

FUNGOS FILAMENTOSOS ISOLADOS DE SOLO DE CAFÉ CONILON DO ESTADO DO ESPIRITO SANTO: TOLERÂNCIA AO GLIFOSATO E POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE BIODISSURFACTANTES

Bruna S. P. Souza¹; Analyse V. Gaete²; Glacielen R. Souza³; Milena A. Oliveira⁴; Marília A. B. Molina⁵; Aline C. Intorne⁶.

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – 202322120010@pq.uenf.br

²Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - 202112220014@pq.uenf.br

³Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - 202112220015 @pq.uenf.br

⁴Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Millena.olive13@gmail.com

⁵Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - mberbet@uenf.br

⁶Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – aline.intorne@ifrj.edu.br

Palavras-Chave: Agricultura sustentável, agrotóxicos, remediação ambiental.

Introdução

A produção agrícola de café Conilon no Estado do Espírito Santo contribui decisivamente para este setor no Brasil e, logo, para a economia nacional, uma vez que o País representa uma potência mundial na exportação do produto (Locatelli., 2020; Paula et al., 2022). O Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (2022) relata que 14,7% do total das receitas das exportações dos primeiros 4 meses do ano de 2022 foram referentes a cafés. No entanto, a atividade tem sido prejudicada pelas altas concentrações de resíduos do agrotóxico glifosato (GLY) empregados (Peixoto et al., 2021).

Os elevados níveis de resíduos de GLY encontrado em produtos agrícolas brasileiros têm levado a embargos por parte da União Europeia (UE). A legislação do bloco estabelece um limite máximo de resíduo (LMR) de 0,1 mg/kg para o glifosato em alimentos, enquanto a legislação brasileira permite até 1,0 mg/kg para o café e algumas culturas (ANVISA, 2023). Essa discrepância normativa impacta negativamente a exportação de produtos agrícolas brasileiros, gerando perdas econômicas (Centanni et al., 2024). Tal situação ressalta a urgência de alinhar as práticas agrícolas brasileiras aos padrões internacionais mais rigorosos, para garantir a competitividade no mercado global e a segurança alimentar (Metcalfé et al., 2024).

O GLY é um herbicida aplicado em grandes áreas de cultivo para controlar o crescimento de ervas daninhas e garantir altos rendimentos agrícolas. No entanto, o seu uso indiscriminado e prolongado levanta preocupação, visto que suas altas concentrações têm trazido possíveis danos ao ambiente e a saúde, com a contaminação do solo e corpos hídricos (Maggi et al., 2020; Singh et al., 2020; Tang et al., 2021).

Dentre os caminhos para o enfrentamento dos desafios postos e a busca por sustentabilidade na agricultura, o processo de biodegradação do GLY representa uma alternativa viável e ambientalmente aceita, já que utiliza microrganismos para auxiliar a remoção do contaminante do ambiente (Souza et al., 2022). Neste contexto, os fungos filamentosos são componentes essenciais da microbiota do solo, desempenhando funções importantes na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem dos nutrientes e quebra de

compostos tóxicos, contribuindo para a redução dos níveis de glifosato no meio (Chunyan et al., 2023).

Os biossurfactantes, por sua vez, são conhecidos por acelerar a degradação de contaminantes e aumentar sua acessibilidade. Esses compostos, por serem anfipáticos, possuem a capacidade de reduzir a tensão superficial e interfacial, facilitando a emulsificação. Isso aumenta a biodisponibilidade dos contaminantes para os microrganismos, promovendo uma degradação mais eficiente e rápida (Barbosa et al., 2022). Espécies produtoras de biossurfactantes, como *Aspergillus niger* e *Penicillium chrysogenum* apresentam aplicações notáveis em múltiplos setores devido às suas propriedades surfactantes. Por exemplo, nas indústrias de petróleo, agricultura, alimentos, cosméticos, farmacêutica, detergentes e no tratamento de efluentes. Somado a isso, também podendo atuar na recuperação de áreas degradadas e na biorremediação de poluentes (Chunyan et al. 2023; Demichelli et al., 2020; Patowary et al., 2022).

