SOLOS DE RECUELO DA GELEIRA COLLINS (ANTÁRTICA): CARACTERIZAÇÃO TAXONÔMICA E APLICAÇÃO AMBIENTAL

**AUTORA: GABRIELE SANTANA DE FARIAS**  
**ORIENTADORA: LARA DURÃES SETTE**  
**COORIENTADORA: PATRICIA GIOVANELLA**


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (MICROBIOLOGIA APLICADA), área: Microbiologia Aplicada pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. LARA DURÃES SETTE (Participação Virtual)  
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / IB Rio Claro



Profa. Dra. SUELY MAYUMI OBARA DOI (Participação Virtual)  
Departamento de Bioquímica e Biotecnologia / Universidade Estadual de Londrina - UEL – Londrina



Profa. Dra. RAFAELLA COSTA BONUGLI SANTOS (Participação Virtual)  
Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza / Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Rio Claro, 07 de março de 2022

Dedico este trabalho ao Minho, o gato mais maneiro que já existiu, que acompanhou todas as minhas conquistas por 16 anos e me salvou de mim mesma. Obrigada por tanto.

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais, Marilene e Marcelino, pelo apoio, incentivo e confiança nas minhas escolhas. Ter uma filha bióloga e cientista é a causa de muitos cabelos brancos, mas vocês estão sempre torcendo para que tudo dê certo.

Aos amigos, que fazem a caminhada ser mais leve: Thaís, por compartilhar surtos, livros e comidas, fico feliz demais por nossa aproximação (mesmo que tardia), torço muito pelo seu sucesso e espero um dia ser uma cientista tão incrível quanto você. Luana e Tamiris, por me apoiarem e escutarem todos os meus dramas, por estarem sempre pertinho, mesmo que longe, amo vocês e preparem-se para me aguentar por mais muitos anos ainda. Aos meninos, Álvaro, João e Trentin, que também continuam perto, seja pra surtar sobre a falta de emprego para microbiologista, para jogar Pokémon Go ou pra me acolher com muito carinho em casa. Aos amigos que o tempo e a distância levaram um pouquinho pra longe: Letícia, Maycon e Sthefani, ver as conquistas de vocês me enche de orgulho.

Ao Lucas, meu parcinha de vida, por ser um otaku twitteiro jogador de Pokémon Go: a vida é cheia de coincidências, mas essa foi de longe a melhor. A distância e a saudade são difíceis, mas você tá sempre aqui, todo dia, me apoiando em tudo. Ainda teremos muitas viagens, post-its, risadas, tatakae, shinys (só meus), naninhas e joguinhos bestas que nos deixam estressados. Amo você, tá?

Aos meus gatos: Minho, que foi minha felicidade por 16 anos, e Flufu e Panterinha, que assumiram o cargo agora. Miau pra vocês também.

À minha orientadora, Dra. Lara Sette, por ter confiado no meu trabalho nesses cinco anos que fiz parte do LAMAI. À minha coorientadora, Patrícia Giovanella, pelo auxílio nas análises e por compartilhar fotos de gatinhos. E aos colegas de laboratório, que compartilham as dificuldades de fazer ciências no cenário atual.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida no decorrer do mestrado.

## Resumo

O continente antártico possui condições ambientais extremas, as quais promovem uma pressão seletiva e resulta no desenvolvimento de adaptações para que os microorganismos possam sobreviver. Devido a mudanças climáticas, as geleiras da Antártica estão sofrendo um processo de retração, propiciando um novo hábitat para microorganismos no solo recém-exposto. Fungos basidiomicetos provenientes de solos de recuo da geleira Collins, coletados na OPERANTAR XXXIII (2015), foram utilizados no presente estudo, com o objetivo de avançar na identificação taxonômica e verificar a capacidade de descoloração, destoxificação e adsorção do corante azo Vermelho Congo, bem como a capacidade de se desenvolver na presença do óleo diesel. Os isolados foram identificados como *Pholiota* cf. *baeosperma* (320 e 344), *Schizophyllum* sp. (58) e *Aleurodiscus* sp. (177). Os melhores resultados para descoloração, nas concentrações de 50 e 100 mg/L de corante, foram apresentados pelos fungos *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e *Schizophyllum* sp. 58 após sete dias de cultivo a 25 °C. Todos os fungos apresentaram atividade enzimática para lacase, sendo a maior atividade (8,8 U/L) obtida para o fungo *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 na concentração de 100 mg/L do corante. Na cinética de descoloração, *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344 apresentaram uma média de 70% de descoloração desde o primeiro dia do experimento, enquanto *Schizophyllum* 58 alcançou um máximo de descoloração (acima de 90%) no sétimo dia do experimento e *Aleurodiscus* sp. 177 apresentou uma diminuição de 10 % na descoloração no sétimo dia do experimento. Quanto à fitotoxicidade, os fungos *Aleurodiscus* sp. 177 e *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344 diminuíram em 100 % a toxicidade na concentração de 50 mg/L e, ao aumentar a concentração para 100 mg/L, a toxicidade após o tratamento foi maior, o que indica que compostos tóxicos podem ter sido gerados na quebra da molécula do corante Vermelho Congo. Para o fungo *Schizophyllum* sp. 58, a toxicidade diminuiu nas duas concentrações testadas. O fungo *Aleurodiscus* sp. 177 foi o que apresentou o maior resultado de adsorção (96 %), melhorando o desempenho em relação ao ensaio com o micélio ativo, onde a descoloração foi de 55 %. O fungo *Schizophyllum* sp. 58 não apresentou diferença entre os ensaios de adsorção e descoloração. Para os fungos *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344 a adsorção pelo micélio inativo foi menor do que no ensaio com os fungos ativos. Os dados relacionados com a detecção de metabólitos de degradação do Vermelho Congo (análises de GC-MS) indicam que a descoloração do corante pelo fungo *Pholiota* cf. *baeosperma* 344 ocorreu principalmente por mecanismos enzimáticos, enquanto que para o fungo *Schizophyllum* sp. 58 o principal mecanismo foi a adsorção. Alguns metabólitos detectados como éster de ácido ftálico, ácido oxálico e benzeno são fitotóxicos. O fungo *Schizophyllum* sp. 58 foi o único que apresentou crescimento micelial em meio de cultura contendo apenas o óleo diesel como fonte de carbono. Os resultados obtidos no presente estudo indicam que os fungos basidiomicetos de origem Antártica podem ser uma nova alternativa para a biorremediação de compostos xenobióticos poluentes ambientais.

