

ACREMONIUM CAVARAEANUM L3.7: UM ANTAGONISTA DE FITOPATÓGENOS PRODUZINDO METABÓLITOS ALGICIDAS

Autores: ¹Renato Araujo da Silva, ¹Lucas Barreto Alves da Silva, ¹Grenville Antônio Souza dos Santos, ²Jéssica Dutra Ferreira, ³Guilherme Lage Guimarães, ¹André da Silva Xavier ²Cristiane dos Santos Vergílio

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Agronomia, Rua Dom Manuel de Medeiros, Dois Irmãos-52171-900-Recife-PE, Brasil, ¹Renato Araujo- renato.araujo12@gmail.com, ¹Lucas Barreto- lucas.barretoalves@ufrpe.br, ¹Grenville Antônio- Grenville.A@hotmail.com, ¹André Xavier - andre.sxavier@ufrpe.br

²Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Biologia, Campus alegre Alto Universitário, Guararema-29500-000-Alegre-ES, Brasil, ²Jéssica Dutra- jessicadutra017@gmail.com, ²Cristiane Vergílio - cristiane.vergilio@ufes.br

³Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Fitopatologia, Edifício Sylvio Starling Brandão, R. Purdue-36570-900-Viçosa-MG, Brasil, ³Guilherme Lage Guimarães-guilherme15lage@gmail.com

Resumo

Este estudo avaliou o efeito algicida de metabólitos cromogênicos produzidos pelo fungo *Acremonium cavaraeaeum* L3.7, isolado de associação líquênica com atividade contra microalgas. Soluções dos metabólitos foram aplicadas em meio LC Oligo, com diferentes concentrações e dez repetições por tratamento. A clorofila *a* foi quantificada por espectrofotometria (665 e 750 nm) e a morfologia celular analisada em microscópio óptico. Os resultados revelaram efeito algicida em todas as concentrações testadas, com intensidade proporcional à dose aplicada. Houve redução significativa de clorofila *a* alterações morfológicas em *Raphidocelis subcapitata* (como perda da forma em ferradura, inchaço e arredondamento celular) e diminuição da densidade celular. Esses efeitos indicam morte celular induzida pelos metabólitos. O estudo destaca o potencial biotecnológico do fungo *A. cavaraeaeum* L3.7 para o controle sustentável de microalgas em ambientes produtivos e domésticos.

Palavras-chave: Fungos. Pigmento fúngico. Biotecnologia. Microalgas. *Raphidocelis subcapitata*.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias subárea Agronomia.

Introdução

Os fungos são organismos que ocorrem em uma ampla variedade de habitats, desempenhando papéis importantes ao ambiente como decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, no controle de pragas e na formação de associações simbióticas com outros seres vivos, fatores fundamentais para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas (Patil *et al.*, 2016). Além disso, alguns gêneros fúngicos sintetizam metabólitos secundários, que embora não sejam essenciais para o crescimento e desenvolvimento desses microrganismos, conferem vantagens adaptativas e apresentam ampla diversidade estrutural e funcional podendo ser utilizados na produção de antibióticos, fármacos e ser usado no controle biológico. (Qin *et al.*, 2024).

De acordo com (Qin *et al.*, 2024), centenas de substâncias de origem fúngica já foram descritas, sendo classificadas em grupos como alcaloides, poliquetídeos, terpenoides, peptídeos e pigmentos. Esses metabólitos apresentam diferentes atividades biológicas, incluindo efeitos antimicrobianos, citotóxicos, algicidas antioxidantes e imunossupressores. Contudo, em ambientes aquáticos, interações fúngicas podem variar de mutualísticas a parasíticas e, em muitos casos, resultar na liberação de compostos capazes de afetar diretamente outros organismos, como microalgas durante a competição (Laezza *et al.*, 2022).

Além dos ambientes aquáticos, a proliferação excessiva de algas também representa um desafio em locais com elevada umidade, como áreas encharcadas, superfícies constantemente úmidas e estufas agrícolas. Nesses sistemas de cultivo protegido, a formação de biofilmes algais em substratos, estruturas e canais de irrigação pode interferir na penetração de luz, alterar o equilíbrio microclimático e favorecer o estabelecimento de microrganismos oportunistas. Como consequência, podem ocorrer prejuízos tanto à saúde das plantas quanto ao desempenho produtivo das culturas. Nesse contexto, o uso de metabólitos microbianos com atividade algicida surge como uma alternativa sustentável, reduzindo a dependência de compostos químicos convencionais e alinhando-se às estratégias de biotecnologia verde voltadas ao manejo equilibrado dos ecossistemas agrícolas (Postma *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2019).

Metodologia

1. Preparação das soluções dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7

Para iniciar os experimentos, foi preparada uma solução - estoque dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7 (1000 µg/mL) em meio LC Oligo, que é comumente utilizado no cultivo de microalgas. A esterilidade e a homogeneidade da solução foram garantidas por meio de filtração em membrana de 0,22 µm, evitando contaminações e agregados indesejados.