Assim, este estudo teve como objetivo isolar fungos filamentosos degradadores de GLY de áreas de plantação de café Conilon no Espírito Santo. Em seguida, foi avaliada a capacidade de produção de biossurfactantes nas cepas selecionadas.

Material e Métodos

Amostras de solo foram coletadas em uma plantação de café Conilon no sul do ES, em três locais: 1) com aplicação de GLY comercial; 2) sem GLY; e 3) da rizosfera de erva daninha resistente a GLY. No laboratório, 1 g de solo foi homogeneizado em solução salina, diluído e plaqueadas em meio seletivo (BDA, DYGS e Sabouraud - SAB) com 60 mmol L⁻¹ de GLY comercial e incubado a 30 °C/72 h. A população foi quantificada, colônias de fungos filamentosos foram isoladas em cultura pura e estocadas a 4 °C, depois identificadas por microscopia óptica e sequenciamento.

Testes de tolerância foram realizados incubando-se os fungos em tubos com água e GLY comercial (120, 300 e 480 mmol L⁻¹) a 30 °C/5 dias. Ao final, foi feita repicagem em meio BDA e incubação a 30 °C/15 dias, analisando-se a ocorrência ou não de crescimento.

A produção de biossurfactante foi avaliada com testes de atividade hemolítica, atividade emulsificante (Aeo), índice de emulsificação (E24) e colapso da gota. Para os três últimos, os isolados foram cultivados em meio base (Cooper et al., 1987) com 1% do contaminante e 1 mL do inóculo.

Para atividade hemolítica (Bicca et al., 1999), os fungos foram cultivados em tubos de 50 mL com 15 mL de meio Czapek-dox (CDB) a 30°C/120 rpm por 72 h. Após isso, 10 µL das culturas foram inoculadas em placas de ágar com 5% de sangue de carneiro e incubadas a 30°C/15 dias, observando-se a formação ou não de halo de β-hemólise. O index hemolítico foi calculado segundo Price et al. (1982): (diâmetro da colônia + diâmetro do halo) / diâmetro total.

Para Aeo, misturou-se 3 mL do cultivo dos fungos em meio base com 2 mL de tolueno em um tubo de ensaio de 10 mL, seguido de 5 min em agitador tipo vórtex. A densidade óptica foi medida a 610 nm (Kreischer et al., 2017) em espectrofotômetro, e o resultado foi calculado pela fórmula: $Aeo/A = (AbsA - AbsB)$, onde AbsA é a absorbância do analito e AbsB é a do branco.

A análise do E24 foi realizada com a mesma solução, agitando-se os tubos por 2 min, seguido de incubação a 28 °C/24 h. O valor do índice foi obtido dividindo-se a altura da camada de emulsão (AE) formada pela altura total (AT) do líquido, usando-se a fórmula: $E24 = AE/AT \times 100$ (Kreischer et al., 2017).

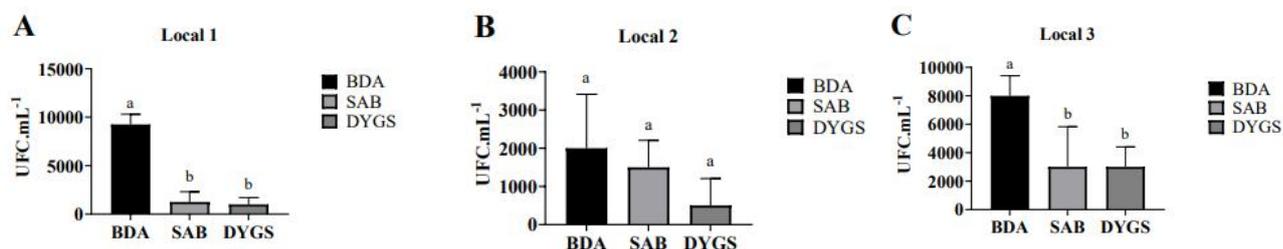
O teste de colapso da gota (Kreischer et al., 2017) foi realizado em placa de Petri, misturando 8,5 mL de água destilada com 1 µL de óleo de soja comercial e adicionando 1 µL do meio base à superfície da gota. O resultado é expresso pelo tempo necessário para o espalhamento das gotas