**Palavras-chave:** Basidiomicetos antárticos; Biorremediação; Vermelho Congo; óleo diesel; geleira Collins.

## Abstract

The Antarctic continent has extreme environmental conditions, which promote selective pressure and result in the development of adaptations for microorganisms to survive. Due to climate change, the Antarctic glaciers are undergoing a retreating process, providing new habitat for microorganisms in the newly exposed soil. Basidiomycete fungi from Collins Glacier retreat soils, collected in the OPERANTAR XXXIII (2015), were used in this study to advance in the taxonomic identification and to verify their ability to decolorize, detoxify and adsorb the azo dye Congo Red, as well as their ability to grow in the presence of diesel oil. The isolates were identified as *Pholiota cf. baeosperma* (320 and 344), *Schizophyllum* sp. (58) and *Aleurodiscus* sp. (177). The best results for decolorization, at concentrations of 50 and 100 mg/L of the dye, were presented by the fungi *Pholiota cf. baeosperma* 320 and *Schizophyllum* sp. 58 after 7 days of cultivation at 25 °C. All fungi showed lacase enzymatic activity, with the highest activity (8.8 U/L) obtained for *Pholiota cf. baeosperma* 320 at 100 mg/L of the dye. In the decolorization kinetics, *Pholiota cf. baeosperma* 320 and 344 presented an average of 70% of decolorization since the first day of the experiment, while *Schizophyllum* 58 reached a maximum of decolorization (above 90%) on the seventh day of the experiment and *Aleurodiscus* sp. 177 presented a 10% decrease in decolorization on the seventh day of the experiment. Regarding phytotoxicity, the fungi *Aleurodiscus* sp. 177 and *Pholiota cf. baeosperma* 320 and 344 decreased 100 % of the toxicity at the concentration of 50 mg/L, and when the concentration was increased to 100 mg/L, the toxicity after the treatment was higher, which indicates that toxic compounds may have been generated in the breakdown of the Congo Red dye molecule. For the fungus *Schizophyllum* sp. 58, the toxicity decreased at the two concentrations tested. The fungus *Aleurodiscus* sp. 177 showed the highest adsorption result (96 %), improving the performance compared to the assay with active mycelium, where the decolorization was 55 %. The fungus *Schizophyllum* sp. 58 showed no difference between the adsorption and decolorization assays. For the fungi *Pholiota cf. baeosperma* 320 and 344 the adsorption by the inactive mycelium was lower than in the assay with the active fungi. Data related to the detection of Congo Red degradation metabolites (GC-MS analyses) indicate that dye decolorization by the fungus *Pholiota cf. baeosperma* 344 occurred mainly by enzymatic mechanisms, while for the fungus *Schizophyllum* sp. 58 the main mechanism was adsorption. Some metabolites detected such as phthalic acid ester, oxalic acid, and benzene are phytotoxic. The fungus *Schizophyllum* sp. 58 was the only one that showed mycelial growth in culture medium containing only diesel oil as a carbon source. The results obtained in the present study indicate that basidiomycete fungi of Antarctic origin can be a new alternative for the bioremediation of xenobiotic environmental pollutants compounds.

**Keywords:** Antarctic basidiomycete; bioremediation; Congo red; diesel oil; Collins glacier.

## Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	8
2.1. A retração de geleiras Antárticas .....	10
2.2. Fungos basidiomicetos na Antártica .....	12
2.3. Poluentes ambientais.....	14
2.3.1 Corantes têxteis .....	14
2.3.2 Óleo diesel.....	17
2.4 Biorremediação de poluentes ambientais .....	18
<b>3. Objetivos</b> .....	22
3.1. Objetivos específicos .....	22
<b>4. Material e métodos</b> .....	23
4.1. Micro-organismos .....	23
4.2. Caracterização taxonômica dos basidiomicetos.....	24
4.2.1. Extração e amplificação de DNA.....	24
4.2.2. Purificação e sequenciamento .....	25
4.2.3. Montagem dos contigs e análises das sequências .....	26
4.3. Biodegradação do corante Vermelho Congo .....	26
4.3.1. Atividade enzimática .....	27
4.3.2. Análise da fitotoxicidade com <i>Cucumis sativus</i> .....	28
4.3.3. Descoloração do corante Vermelho Congo .....	28
4.3.4. Adsorção do corante Vermelho Congo .....	29
4.3.5. Determinação da biomassa .....	29
4.4. Cinética da descoloração.....	30
4.5. Análise de metabólitos por Cromatografia Gasosa associada a Espectrômetro de Massa (GC-MS).....	30
4.5.1. Extração dos metabólitos da degradação do Vermelho Congo.....	30
4.5.2. Análise de GC-MS dos metabólitos da degradação do corante Vermelho Congo .....	31
4.6. Análise de crescimento na presença do óleo diesel .....	31
4.7. Análises Estatísticas.....	31
<b>5. Resultados e Discussão</b> .....	32
5.1. Caracterização taxonômica dos fungos basidiomicetos de origem Antártica.....	32
5.2. Biodegradação do corante Vermelho Congo .....	35
5.2.1. Descoloração e toxicidade .....	35
5.2.2. Atividade enzimática .....	39
5.2.3. Biomassa.....	42

5.3. Adsorção .....	43
5.4. Metabólitos de degradação GC-MS.....	46
5.5. Capacidade de crescimento na presença de óleo diesel .....	54
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>57</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A</b> – Árvore filogenética para o isolado 58 com a região ITS.....	<b>70</b>
<b>ANEXO B</b> - Árvore filogenética para o isolado 58 com a região LSU.....	<b>71</b>
<b>ANEXO C</b> - Árvore filogenética para o isolado 177 com a região ITS. ....	<b>72</b>
<b>ANEXO D</b> - Árvore filogenética para o isolado 177 com a região LSU.....	<b>73</b>
<b>ANEXO E</b> - Árvore filogenética para o isolado 177 com a <i>supermatrix</i> de ITS e LSU. .....	<b>74</b>
<b>ANEXO F</b> - Árvore filogenética para os isolados 320 e 344 com a região ITS.....	<b>75</b>
<b>ANEXO G</b> - Árvore filogenética para os isolados 320 e 344 com o gene <i>RPB2</i> .....	<b>76</b>
<b>ANEXO H</b> - Árvore filogenética para os isolados 320 e 344 com a <i>supermatrix</i> ITS e <i>RPB2</i> .....	<b>77</b>

## 1. Introdução

O continente antártico possui condições ambientais extremas que promovem uma pressão seletiva fazendo com que os organismos desenvolvam adaptações que os tornem capazes de sobreviver às condições adversas deste ambiente. Devido às mudanças climáticas que vêm afetando o globo, as geleiras da Antártica estão sofrendo um processo de retração e esse processo propicia um ambiente novo para os micro-organismos se instalarem, o solo recém-descoberto.

Além das mudanças climáticas, o ambiente também está sendo afetado por compostos poluentes liberados na atmosfera, bem como pelas fontes poluidoras de cursos d'água, tais como vazamentos de petróleo e derivados (e.g. óleo diesel) e os efluentes industriais, com enfoque nos da indústria têxtil, que despeja corantes recalcitrantes e tóxicos na natureza.

A indústria têxtil possui grande importância econômica, cujo crescimento foi registrado mesmo durante a pandemia da Covid-19. Entretanto, concomitantemente com o crescimento econômico, há o aumento dos resíduos produzidos por essas indústrias e, principalmente, a quantidade de resíduo que não recebe um correto tratamento antes de ser descartado. Estima-se que 80% do volume de água utilizado na produção têxtil seja descartado em forma de efluente têxtil, contendo diversos compostos tóxicos, como corantes, metais pesados e compostos clorados (LEÃO, 2002; CHEQUER *et al.*, 2013; MADHAV *et al.*, 2018; WORLD TRADE ORGANIZATION, 2021). Dentre esses compostos, são especialmente preocupantes os corantes, pois causam a mudança de cor dos corpos d'água, dificultando a passagem de luz e, conseqüentemente, afetando os organismos que ali vivem. Além disso esses compostos são tóxicos e, não havendo o correto tratamento, podem produzir intermediários ainda mais tóxicos. Dentre os corantes têxteis, a classe dos corantes azo é atualmente a mais utilizada, sendo também uma das mais tóxicas, com efeitos carcinogênicos em humanos (CHEQUER *et al.*, 2013).