A partir dessa solução inicial, realizamos diluições seriadas no mesmo meio, obtendo as concentrações experimentais de 50, 100, 150, 200, 250 e 320 µg/mL. Esse intervalo foi escolhido de forma estratégica: contemplar desde níveis mais brandos, que não deveriam afetar o crescimento da alga, até concentrações capazes de causar efeitos mais fortes. Assim, foi possível observar se os metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7 realmente apresentariam uma resposta dependente da dose.

1.1 Avaliação do potencial algicida dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7

O ensaio de toxicidade foi conduzido com a microalga *Raphidocelis subcapitata*, uma espécie bastante usada em estudos ecotoxicológicos justamente por sua sensibilidade e importância ambiental. As culturas foram inicialmente inoculadas em meio LC Oligo dentro de frascos Erlenmeyer de 100 mL, permitindo que crescessem em fase exponencial antes do início dos testes.

O delineamento experimental seguiu o protocolo da ABNT NBR 12648 (ABNT, 2018), mas com pequenas adaptações: em vez de frascos maiores, utilizamos tubos de ensaio, o que facilitou o manuseio e a replicação. Para cada concentração dos metabólitos e para o controle (sem metabólitos), foram preparadas dez repetições em condições estéreis. Em cada tubo foi adicionado um inóculo inicial de 1×10^5 células/mL.

Durante 96 horas, as culturas foram mantidas sob agitação constante, temperatura controlada de 24 °C e iluminação com lâmpadas fluorescentes brancas — condições que simulam um ambiente ideal de crescimento. Ao final da exposição, pequenas alíquotas foram analisadas em microscópio óptico com câmara de Neubauer, permitindo a contagem de células e a verificação de possíveis alterações morfológicas. Parte do material foi usada para registro fotográfico e outra parte para a determinação do teor de clorofila a, possibilitando uma visão tanto fisiológica quanto estrutural dos efeitos dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7.

1.2 Determinação de clorofila A na microalga *R. subcapitata*

A clorofila A foi escolhida como indicador de atividade fotossintética, já que sua redução aponta para efeitos diretos sobre o metabolismo da alga. Para isso, as amostras passaram por filtração em membranas de fibra de vidro (0,6 µm), e os pigmentos retidos foram extraídos em acetona 90%, mantidos no escuro para evitar degradação.

Após filtragem, os extratos foram centrifugados a 3000 rpm por 20 minutos. O sobrenadante obtido foi lido em espectrofotômetro Hach DR3900 nos comprimentos de onda de 664 e 750 nm. Em seguida, os extratos foram acidificados com HCl 0,1 M e novamente analisados em 665 e 750 nm, seguindo o protocolo descrito no Standard Methods (Apha *et al.*, 2006). Esse processo, embora minucioso, foi fundamental para corrigir interferências da turbidez e garantir a precisão da quantificação.

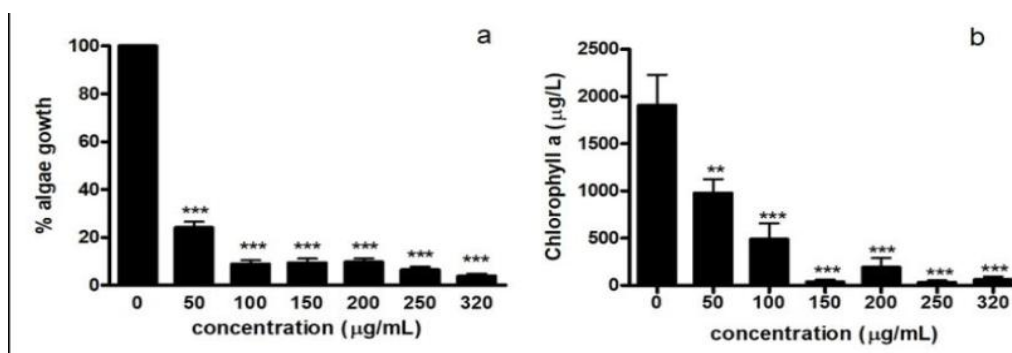
1.3 Morfologia da microalga *R. subcapitata*

Além das análises de crescimento e fotossíntese, também observamos como as células reagem morfológicamente à exposição. Para isso, foram fixadas em formaldeído a 10% em tampão fosfato (pH 7,1) por 24 horas, o que preservou suas estruturas. Em seguida, as amostras foram observadas em microscópio óptico Leica DM500, com registro via software LAS EZ 3.0.

Resultados

Os metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7 apresentaram efeito algicida em todas as concentrações testadas, evidenciado pela redução do crescimento de *R. subcapitata* e pela diminuição da clorofila a em comparação ao controle (Figura 1).