Os testes de degradação de GLY foram realizados em um microcosmo adaptado de Bartha et al. (1965) com um sistema respirométrico fechado. Utilizou-se potes de vidro de 800 mL com 150 g de solo e GLY comercial nas concentrações de 0, 2 e 10 mg/kg, e uma suspensão de 10^8 esporos dos isolados. Um copo plástico com NaOH ($0,50 \text{ mol L}^{-1}$) foi colocado no centro do pote, e o sistema foi incubado a 30 °C/8 dias. A produção de CO_2 liberado foi quantificada por titulação ácido/base.

Resultados e Discussão

A quantificação celular das amostras com GLY comercial (60 mmol L^{-1}) mostrou maior contagem microbiana no meio BDA em solo com GLY (Local 1) e na rizosfera de erva daninha resistente (Local 3), com prevalência de fungos filamentosos (Fig. 1). No Local 2, sem herbicida, a contagem foi menor e sem diferença entre os meios (Fig. 1). Foram isolados 37 morfotipos de fungos filamentosos.

Figura 1. Concentração celular (UFC.mL^{-1}) de fungos isolados de três locais: A) com aplicação de glifosato (GLY); B) sem GLY; e C) da rizosfera de erva daninha resistente a GLY, inoculados em três meios de cultura suplementados com GLY (60 mmol L^{-1}). As barras representam valores médios \pm DP ($n=3$). Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas entre os isolados.



Ao avaliar a tolerância a GLY nos 37 fungos, 28 sobreviveram em 120 mmol L^{-1} GLY comercial, 27 em 300 mmol L^{-1} e 12 em 480 mmol L^{-1} (Tab 1). Houve redução da tolerância com o aumento da concentração de glifosato. Os 12 isolados fúngicos mais tolerantes foram identificados por microscopia óptica, sendo a maioria do gênero *Purpureocillium* e um isolado do gênero *Absidia* (FSC-9) (Fig. 2).

Tabela 1. Resultados obtidos no teste de tolerância ao glifosato em diferentes concentrações*. FSC: Fungo de solo de cafezal.

| Isolados | GLY (mmol L^{-1}) | Isolados | GLY (mmol L^{-1}) | Isolados | GLY (mmol L^{-1}) |
|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------------|
|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------------|

| | 120 | 300 | 480 | | 120 | 300 | 480 | | 120 | 300 | 480 |
|---------------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|
| FSC-1 | + | + | + | FSC-14 | + | + | - | FSC-26 | + | + | + |
| FSC-2 | + | + | + | FSC-15 | + | + | - | FSC-27 | + | + | - |
| FSC-3 | - | - | - | FSC-16 | + | + | + | FSC-28 | + | + | + |
| FSC-4 | - | - | - | FSC-17 | + | + | - | FSC-29 | + | + | + |
| FSC-5 | - | - | - | FSC-18 | + | + | + | FSC-30 | - | - | - |
| FSC-6 | + | + | - | FSC-19 | - | - | - | FSC-31 | + | + | + |
| FSC-7 | + | + | - | FSC-20 | - | - | - | FSC-32 | + | + | - |
| FSC-8 | - | - | - | FSC-21 | + | + | - | FSC-33 | + | + | - |
| FSC-9 | + | + | + | FSC-22 | + | + | - | FSC-34 | - | - | - |
| FSC-10 | + | + | + | FSC-23 | - | - | - | FSC-35 | + | + | - |
| FSC-11 | + | + | + | FSC-24 | + | + | - | FSC-36 | + | + | - |
| FSC-12 | + | + | - | FSC-25 | + | + | - | FSC-37 | + | + | + |
| FSC-13 | + | - | - | | | | | | | | |

*Crescimento positivo representado com (+) e inibição do crescimento com (-).