Quanto aos derivados do petróleo, o óleo diesel, além de contribuir com a poluição do ar, também contamina o solo, podendo chegar ao lençol freático, em casos de vazamento e rompimentos de oleodutos, e ao mar, em casos de acidentes navais. O óleo diesel quando chega ao solo pode afetar a nitrificação, levando a prejuízos ao desenvolvimento de plantas. Para humanos, a exposição prolongada a esse poluente pode

causar efeitos agudos, com comprometimento neurológico (DIÓGENES, 2014; ABDULRASHEED *et al.*, 2020; LIM *et al.*, 2021).

Devido ao potencial enzimático dos fungos basidiomicetos, eles são considerados uma alternativa ecológica para a biorremediação de poluentes ambientais. As enzimas ligninolíticas produzidas por esse grupo de fungos, originalmente para clivar a molécula de lignina, podem atuar em moléculas de corantes azo e óleo diesel devido a presença de diversos anéis aromáticos similares aos encontrados na lignina (KUMAR & SHANDRA, 2020; GIOVANELLA *et al.*, 2020).

O grupo de pesquisa liderado pela Profa. Dra. Lara D. Sette tem desenvolvido estudos envolvendo isolamento, preservação, seleção e identificação taxonômica de micro-organismos derivados de ambientes antárticos, visando obtenção de enzimas com aplicação biotecnológica na área industrial e ambiental. Os resultados desses estudos vêm demonstrando o potencial biotecnológico de fungos recuperados a partir de amostras da Antártica e têm estimulado a continuidade e o desenvolvimento de novos projetos.

O presente trabalho é parte do projeto intitulado “Micologia Antártica: Diversidade e Aplicação Biotecnológica” (CNPq nº407986/2018-9) e teve como objetivo conhecer a identidade taxonômica de quatro fungos basidiomicetos recuperados de amostras de solo de recuo da geleira Collins (Península Fields, Antártica) e depositados na Coleção de Recursos Microbianos da Unesp (CRM Unesp), bem como verificar a produção de enzimas ligninolíticas por esses fungos e avaliar o seu potencial uso na biorremediação de corantes têxteis e óleo diesel.

## 6. Conclusões

A metodologia utilizada para o aprofundamento da identificação taxonômica (novos marcadores moleculares) dos basidiomicetos da Antártica foi eficaz, permitindo avanços na identificação de três dos quatro fungos estudados. Os isolados 320 e 344, previamente identificados como *Pholiota* sp. foram relacionados a espécie *P. baeosperma*. O isolado 177, anteriormente identificado apenas no nível de Ordem (Russulales), foi identificado como pertencente ao gênero *Aleurodiscus*. Para o isolado 58, foi possível apenas confirmar o gênero, mas com a perspectiva de estar entre as espécies *S. commune* e *S. radiatum*.

Os quatro fungos basidiomicetos estudados apresentam produção da enzima ligninolítica lacase quando cultivados na presença do corante têxtil Vermelho Congo, com destaque para os isolados *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344. Esses resultados evidenciam o potencial desses fungos para aplicação industrial e ambiental.

Os melhores resultados de descoloração do Vermelho Congo (acima de 90%) foram observados para o fungo *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e *Schizophyllum* sp. 58. Os resultados do estudo da cinética de descoloração, revelaram três comportamentos distintos: *Schizophyllum* 58 alcançou um máximo de descoloração no sétimo dia do experimento; *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344 apresentaram uma média de 70% de descoloração desde o primeiro dia do experimento; *Aleurodiscus* sp. 177 apresentou uma diminuição de 10 % na descoloração no sétimo dia do experimento. No geral, esses fungos foram capazes de diminuir a toxicidade do meio quando a concentração de 50 mg/L foi utilizada. Na maior concentração do corante (100 mg/L), *Aleurodiscus* sp. 177 e *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344 apresentaram aumento na toxicidade. Esses resultados demonstram diferentes mecanismos de atuação dos fungos estudados frente ao cultivo dos mesmos na presença de um composto xenobiótico e tóxico. Além disso, para uma completa mineralização desses subprodutos tóxicos, mais dias de tratamento podem ser necessários.

Todos os isolados apresentaram adsorção do corante pelo micélio fúngico. Os resultados indicam que este pode ser o principal mecanismo de descoloração utilizado pelo fungo *Aleurodiscus* sp. 177. Para o fungo *Schizophyllum* sp. 58, não houve diferença significativa entre os ensaios com o micélio ativo e inativo. Para os fungos *Pholiota* cf. *baeosperma* 320 e 344, a adsorção pelo micélio inativo foi menor do que no ensaio com os fungos ativos, indicando possível ação enzimática na descoloração.

A avaliação dos metabólitos gerados no processo de degradação do Vermelho Congo por GC-MS, indicaram a presença de compostos fitotóxicos como o éster de ácido ftálico, ácido oxálico e benzeno, que podem estar na rota de degradação do corante pelo metabolismo do fungo *Pholiota cf. baeosperma* 344. Esses resultados corroboram a detecção de maior fitotoxicidade nos experimentos na concentração de 100 mg/L de corante para esse fungo. Nos experimentos com o fungo *Schizophyllum* sp. 58, apesar do espectro obtido ter sido muito semelhante ao do controle, possíveis metabólitos de degradação do corante (pyrrol, fenol e ácido butanoico) também foram identificados. Este fungo, foi o único capaz de crescer (produzir biomassa) em meio mineral mínimo contendo óleo diesel como única fonte de carbono, ressaltando o seu potencial para degradação de poluentes ambientais.

Os resultados do presente estudo revelam que os fungos basidiomicetos provenientes de solo de recuo de geleira Antártica podem ser considerados como novos recursos microbianos para utilização em processos de biorremediação. Por pertencerem a um grupo de fungos raramente isolados em amostras Antárticas, o estudo mais aprofundado de suas enzimas e metabolismo envolvido com a degradação de azocorantes poderão resultar em inovação científica e tecnológica.

## Referências bibliográficas

- ABDULRASHEED, M.; ZAKARIA, N. N.; ROSLEE, A. F. A.; SHUKOR, M. Y.; ZULKHARNAIN, A.; NAPIS, S.; CONVEY, P.; ALIAS, S. A.; GONZALEZ-ROCHA, G.; AHMAD, S. A. Biodegradation of diesel oil by cold-adapted bacterial strains of *Arthrobacter* spp. from Antarctica. **Antarctic Science**, p.1–13, 2020.
- ABRAHAM, B. G.; BERGER, R. G. Higher fungi for generating aroma components through novel biotechnologies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, n.10, pp.2344-2348, 1994.
- ADEOYE, O. J.; AINA, S. A. An appraisal of ozone layer depletion and its implication on the human environment. **Journal of Law, Policy and Globalization**, v.83, 2019.
- AHMED, F.; FAKHRUDDIN, A. N. M. A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. **Environmental Sciences & Natural Resources**, v. 11, n. 3, 2018.
- AJAZ, M.; REHMAN, A.; KHAN, Z.; NISAR, M. A.; HUSSAIN, S. Degradation of azo dyes by *Alcaligenes aquatilis* 3c and its potential use in the wastewater treatment. **AMB Express**, v.9, n.64, 2019.
- ALMEIDA, A. P.; MACRAE, A.; RIBEIRO, B. D.; NASCIMENTO, R. P. Decolorization and detoxification of different azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium* ME-446 under submerged fermentation. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.52, pp. 727-738, 2021.
- ARENZ, B. E.; BLANCHETTE, R. A. Distribution and abundance of soil fungi in Antarctica at sites on the Peninsula, Ross Sea Region and McMurdo Dry Valleys. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, pp.308-315, 2011.
- ARORA, D. S.; GILL, P. K. Comparison of two assays procedures for lignin peroxidase. **Enzyme and Microbial Technology**, v.28, n7-8, pp. 602-605, 2001.
- ASSES, N.; AYED, L.; HKIRI, N.; HAMDY, M. Congo red decolorization and detoxification by *Aspergillus niger*: removal mechanisms and dye degradation pathway. **BioMed Research International**, 3049686, 2018.
- BARGHINI, P.; PASQUALETTI, M.; GORRASI, S.; FENICE, M. Bacteria from the “Saline di Tarquinia” marine salterns reveal very atypical growth profiles with regards to salinity and temperature. **Mediterranean Marine Science**, v. 19. n. 3, 2018.
- BENKHAYA, S.; M'RABET, S.; HARFI, A. E. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. **Inorganic Chemistry Communications**, v.115, 107891, 2020.
- BILAL, M.; IQBAL, H. M. N. Persistence and impact of steroidal estrogens on the environment and their laccase-assisted removal. **Science of the Total Environment**, v.690, pp.447-459, 2019.
- BILAL, M.; RASHEED, T.; NABEEL, F.; IQBAL, H. M. N.; ZHAO, Y. Hazardous contaminants in the environment and their laccase-assisted degradation: a review. **Journal of Environmental Management**, v.234, pp.253-264, 2019.
- BÖLTER, M.; BEYER, L.; STONEHOUSE, B. Antarctic Coastal Landscapes: Characteristics, Ecology and Research. In: BEYER, L.; BÖLTER, M. **Geocology of Antarctic Ice-free coastal landscapes**. Berlin: Springer-Verlag, v. 154, pp. 5-21, 2002.
- BONUGLI-SANTOS, R. C.; DURRANT, L. R.; SETTE, L. D. The Production of Ligninolytic Enzymes by Marine-Derived Basidiomycetes and Their Biotechnological Potential in

- the Biodegradation of Recalcitrant Pollutants and the Treatment of Textile Effluents. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 5, p. 2333–2345, 2012.
- BONUGLI-SANTOS, R. C.; VASCONCELOS, M. R. S.; PASSARINI, M. R. Z.; VIEIRA, G. A. L.; LOPES, V. C. P.; MAINARDI, P. H.; SANTOS, J. A.; DUARTE, L. A.; OTERO, I. V. R.; YOSHIDA, A. M. S.; FEITOSA, V. A.; PESSOA JR, A.; SETTE, L.D. Marine-derived fungi: diversity of enzymes and biotechnological applications. **Frontiers in Microbiology (Online)**, v. 6, p. 269, 2015.
- BONUGLI-SANTOS, R. C., VIEIRA, G. A. L., COLLINS, C., FERNANDES, T. C. C., MARIN-MORALES, M. A., MURRAY, P., SETTE, L. D. Enhanced textile dye decolorization by marine-derived basidiomycete *Peniophora* sp. CBMAI 1063 using integrated statistical design. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 9, p. 8659–8668, 2016.
- BRADLEY, J. A.; SINGARAYER, J. S.; ANESIO, A. M. Microbial Community dynamics in the forefield of glaciers. **Proceedings of the Royal Society B**, v.281, 20140882, 2014.
- BUSWELL J.K.; CAI Y.J.; CHANG S.T. Effect of nutrient nitrogen and manganese on manganese peroxidase and laccase production by *Lentinula* (*Lentinus*) edodes. **FEMS Microbiology Letters**, v. 128, n. 1, pp. 81-88, 1995.
- CAO, Y.; LI, P.; ZHAO, J.; WANG, H.; JEEWON, R.; BHOORYROO, V.; ARUNA, B.; LIN, F.; WANG, Q. Morph-molecular characterization of the *Meira nicotianae* sp. nov., a novel basidiomycetous, anamorphic yeast-like fungus associated with growth improvement in tobacco plant. **Phytotaxa**, v.365., n.2, pp.169-181, 2018.
- CARREÑO-RUIZ, S. D.; LÁZARO, A. A. A.; GARCÍA, S. C.; HERNÁNDEZ, R. G.; CHEN, J.; NAVARRO, G. K. G.; FAJARDO, L. V. G.; PÉREZ, N. C. J.; CRUZ, M. T.; BLANCO, J. C.; CAPPELLO, R. E. New record of *Schizophyllum* (*Schizophyllaceae*) from Mexico and the confirmation of its edibility in the humid tropics. **Phytotaxa**, v. 412, n2, pp.137-148, 2019.
- CHAVES, N.; SOSA, T.; ALÍAS, J. C.; ESCUDERO, J. C. Identification and effects of interaction phytotoxic compounds from exudate of *Cistus ladanifer* leaves. **Journal of Chemical Ecology**, v.27, n.3, 2001.
- CHEQUER, F. M. D.; OLIVEIRA, G. A. R.; FERRAZ, E. R. A.; CARDOSO, J. C.; ZANONI, M. V. B.; OLIVEIRA, D. P. Textile dyes: dyeing process and environmental impact. In: GUNAY, M. **Eco-friendly textile dyeing and finishing**. Reino Unido: IntechOpen, pp. 155-175, 2013.
- CHOI, Y.; NGUYEN, H. T.; LEE, T. S.; KIM, J. K.; CHOI, J. Genetic diversity and dye-decolorizing spectrum of *Schizophyllum commune* population. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.30, n.10, pp.1525-1535, 2020.
- CHOWDHARY, A.; RANDHAWA, H. S.; GAUR, S. N.; AGARWAL, K.; KATHURIA, S.; ROY, P., KLAASSEN, C. H.; MEIS, J. F. *Schizophyllum commune* as an emerging fungal pathogen: a review and report of two cases. **Mycoses**, v.56, n.1, pp.1-10, 2013a.
- CHOWDHARY, A.; KATHURIA, S.; SINGH, P. K.; AGARWAL, K.; GAUR, S. N.; ROY, P.; RANDHAWA, H. S.; MEIS, J. F. Molecular characterization and in vitro antifungal susceptibility profile of *Schizophyllum commune*, an emerging basidiomycete in bronchopulmonary mycoses. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 57, n.6, pp. 2845-2848, 2013b.
- CHUAH, T. S.; NORHAFIZAH, M., Z.; NAIMAH, A. H.; ISMAIL, B. S. Phytotoxic activity of the allelochemical, 2,4-di-tert-butylphenol on two selected weed species. **Sains Malaysiana**, v.45, n.6, pp.963-967, 2016.