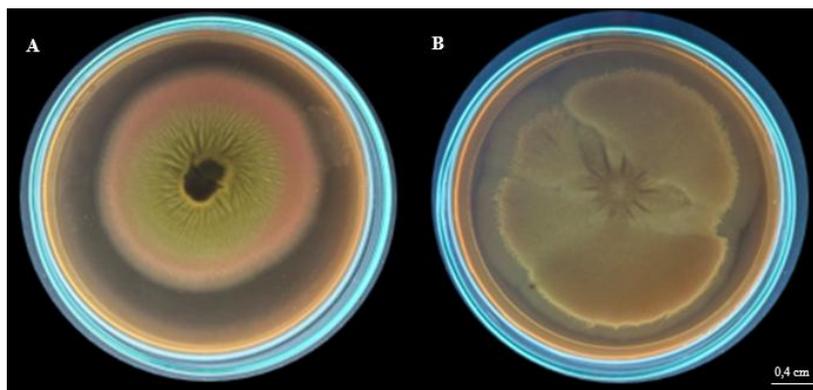
Figura 2. Isolados de fungos filamentosos dos gêneros *Purpureocillium* e *Absidia* (FSC-9) com maior tolerância ao glifosato (À esquerda). Morfologia e observações microscópicas de *P. lilacinum* FSC-1 e *Absidia* sp. FSC-9 em BDA após 15 dias a 30 °C: (a1) *P. lilacinum* FSC-1; (a2) Conidióforos e conídios de *P. lilacinum* FSC-1; (b1) *Absidia* sp. FSC-9; (b2) Conidióforos e conídios de *Absidia* sp. FSC-9. Imagens com ampliação de 400x (À direita).



Na avaliação da atividade hemolítica, todos os isolados do gênero *Purpureocillium* testaram positivo para a produção de biossurfactantes, com formação do halo beta-hemolítico ao redor da colônia (Fig. 3). O único isolado do gênero *Absidia* apresentou resultado negativo (gama-hemolítico) (Fig. 3), conforme detalhado por Carrillo et al. (1996).

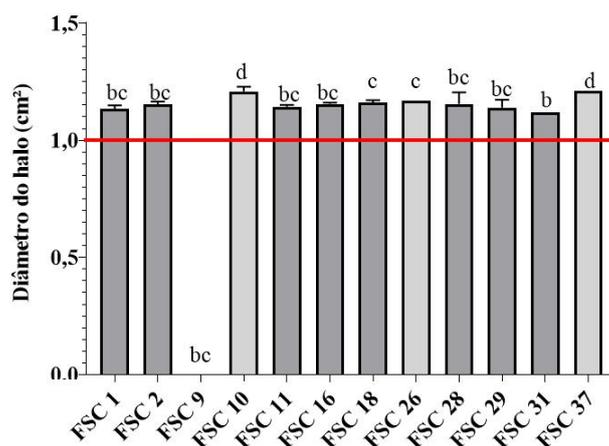
Segundo Silva et al. (2017), a atividade hemolítica está diretamente relacionada à capacidade dos microrganismos de provocar lise das células sanguíneas, permitindo que os fungos utilizem a hemoglobina como fonte de ferro. Este mecanismo é utilizado como um teste de triagem para identificar os microrganismos com potencial para a produção de biossurfactantes.

Figura 3. Colônias de fungos cultivados em Placas de Petri com ágar sangue, mostrando halo com atividade beta- hemolítica (A) e com atividade gama- hemolítica (B).