- DAS, K., DOWIE, N. J.; LI, G.J.; MILLER, S. L. Two new species of *Russula* (Russulales) from India. **Mycosphere**, v.5, n.5, pp. 612-622, 2014.
- DEELAMAN, W.; PONGPIACHAN, S.; TIPMANEE, D.; SUTTINUN, O.; CHOOCHUAY, C.; IADTEM, N.; CHAROENKALUNYUTA, T.; PROMDEE, K. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the terrestrial soils of King George Island, Antarctica. **Journal of South American Earth Sciences**, v.104, 102832, 2020.
- DIÓGENES, A. Empresa terá que reparar danos ambientais por vazamento de óleo diesel, 2014. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/cidades/interior/empresa-teraque-reparar-danos-ambientais-por-vazamento-de-oleo-diesel> Acesso em: 31 de maio de 2019.
- DUARTE, A.W.F.; DOS SANTOS J.A.; VIANNA M.V.; VIEIRA J.M.F.; MALLAGUTTI V.H.; INFORSATO F.J.; WENTZEL L.C.P.; LARIO L.D.; RODRIGUES A.; PAGNOCCA F.C.; PESSOA J. A.; DURÃES S. L. Cold-adapted enzymes produced by fungi from terrestrial and marine Antarctic environments. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.38, n.4, 2018.
- DURÁN, N.; ROSA, M. A.; D'ANNIBALE, A.; GIANFREDA, L. Applications of laccases and tyrosinases (phenoloxidases) immobilized on different supports: a review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 31, pp. 907–931, 2002.
- DURÁN, P.; BARRA, P. J.; JORQUERA, M. A.; VISCARDI, S.; FERNANDEZ, C.; PAZ, C.; MORA, M. L.; BOL, R. Occurrence of soil fungi in Antarctic Pristine Environments. **Frontier in Bioengineering and Biotechnology**, v.7, article 28, 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: redesigning fashion's future. 150p. 2017.
- ENSHASY, H. E.; AGOULLAL, F.; MAT, Z.; MALEK, R. A.; HANAPI, S. Z.; LENG, O. M.; DAILIN, D. J.; SUKMAWATI, D. Pleurotus ostreatus: a biofactory for lignin-degrading enzymes of diverse industrial applications. In: YADAV, A. N.; SINGH, S.; MISHRA, S.; GUPTA, A. **Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi: fungal biology**. Suíça: Springer, pp. 101-152, 2019.
- FIERER, N.; NEMERGUT, D.; KNIGHT, R.; CRAINE, J. M. Changes through time: integrating microorganisms into the study of succession. **Research in Microbiology**, v.161, n.8, pp.643-642, 2010.
- FONTES, B. J.; KLEINGESINDS, E. K.; GIOVANELLA, P.; JÚNIOR, A. P.; SETTE, L. D. Laccase produced by *Peniophora* from marine and terrestrial origin: a comparative study. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.35, 102066, 2021.fontes
- FULLER, R. J. M.; JOHNSTON, P. R.; PEARSON, M. N. *Schizophyllum commune*: a case study for testing the potential introduction of non-native strains into New Zealand. **New Zealand Journal of Botany**, v.51, n.4, pp.286-296, 2013.
- FUKUDA, M.; TSUJINO, Y.; FUJIMORI, T.; WAKABAYASHI, K. BÖGER, P. Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids I: effects on cell constituents. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.80, pp.143-150, 2004.
- GAN, D.; MA, L.; JIANG, C.; XU, R.; ZENG, X. Production, preliminary characterization and antitumor activity *in vitro* of polysaccharides from the mycelium of *Pholiota dinghuensis* Bi. **Carbohydrate Polymers**, v.84, pp.997-1003, 2011.
- GERARDO, N. M.; MUELLER, U. G.; PRICE, S. L.; CURRIE, C. R. Exploiting a mutualism: parasite specialization on cultivars within the fungus-growing ants symbiosis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 271, pp.1791-1798, 2004.

- GIOVANELLA, P.; VIEIRA, G. A. L.; RAMOS, O. I. V.; PAIS, P. E.; DE JESUS, F. B.; SETTE, L.D. Metal and organic pollutants bioremediation by extremophile microorganisms. **Journal of Hazardous Materials**, v.15, n.382, 121024, 2020.
- GONZÁLEZ-RAMÍREZ, M.; GAVILÁN, J.; SILVA-GRECCHI, T.; CAJAS-MADRIAGA, D.; TRIVIÑO, S.; BECERRA, J.; SAEZ-ORELLANA, F.; PÉREZ, C.; FUENTEALBA, J. A natural benzofuran from Patagonic *Aleurodiscus vitellinus* fungus has potent neuroprotective properties on a cellular model of amyloid- $\beta$  peptide toxicity. **Journal of Alzheimer's Disease**, v.61, pp.1463-1475, 2018.
- GORJÓN, S. P.; GRESLEBIN, A. G.; RAJCHENBERG, M. The genus *Aleurodiscus* s. l. (Stereaceae, Russulales) in the Patagonian Andes. **Mycology Progress**, v.12, pp.12-108, 2013.
- GOWRI, A. K.; KARUNAKARAN, M. J.; MUTHUNARAYANAN, V.; RAVINDRAN, B.; NGUYEN-TRI, P.; NGO, H. H.; BUI, X. T.; NGUYEN, X. H.; NGUYEN, D. D.; CHANG, S. W.; CHANDRAN, T. Evaluation of bioremediation competence of indigenous bacterial strains isolated from fabric dyeing effluent. **Bioresource Technology Reports**, v.11, 100536, 2020.
- GU, D.; XIANG, X.; WU, Y.; ZENG, J.; LIN, X. Synergy between fungi and bacteria promotes polycyclic aromatic hydrocarbon cometabolism in lignin-amended soil. **Journal of Hazardous Material**, v.425, 127958, 2022.
- HARMS, H.; SCHLOSSER, D.; WICK, L. Y. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. **Nature Reviews Microbiology**, v.9, pp.177-192, 2011.
- HATTAKA, A. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation. **FEMS Microbiology Reviews**, v.13, n.2-3, pp.125-135, 1994.
- HELD, B. W.; BLANCHETTE, R. A. Deception Island, Antarctica, harbors a diverse assemblage of wood decay fungi. **Fungal Biology**, v.121, pp.145-157, 2017.
- HRBÁČEK, F.; CANNONE, N.; KŇAŽKOVÁ, M.; MALFASI, F.; CONVEY, P.; GUGLIELMIN, M. Effect of climate and moss vegetation on ground surface temperature and the active layer among different biogeographical regions in Antarctica. **Catena**, v. 190, 2020.
- HUANG, R.; CHE, H. J.; ZHANG, J.; YANG, L.; JIANG, D. H.; LI, G. Q. Evaluation of *Sporidiobolus pararoseus* strain YCXT3 as biocontrol agent of *Botrytis cinerea* on post-harvest strawberry fruits. **Biological Control**, v.62, pp.53-63, 2012.
- HUANG, L.; ZHU, X.; ZHOU, S.; CHENG, Z.; SHI, K.; ZHANG, C.; SHAO, H. Phthalic acid esters: natural sources and biological activities. **Toxins**, v.13, n.495, 2021.
- IARK, D.; BUZZO, A. J. R.; GARCIA, J. A. A.; CÔRREA, V. G.; HELM, C. V.; CÔRREA, R. C. G.; PERALTA, R. A.; MOREIRA, R. F. P. M.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. Enzymatic degradation and detoxification of azo dye Congo red by a new laccase from *Oudemansiella canarii*. **Bioresource Technology**, v.289, article 121655, 2019.
- ICHINOSE, H. Cytochrome P450 of wood rotting basidiomycetes and biotechnological applications. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v.60, n.1, pp.71-81, 2013.
- IEMI. Brasil Têxtil 2020 – Relatório setorial da indústria têxtil brasileira. 2020.
- IMRON, M. F.; KURNIAWAN, S. B.; ISMAIL, N. I.; ABDULLAH, S. R. S. Future challenges in diesel biodegradation by bacteria isolates: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, 119716, 2020.

- JOKHARIDZE, T.; KACHLISHVILI, E.; ELISASHVILI, V. Biodegradation of crude oil and lignin-modifying enzyme activity of white rot basidiomycetes. **Ecological Engineering and Environment Protection**, v.1, p.26-36, 2019.
- JURELEVICIUS, D.; PEREIRA, R. S.; MOTA, F. F.; CURY, J. C.; OLIVEIRA, I. C.; ROSADO, A. S.; MASON, O. U.; JANSSON, J. K.; SELDIN, L. Metagenomic analysis of microbial communities across a transect from low to highly hydrocarbon-contaminated soils in King George Island, Maritime Antarctica. **Geobiology**, v.20, pp.98-111, 2022.
- KAIIRA, M. G.; CHEMINING, G. N.; AYUKE, F.; BAGUMA, Y.; ATWIJUKIRE, E. Allelopathic potential of compounds in selected crops. **Journal of Agricultural Science**, v.13, n.9, 2021.
- KAMINSKI, E.; STAWICKI, S.; WASOWICZ, E. Volatile flavor compounds produced by molds of *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Fungi imperfecti*. **Applied Microbiology**, v.27, n.6, pp.1001-1004, 1974.
- KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v.4, n.1, pp.22-26, 2012.
- KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—A review. **Journal of environmental management**, v. 128, pp. 949-963, 2013.
- KIISKINEN, L. L.; RÄTTÖ, M.; KRUIUS, K. Screening for novel laccase-producing microbes. **Journal of Applied Microbiology**, v.97, pp.640-646, 2014.
- KISHOR, R.; PURCHASE, D.; SARATALE, G. D.; FERREIRA, L. F. R.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N.; BHARAGAVA, R. N. Environment friendly degradation and detoxification of Congo red dye and textile industry wastewater by a newly isolated *Bacillus cohnii* (RKS9). **Environmental Technology & Innovation**, v.22, 101425, 2021.
- KNAP, W. H.; OERLEMANS, J.; CADÉE, M. Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Island, Antarctica. **Annals of Glaciology**, v.23, pp.154-159, 1996.
- KOBAYASHI, H. Characterization of manganese peroxidase from *Pholiota aurevella*. **鯉淵研報**, v.30, pp.16-22, 2020.
- KUMAR, S. V. S.; PHALE, P. S.; DURANI, S.; WANGIKAR, P. P. Combined sequence and structure analysis of the fungal laccase Family. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 83, n. 4, pp. 386-394, 2003.
- KUMARI, A.; KAUR, R. A review on morpho-physiological traits of plants under phthalates stress and insights into their uptake and translocation. **Plant Growth Regulation**, v.91, pp.327-347, 2020.
- LEÃO, M. M. D. Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas. Belo Horizonte: Segrac. 356 p. 2002.
- LI, X.; JIA, R. Decolorization and biosorption for Congo red by system rice hull-*Schizophyllum* sp. F17 under solid-state condition in a continuous flow packed-bed bioreactor. **Bioresource Technology**, v.99, pp. 6885-6892, 2008.
- LI, X.; JIA, R.; LI, P.; ANG, S. Response surface analysis for enzymatic decolorization of Congo red by manganese peroxidase. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 56, pp. 1-6, 2009.

- LI, X.; ZHANG, J.; JIANG, Y.; HU, M.; LI, S.; ZHAI, Q. Highly efficient biodecolorization/degradation of Congo red and Alizarin yellow R by chloroperoxidase from *Caldariomyces fumago*: catalytic mechanism and degradation pathway. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 2013.
- LIM, Z. S.; WONG, R. R.; WONG, C.; ZULKHARNAIN, A.; SHAHARUDDIN, N. A.; AHMAD, S. A. Bibliometric analysis of research on diesel pollution in Antarctica and a review on remediation techniques. **Applied Sciences**, v. 11, 1123, 2021.
- LIU, S.; XU, X.; KANG, Y.; XIAO, Y.; LIU, H. Degradation and detoxification of azo dyes with recombinant ligninolytic enzymes from *Aspergillus* sp. with secretory overexpression in *Pichia pastoris*. **Royal Society Open Science**, v. 7, 200688, 2020.
- LÓPEZ-LEGARDA, X.; ROSTRO-ALANIS, M.; PARRA-SALDIVAR, R.; VILLA-PULGARÍN, J. A.; SEGURA-SÁNCHEZ, F. Submerged cultivation, characterization and in vitro antitumor activity of polysaccharides from *Schizophyllum radiatum*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.1, n.186, pp.919-932, 2021.
- LUCAS, M.; MERTENS, V.; CORBISIER, A. M.; VANHULLE, S. Synthetic dyes decolourisation by white-rot fungi: development of original microtitre plate method and screening. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 42, pp. 97-106, 2008.
- MADHAV, S.; AHAMAD, A.; SINGH, P.; MISHRA, P. K. A review of textile industry: wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. **Environmental Quality Management**, v.27, n.3, pp.31-41, 2018.
- MADHAVI, V.; LELE, S. S. Laccase: properties and applications. **BioResources**, v.4, n.4, pp.1694-1717, 2009.
- MATHENY, P. B.; SWENIE, R. A.; MILLER, A. N.; PETERSEN, R. H.; HUGHES, K. W. Revision of pyrophilous taxa of *Pholiota* described from North America reveals four species – *P. brunnescens*, *P. castanea*, *P. highlandensis*, and *P. molesta*. **Mycologia**, v.110, n.6, pp. 997-1016, 2018.
- MAYAKRISHNAN, V.; ABDULLAH, N.; ABIDIN, M. H. Z.; FADZIL, N. H. M.; JOHARI, N. M. K.; AMINUDIN, N.; ABIDIN, N. Z. Investigation of the antioxidative potential of various solvent fractions from fruiting bodies of *Schizophyllum commune* (Fr.) mushrooms and characterization of phytoconstituents. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n. 6, 2013
- MEI, R.; SHI, Y.; ZHANG, S.; HU, J.; ZHU, L.; GAN, J.; CAI, L. DING, Z. Biotransformation of 1,8-dihydroxyanthraquinone into peniphenone under the fermentation of *Aleurodiscus mirabilis*. **ACS Omega**, v.5, pp.33380-33386, 2020.
- MILLER, S. L.; McCLEAN, T. M.; WALKER, J. F.; BUYCK, B. A molecular phylogeny of the Russulales including agaricoid, gasteroid and pleurotoid taxa. **Mycologia**, v.93, n.2, pp.344-354, 2001.
- MOHAMMADI, A.; SHOJAOSADATI, S. A.; TEHRANI, H. J.; MOUSAVI, S. M.; SALEH, T.; KHORASANI, A. C. Schizophyllan production by newly isolated fungus *Schizophyllum commune* IBRC-M 30213: optimization of culture medium using response surface methodology. **Annals of Microbiology**, v.68, pp.47-62, 2018.
- MÖLLER, E. M.; BAHNWEIG, G.; SANDERMANN, H.; GEIGER, H. H. A simple and efficient protocol for isolation of high molecular weight DNA from filamentous fungi, fruit bodies, and infected plant tissues. **Nucleic Acids Research**, v.20, n.22, pp.6115-6116, 1992.