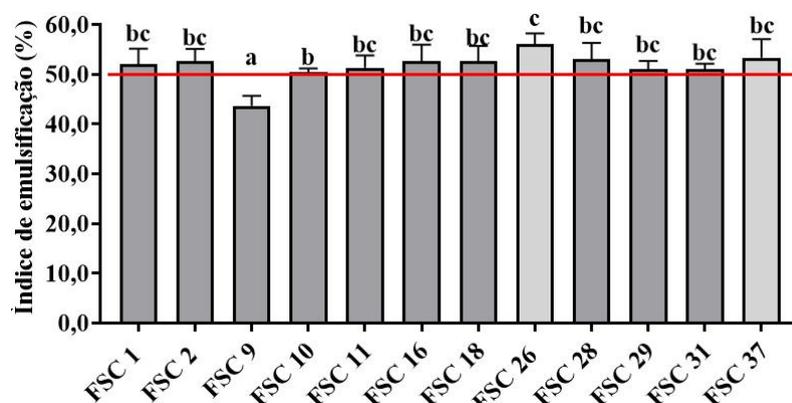
Os resultados da análise para medida do index hemolítico permitiram identificar os isolados FSC-10, 26 e 37 como os que produziram os maiores diâmetro de halos, sugerindo elevado potencial para a produção de biossurfactantes (Fig. 4). A pesquisa realizada por Silva (2020) identificou fungos com atividade alfa-hemolítica, apresentando index variando de 0,3 cm a 0,5 cm. Em contraste, os fungos do gênero *Purpureocillium* no presente trabalho, que demonstraram predominantemente atividade beta-hemolítica, com índices superiores a 1,0 cm. Esta diferença pode ser atribuída à capacidade distinta de produzir biossurfactantes relativas aos tipos de hemólise. A atividade alfa-hemolítica é parcialmente associada à produção de biossurfactantes, enquanto a atividade beta-hemolítica está totalmente ligada a esse processo de produção (Salazar-Bryam, 2021). Por outro lado, o isolado do gênero *Absidia* apresentou atividade gama-hemolítica (FSC-9), que indica ausência de lise (Fig. 4).

Figura 4. Diâmetro do halo produzido pelos isolados fúngicos em ensaio para análise da atividade hemolítica. As barras representam valores médios \pm desvio padrão (n=3). Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas entre os isolados.



Testes de índice de emulsificação e atividade emulsificante avaliaram a capacidade dos fungos na formação e estabilidade de emulsões. Na Figura 5, a maioria dos isolados mostrou índices de emulsificação acima de 50%, destacando-se os isolados 26 e 37. Apenas FSC-9 teve índice abaixo de 50%, indicando incapacidade de produzir biossurfactantes e confirmando resultados anteriores.

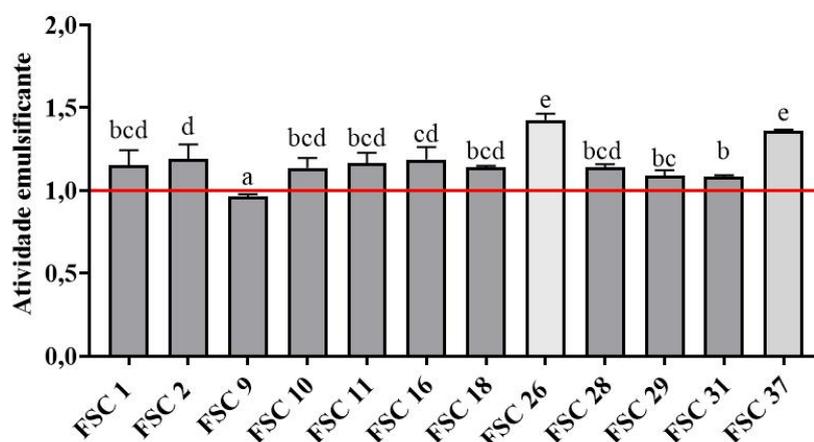
Figura 5. Índice de emulsificação apresentado pelos isolados fúngicos. As barras representam valores médios \pm desvio padrão (n=3). Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas entre os isolados.



Isolados que apresentam índice de emulsificação igual ou superior a 50% são considerados promissores para a produção de biossurfactantes (Teixeira et al., 2020). Isso se deve a capacidade desses microrganismos de emulsionar líquidos não miscíveis e formar emulsões estáveis, uma propriedade de grande interesse biotecnológico (Almeida et al., 2020).

Na análise da atividade emulsificante, os isolados do gênero *Purpureocillium* apresentaram densidade óptica superior a 1,0 (Fig. 6), indicando a produção de biossurfactantes. Em contraste, o isolado *Absidia* (FSC-9) teve valor inferior a 1,0. Esses resultados confirmam os testes de índice de emulsificação, reforçando a capacidade dos isolados de sintetizar compostos emulsificantes.

Figura 6. Atividade emulsificante dos isolados fúngicos. As barras representam valores médios \pm desvio padrão (n=3). Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas entre os isolados.



O teste de colapso da gota é um método rápido para avaliar a produção de biossurfactantes por isolados fúngicos. Ele mede a estabilidade interfacial entre óleo e água, indicando a eficiência do agente tensoativo. Os resultados mostraram que os fungos do gênero *Purpureocillium* causaram rápida desestabilização da gota em superfícies hidrofóbicas (Tab. 2), indicando a presença de biossurfactantes que reduzem a tensão superficial. Em contraste, o

isolado *Absidia* não apresentou espalhamento da gota, reforçando ausência de capacidade de produção de biossurfactantes.

Tabela 2. Resultados do teste de colapso da gota por amostras de meio fermentado pelos isolados fúngicos do gênero *Absidia* e *Purpureocillium*.

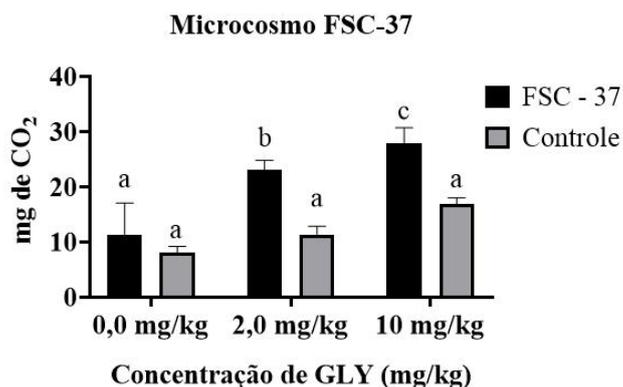
| Isolados fúngicos | Espalhamento da gota | Minutos/segundos |
|-------------------|----------------------|------------------|
| FSC 1 | ++ | 2,0 s |
| FSC 2 | ++ | 2,0 s |
| FSC 9 | - | 0,0 s |
| FSC 10 | ++ | 3,0 s |
| FSC 11 | ++ | 4,0 s |
| FSC 16 | ++ | 3,5 s |
| FSC 18 | ++ | 2,0 s |
| FSC 26 | ++ | 2,0 s |
| FSC 28 | ++ | 2,5 s |
| FSC 29 | ++ | 3,5 s |
| FSC 31 | ++ | 4,0 s |
| FSC 37 | ++ | 2,0 s |

Espalhamento total (++) ; Sem espalhamento (-); Espalhamento Parcial (+)

Em estudos feitos por Silva (2023), o autor comprova que a técnica do espalhamento da gota evidencia a existência de uma quebra da tensão superficial quando há o espalhamento total ou parcial. Assim, justifica-se que quando o sobrenadante foi adicionado a amostra, ocorria a redução da tensão superficial e com isso o espalhamento devido ao biossurfactante produzido.

A biodegradação do glifosato foi avaliada por microcosmo com o isolado FSC-37 em meio com 0 mg/kg, 2 mg/kg e 10 mg/kg de glifosato, além de um controle sem fungo. A respiração microbiana, medida pela concentração de CO₂ (Fig. 7), indicou que o isolado produziu mais CO₂ com o aumento da concentração de glifosato, sugerindo degradação do herbicida. A concentração de 10 mg/kg resultou em maior produção de CO₂ comparada a 2 mg/kg, mostrando alta tolerância do FSC-37 ao glifosato.