- MÖLLER, C.; DREYFUSS, M. M. Microfungi from Antarctic lichens, mosses and vascular plants. **Mycologia**, v.88, pp.922-933, 1996.
- MUNEER, M.; SAEED, M.; BHATTI, I. A.; HAQ, A.; KHOSA, M. K.; JAMAL, M. A.; ALI, S. Radiation induced degradation of Congo red dye: a mechanistic study. **Nukleonika**, v.64, n.2, pp.49-53, 2019.
- NASIDI, A.; NAFISA, A. A.; MARYAM, S. K.; SALIHU, I. I.; UMAR, G. N.; MUHAMMAD, A.; UMAR, K. M.; BALA, M.; IMAM, A. A. Lavicidal potential of *Aspergillus terreus* conidial suspension and metabolites against *Anopheles* mosquito. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v.7, n.4, pp.1169-1173, 2019.
- NOVOTNÝ, C.; SVOBODOVÁ, K.; ERBANOVA, P.; CAJTHAML, T.; KASINATH, A.; LANG, E.; ŠAŠEK, V. Ligninolytic fungi in bioremediation: extracellular enzyme production and degradation rate. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, pp.1545-1551, 2004.
- NOZAKI, K.; BEH, C. H.; MIZUNO, M.; ISOBE, T.; SHIROISHI, M.; KANDA, T.; AMANO, Y. Screening and investigation of dye decolorization activities of basidiomycetes. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 105, n.1, pp.69-72, 2008.
- OGAKI, M. B.; VIEIRA, R.; MUNIZ, M. C.; ZANI, C. L.; ALVES, T. M. A.; JUNIOR, P. A. S.; MURTA, S. M. F.; BARBOSA, E. C.; OLIVEIRA, J. G.; CERAVOLO, I. P.; PEREIRA, P. O.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Diversity, ecology, and bioprospecting of culturable fungi in lakes impacted by anthropogenic activities in Maritime Antarctica. **Extremophiles**, v. 24, pp.637-655, 2020.
- OTERO, I. V. R. Transcriptoma do fungo de origem marinha *Peniophora* sp. CBMAI 1063: análise dos genes de lacase, clonagem e expressão heteróloga. 2016. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas: Microbiologia Aplicada) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 2016.
- PASSARINI, M. R. Z.; RODRIGUES, M. V. N.; SILVA, M.; SETTE, L. D. Marine-derived filamentous fungi and their potential application for polycyclic aromatic hydrocarbon bioremediation. **Marine Pollution Bulletin**, v.62, n.2, pp.364-370, 2011.
- PEGLER, D. N.; SPOONER, B. M.; SMITH, R. I. L. Higher fungi of Antarctica, the subantarctic zone and Falkland Islands. **Key Bulletin**, v.37, n.3, pp.499-562, 1980.
- PETSCH, C.; ROSA, K. K.; VIEIRA, R.; BRAUN, M. H.; COSTA, R. M.; SIMÕES, J. C. The effects of climatic change on glacial, proglacial and paraglacial systems at Collins Glacier, King George Island, Antarctica, from the end of the Little Ice Age to the 21st century. **Investigaciones Geográficas**, n. 103, e60153, 2020.
- PLÁCIDO, J.; CAPAREDA, S. Ligninolytic enzymes: a biotechnological alternative for bioethanol production. **Bioresources and Bioprocessing**, v.2, n.23, pp.1-12, 2015.
- RAO, R. G.; REVICHANDRAN, A.; KANDALAM, G.; KUMAR S.; A.; SWARAJ, S.; SRIDHAR, M. Screening of wild basidiomycetes and evaluation of the biodegradation potential of dyes and lignin by manganese peroxidases. **Bioresources**, v. 14. n. 3, pp. 6558-6576, 2019.
- ROBINSON, C. H. Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi. **New Phytologist**, v.151, pp.341-353, 2001.
- ROSA, L. H.; ROSA, C. A.; ZANI, C. L.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O.; VAN DJICK, P.; DESIDERI, A. Fungi in Antarctica: diversity, ecology, effects of climate change, and bioprospection for bioactive compounds. In: ROSA, L. H. **Fungi of Antarctica: diversity, Ecology and Biotechnological Applications**. Suíça: Springer, pp.1-17, 2019.

- RUISI, S.; ZUCCONI, L.; Evolution and adaptation of fungi at boundaries of life. **Advances in Space Research**, v.40, n.11, pp.1657-1664, 2007.
- SAHA, S.; SENGUPTA, J.; BANERJEE, D.; KHETAN, A.; MANDAL, S. M. *Schizophyllum commune*: a new organism in eye infection. **Mycopathologia**, v. 175, pp.357-360, 2013.
- SAMSAMI, S.; MOHAMADIZANIANI, M.; SARRAFZADEH, M. H.; RENE, E. R.; FIROOZBAHR, M. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: overview and perspectives. **Process Safety and Environment**, v.143, pp. 138-163, 2020.
- SANTOS, J. A.; MEYER, E.; SETTE, L. D. Fungal community in Antarctic soil along the retreating Collins Glacier (Fildes Peninsula, King George Island). **Microorganisms**, v.8, n.8, 1145, 2020.
- SAWOSZCZUK, T.; SYGUŁA-CHOLEWIŃSKA, J.; HOYO-MELÉNDEZ, J. M. Optimization of headspace solid phase microextraction for the analysis of microbial volatile organic compounds emitted by fungi: application to historical objects. **Journal of Chromatography A**. v.1409, pp.30-45, 2015.
- SELVAKUMAR, S.; SANKAR, S. Assessment of biological decolorization and degradation of industrial effluents by *Aspergillus niger*, *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus florida*. **International Journal of Advanced Scientific Research & Development**, v.3, n.2, pp.100-108, 2016.
- SHABAN, M.; ABUKHADRA, M. R.; IBRAHIM, S. S.; SHAHIEN, M. G. Photocatalytic degradation and photo-Fenton oxidation of Congo red dye pollutants in water using natural chromite – response surface optimization. **Applied Water Science**, v.7, pp. 4743-4756, 2017.
- SHANMUGAM, B. K.; EASWARAN, S. N.; LAKRA, R.; DEEPA, P. R.; MAHADEVAN, S. Metabolic pathway and role of individual species in the bacterial consortium for biodegradation of azo dye: a biocalorimetric investigation. **Chemosphere**, v. 188, pp.81-89, 2017.
- SHAO, T. River in China turns red. CNN, China, 16 de dezembro de 2011. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2011/12/16/world/asia/china-river-of-red/index.html>>
- SHARMA, K.; HARSH, N. S. K.; VARSHNEY, V. K. Degradation of crude oil components and polycyclic aromatic compounds in a bioaugmentation study using *Schizophyllum commune*. **Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences**, v.21, n.4, pp.991-996, 2019.
- SIQUEIRA, J. P. Z.; SUTTON, D.; GENÉ, J.; GARCÍA, D.; GUEVARA-SUAREZ, M.; DECOCK, C.; WIEDERHOLD, N.; GUARRO, J. *Schizophyllum radiatum*, na emerging fungus from human respiratory tract. **Journal of Clinical Microbiology**, v.54, n.10, pp.2491-2497, 2016.
- SIMÕES, C. L.; ROSA, K. K.; CZAPELA, F. F.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. Collins glacier retreat process and regional climatic variations, King George Island, Antartica. **Geographical Review**, v.105, n. 4, pp. 462-471, 2015.
- SINGH, L.; SINGH, V. P. Textile dyes degradation: a microbial approach for biodegradation of pollutants. In: SINGH, S. N. **Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters**. Suíça: Springer, pp.187-204, 2015.
- SINGH, A.; PAL, D. B.; MOHAMMAD, A.; ALHAZMI, A.; HAQUE, S.; YOON, T.; SRIVASTAVA, N; GUPTA, V. K. Biological remediation Technologies for dyes and heavy metals in wastewater treatment: new insight. **Bioresource Technology**, v. 343, 126154, 2022.

- SINHA, A.; OSBORNE, W. J. Biodegradation of reactive green dye (RGD) by indigenous fungal strain VITAF-1. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, pp. 176-183, 2016.
- SIVASAKTHIVEL, T; REDDY, K. K. S. K. Ozone layer depletion and its effects: a review, **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 2, n.1, pp. 30-37, 2011.
- SOLANO, A. M. S.; GARCIA-SEGURA, S.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; BRILLAS, E. Degradation of acidic aqueous solutions of the diazo dye Congo Red by photo-assisted electrochemical processes based on Fenton's reaction chemistry. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.168-169, pp. 559-571, 2015.
- STEENSMA, D. P. "Congo" red: out of Africa?. **Archives of Pathology & Laboratory Medicine**, v.125, pp.250-252, 2001.
- SWOFFORD, D.L. PAUP\*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (\* and other methods), Version 4. Sinauer, Sunderland, MA. 2003
- TAHIR, U.; YASMIN, A. Decolorization and discovery of metabolic pathway for the degradation of Mordant Black 11 dye by *Klebsiella* sp. MB398. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.52, pp. 761-771, 2021.
- TANG, W.; JIA, R.; ZHANG, D. Decolorization and degradation of synthetic dyes by *Schizophyllum* sp. F17 in a novel system. **Desalination**, v.265, pp.22-27, 2011.
- TAVARES, M. F.; AVELINO, K. V.; ARAÚJO, N. L.; MARIM, R. A.; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B.; VALLE, J. S. Decolorization of azo and anthraquinone dyes by crude laccase produced by *Lentinus crinitus* in solid state cultivation. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.51, n.1, pp. 99-106, 2019.
- TIAN, Y.; GHOBAD-NEJHAD, M.; HE, S. H.; DAI Y. C. Three new species of *Aleurodiscus* s.l. (Russulales, Basidiomycota) from southern China. **MycologyKeys**, v.37, pp.93-107, 2018.
- TOLEDO, C. V.; BARROETAVEÑA, C.; FERNANDES, A.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Chemical and antioxidante properties of wild edible mushrooms from native *Nothofagus* spp. forest, Argentina. **Molecules**, v.11, 1201, 2016.
- TOVAR-HERRERA, O. E.; MARTHA-PAZ, A. M.; PÉREZ-LLANO, Y.; ARANDA, E.; TACORONTE-MORALES, J. E.; PEDROSO-CABRERA, M. T.; ARÉVALO-NIÑO, K.; FOLCH-MALLOL, J. L.; BATISTA-GARCÍA, R. A. *Schizophyllum commune*: na unexploited source for lignocellulose degrading enzymes. **MicrobiologyOpen**, 7e637, 2018.
- TURNER, J.; BINDSCHADLER, R.; CONVEY, P.; PRISCO, G.; FAHRBACH, E.; GUTT, J.; HODGSON, D.; MAYEWSKI, P.; SUMMERHAYES, C. Antarctic climate change and the environment. **Scientific Committee on Antarctic Research**, v.1, pp.1-26, 2009.
- VACA, I.; CHÁVEZ, R. Bioactive compounds produced by Antarctic filamentous fungi. In: ROSA, L. H. **Fungi of Antarctica: diversity, Ecology and Biotechnological Applications**. Suíça: Springer, pp.265-283, 2019.
- VENTURA-CAMARGO, B. C.; MARIN-MORALES, M. A. Azo dyes: characterization and toxicity – a review. **Textiles and Light Industrial Science and Technology**, v.2, n2, pp.85-103, 2013
- VIEIRA, G. A. L.; MAGRINI, M. J.; BONUGLI-SANTOS, R. C.; RODRIGUES, M. V.N.; SETTE, L. D. Polycyclic aromatic hydrocarbons degradation by marine-derived

- basidiomycetes: optimization of the degradation process. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, pp. 749-756, 2018.
- EL-RAHIM, W. M. A.; MOAWAD, H.; AZEIZ, A. Z. A.; SADOWSKY, M. J. Biodegradation of azo dyes by bacterial of fungal consortium and identification of the biodegradation products. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v.47, pp.269-276, 2021.
- WANG, X., SUN, C.; GAO, S.; WANG, L. SHUOKUI, H. Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus*. **Chemosphere**, n. 44, p. 1711-1721, 2001.
- WANG, N.; CHU, Y.; WU, F.; ZHAO, Z.; XU, X. Decolorization and degradation of Congo red by newly isolated white rot fungus, *Ceriporia lacerata*, from decayed mulberry branches. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 117, pp. 236-244, 2017.
- WARIISHI, H.; VALLI, K.; GOLD, M. H. Manganese (II) oxidation by manganese peroxidase from the basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **The Journal of Biological Chemistry**, v.267, n.33, pp.23688-23695, 1992.
- WEIJERS, C. A. G. M.; BONT, J. A. M. Epoxide hydrolases from yeasts and other sources: versatile tools in biocatalysis. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.6, pp.199-214, 1999.
- WEN, J.; GAO, D.; ZHANG, B.; LIANG, H. Co-metabolic degradation of pyrene by indigenous white-rot fungus *Pseudotrametes gibbose* from the northeast China. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.65, n.4, pp.600-604, 2011.
- WORLD TRADE ORGANIZATION. World Trade Statistical Review 2021. 210p. 2021.
- XIAOBIN, C.; RONG, J.; PINGSHENG, L.; SHIQIAN, T.; QIN, Z.; WENZHONG, T.; XUDONG, L. Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus *Schizophyllum* sp. F17, and decolorization of azo dyes by the enzyme. **Enzyme and Microbial Technology**, v.41, pp.258-264, 2007.
- XU, M.; YU, L.; LAING, K.; VIHMA, T.; BOZKURT, D.; HU, X.; YANG, Q. Dominant role of vertical air flows in the unprecedented warming on the Antarctic Peninsula in February 2020, **Communications Earth & Environment**, v.2, n.133, 2021.
- YANEVA, Z. L.; GEORGIEVA, N. V. Insights into Congo Red adsorption on agro-industrial materials – spectral, equilibrium, kinetic, thermodynamic, dynamic and desorption studies: a review. **International Review of Chemical Engineering**, v.4, n.2, pp.127-146, 2012.
- ZAKARIA, N. N.; CONVEY, P.; GOMEZ-FUENTES, C.; ZULKHARNAIN, A.; SABRI, S.; SHAHARUDDIN, N. A.; AHMAD, S. A. Oil bioremediation in the marine environment of Antarctica: a review and bibliometric keyword cluster analysis. **Microorganisms**, v.9, 419, 2021a.
- ZAKARIA, N. N.; GOMEZ-FUENTES, C.; KHALIL, K. A.; CONVEY, P.; ROSLEE, A. F. A.; ZULKHARNAIN, A.; SABRI, S.; SHAHARUDDIN, N. A.; CÁRDENAS, L.; AHMAD, S. A. Statistical optimization of diesel biodegradation at low temperatures by an Antarctic marine bacterial consortium isolated from non-contaminated seawater. **Microorganisms**, v.9, 1213, 2021b.
- ZHANG, Y.; LIU, Z.; NG, T. B.; CHEN, Z.; QIAO, W.; LIU, F. Purification and characterization of a novel antitumor protein with antioxidant and deoxyribonuclease activity from edible mushroom *Pholiota nameko*. **Biochimie**, v. 99, pp.28-37, 2014.

- ZHENG, Y.; CHENG, B.; FAN, J.; YU, J.; HO, W. Review on nickel-based adsorption materials for Congo red. **Journal of Hazardous Materials**, v.403, 123559, 2021.
- ZHU, N.; GU, L.; YUAN, H.; LOU, Z.; WANG, L.; ZHANG, X. Degradation pathway of the naphthalene azo dyes intermediate 1-diazo-2-naphthol-4-sulfonic acid using Fenton's reagent. **Water Research**, v.46, pp.3859-3867, 2012.