Figura 7. Respiração microbiana em mg de CO₂. As barras representam valores médios ± desvio padrão (n=3). Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas entre os isolados.



Os fungos filamentosos do gênero *Purpureocillium* demonstraram potencial para a produção de biossurfactantes e biodegradação do agrotóxico glifosato. Os resultados são promissores, indicando que esses microrganismos podem ter aplicações biotecnológicas importantes, especialmente em processos sustentáveis de remediação ambiental. Isso sugere que o uso desses fungos pode contribuir para a redução do impacto ambiental causado por agrotóxicos, promovendo soluções ecológicas e eficientes.

Agradecimentos

Ao fomento da CAPES, CNPq e FAPERJ e também a Universidade Estadual do Norte Fluminense e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal e ao Laboratório de Biotecnologia.

Referências

- Almeida, G. A. M.; Neta, M. R. A. V.; Silva, G. F.; Prado, P. F.; Almeida, M. A.; Duarte, I. C. S. Produção de biossurfactantes por *Lysinibacillus sp.* E *Bacillus sp.* a partir de diferentes óleos como fonte de carbono. **Revista Matéria**, V. 25. N. 04, 2020.
- Anvisa. Limites Máximos de Resíduos de Agrotóxicos Permitidos em Alimentos. Brasília: **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, 2023.
- Bartha, R.; PRAMER, D. Features of flask and method for measurement of the persistence and biological effects of pesticides in soil. **Soil Science**, 68-70, 100, 1965.
- Barbosa, F, G.; Ribeaux, D, R.; Rocha, T.; Costa, R, A, M.; Guzmán, R, R.; Marcelino, P, R,F.; Lacerda, T, M.; Silva, S, S. Biosurfactants: Sustainable and Versatile Molecules. **J. Braz. Chem. Soc.**, Vol. 33, No. 8, 870-893, 2022.
- Bicca, F. C.; Fleck, I. C.; Ayub, M. A. Production of biosurfactant by hydrocarbon degrading *Rhodococcus ruber* and *Rhodococcus erythropolis*. **Journal of the Brazilian Society for Microbiology**, v. 30, p. 231-236, 1999.
- Carrasco Cabrera, L.; DI Piazza, G.; Dujardin, B.Marchese, E.; Medina Pastor, P. The 2022 European Union report on pesticide residues in food. **EFSA Journal**, v. 22, n. 4, 2024.
- Carrillo, P.G., Mardaraz, C., Pitta-Alvarez, S.I. *et al.* Isolation and selection of biosurfactant-producing bacteria. **World J Microbiol Biotechnol** 12, 82–84 (1996).
- Centanni, M.; Ricci, G. F.; DE Girolamo, A. M.; Gentile, F. Modeling pesticides and ecotoxicological risk assessment in an intermittent river using SWAT. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 6389, 2024.
- Chunyan, X.; Qaria, M. A.; Qi, X.; Daochen, Z. The role of microorganisms in petroleum degradation: current development and prospects. **Science of the Total Environment**, v. 865, p. 161112, 2023.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL, (2022). **Relatório de Exportações**. <<https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>>. Acesso em 17 de julho de 2022.
- Cooper, David G.; Goldenberg, Beena G. Surface-active agents from two bacillus species. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 53, n. 2, p. 224-229, 1987.
- Demichelli, F. N.; Moura, G. S.; Franzener, G.; Bitencourt, T. B.; Francisco, C. T. Dos P.; Cazarolli, I. H. Caracterização de microrganismos isolados de solo contaminado com glifosato na região sul do brasil / characterization of microorganisms isolated from soil contaminated with glyphosate in southern brazil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 1, p. 2–8, 2020.
- Kreischer, A. C.; Silva, I. P. Bioprospecção de bactérias produtoras de biossurfactantes a partir de solo contaminado por agrotóxicos. **Revista Eletrônica Estácio Saúde**, v. 6, n. 1, 2017.

- Locatelli, T. Tecnologia de aplicação de herbicidas em café conilon.p. 1-2. **Tese em Produção Vegetal** – Centro de ciências e tecnologias agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2020.
- Maggi, F.; La Cecilia, D.; Tang, F. H.; mcbratney, a. The global environmental risk of glyphosate use. **Science of the Total Environment**, v. 717, p. 137167, 2020.
- Metcalfe, H.; Storkey, J.; HULL, R.; et al. Trade-offs constrain the success of glyphosate-free farming. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8001, 2024.
- Patowary, R.;Patowary, K.;Chandra, M.; Deka, S.;Madhab, J.; Joshi, S. J.; Zhang, M.; Peng, W.;Sharma, G. Biodegradation of hazardous naphthalene and cleaner production of rhamnolipids — green approaches of pollution mitigation. **Environmental Research**, v. 209, n. 112875, 2022.
- Paula, D. A.; Fehr, L. C. F. A.; Magnago, B. S.; Tavares, M.; Lima, D. S. Custos de produção do café conilon: análises em algumas regiões produtoras do Brasil. **Organizações Rurais e Agroindustriais**,24. 2022.
- Peixoto, P. M. C. Análise da composição química e de resíduo de glifosato em amostras de grãos de café conilon.p. 19-20. **Dissertação em Agroquímica** – Centro de ciências exatas, naturais e da saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2021.
- Price, Margaret F.; WILKINSON, Ian D.; GENTRY, Layne O. Plate method for detection of phospholipase activity in *Candida albicans*. **Sabouraudia: Journal of Medical and Veterinary Mycology**, v. 20, n. 1, p. 7-14, 1982.
- Salazar-Bryam, A, N. Estratégias UP-STREAM para a otimização da produção de ramnolipídios a partir de fontes alternativas de carbono: um enfoque na linhagem. 2021. p. 86. Tese de microbiologia aplicada – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2021.
- Silva, F. S.F.; Ferreira, V.C.; Catter, K.M.; Viana, A.P.Q.; Mendonça, K.V.; Sousa, V.O.; Vieira, R.H.F. Produção de biossurfactantes por cepas bacterianas de origem marinha utilizando querosene como fonte de carbono. **Revista de Ciências Ambientais**, v 11. n.1, 2017.
- Silva, T. H. Taxonomia, diversidade e estudo da virulência de fungos provenientes do permafrost da Antártica. 2020. p. 193. **Tese de Microbiologia** – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Silva. A. F. Bioprospecção de fungos produtores de biossurfactantes e desenvolvimento de bioprocessos aplicados à micorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos.2023. p. 153. **Tese de Biotecnologia e Biociências** – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.
- Singh S, Kumar V, Gill JPK, Datta S, Singh S, Dhaka V, Kapoor D, Wani AB, Dhanjal DS, Kumar M, Harikumar SL, Singh J. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation. **Int J Environ Res Public Health**. 2020 Oct 15;17(20):7519.
- SOUZA, A. L. de, Vieira, M. J. A., Paiva, M. J. do A. e, Bittencourt, M. T., Vieira, Érica N. R., & Leite Júnior, B. R. de C. Study of biodegradation of Poly(butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) with exotic basil essential oil in anaerobic sludge. **Antimicrobial Biodegradable**. 2022.
- Tang, F. H.;Maggi, F. Pesticide mixtures in soil: a global perspective. **Environmental Research**, v. 16, p. 044051, 2021.
- TEIXEIRA, L. M.; DE ARAÚJO, H. W. C.; CAMPOS TAKAKI, G. M. de; SILVA ANDRADE, R. F. da; RODRÍGUEZ, D. M.; BRASILEIRO FERREIRA, W.; DE ALMEIDA, M. M. Utilização de gordura animal como substrato na produção de biossurfactante por *Serratia marcescens* UCP 1549 com potencial de aplicação na área ambiental / Use of animal fat as a substrate in the production of biosurfactant by *Serratia marcescens* UCP 1549 with potential for application in the environmental area. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 8, p. 54790–54801, 2020.