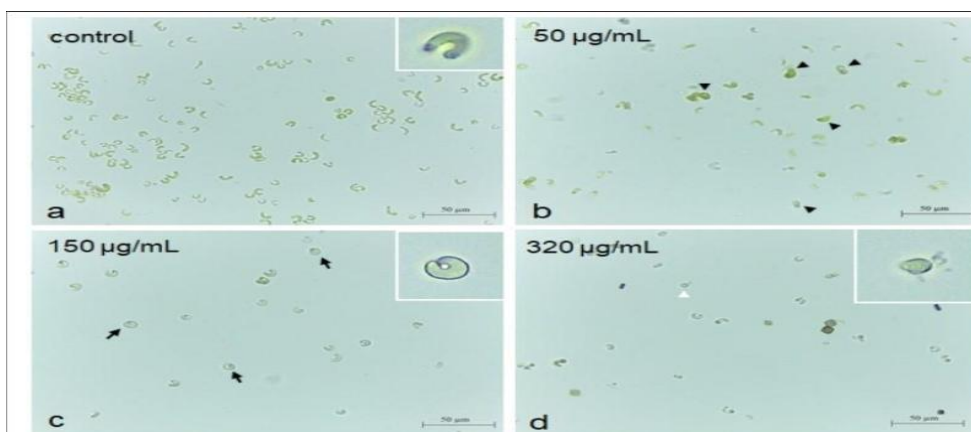
Figura 1. Inibição do crescimento da microalga *R. subcapitata* (a) e concentração de clorofila a (b) após exposição a diferentes concentrações dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Além disso, foram observadas alterações morfológicas nas células, incluindo perda da forma em “ferradura”, inchaço e células arredondadas indicativas de morte celular (Figuras 2). Essas alterações aumentaram progressivamente com a elevação da concentração dos metabólitos, demonstrando um efeito dependente da dose.

Figura 2. Morfologia de *R. subcapitata* após tratamento com diferentes concentrações dos metabólitos de *A. cavaraeanum* L3.7: (a) células controle com morfologia típica em “ferradura”, (b) células com perda da morfologia típica tratadas com 50 µg/mL (seta de ponta preta), (c) células com inchaço tratadas com 150 µg/mL (seta de ponta preta detalhes), (d) células arredondadas indicativas de morte celular após tratamento com os metabólitos (inserção, seta ponta branca).



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Esse acompanhamento visual permitiu identificar sinais claros de estresse celular, como aumento de volume, arredondamento ou perda da morfologia típica em forma de “ferradura”. Tais mudanças forneceram indícios adicionais de que os metabólitos de *A. cavaraeaeum* L3.7 podem exercer efeito algicida tanto pela via fisiológica quanto estrutural.

Discussão

Os resultados deste estudo mostram que os metabólitos produzidos por *Acremonium cavaraeaeum* L3.7 possuem efeito algicida significativo sobre *Raphidocelis subcapitata*, afetando tanto a densidade celular quanto a estrutura e a capacidade fotossintética das células. Essas observações se alinham com pesquisas anteriores que já apontavam o gênero *Acremonium* como fonte de compostos bioativos com ampla atuação biológica (QIN *et al.*, 2024; TIAN; LAI; ZHOU, 2016). A riqueza química desses fungos, incluindo a produção de alcaloides, terpenos e poliquetídeos, indica que seus metabólitos podem agir por diferentes vias, tornando-os candidatos promissores para uso em biotecnologia ambiental.

A redução da clorofila a detectada no experimento sugere que o mecanismo de ação dos metabólitos interfere diretamente no sistema fotossintético das algas. Esse padrão já foi observado em outros estudos, como os realizados com *Acremonium camptosporum*, cujos compostos afetaram a fotossíntese de organismos marinhos (MARTINS *et al.*, 2021). Além disso, trabalhos com fungicidas sintéticos, como os azóis, mostraram que *R. subcapitata* responde a essas substâncias com alterações morfológicas, estresse oxidativo e prejuízo na fotossíntese — reações similares às observadas neste estudo (HUANG *et al.*, 2025).

Esses dados reforçam a ideia de que o efeito algicida pode estar relacionado a um padrão comum entre metabólitos fúngicos, e não apenas aos derivados de *A. cavaraeaeum*. Outros representantes do gênero, como *A. sclerotigenum*, já tiveram alcaloides identificados com potencial antimicrobiano e citotóxico (ZHANG *et al.*, 2023), o que amplia ainda mais o leque de aplicações possíveis. Assim, os resultados obtidos não apenas confirmam o potencial desse fungo no controle de microalgas, mas também apontam para a necessidade de novos estudos que aprofundem o conhecimento sobre seus compostos ativos e os impactos de seu uso no meio ambiente.

Os metabólitos de *A. cavaraeaeum* L3.7 apresentaram efeito algicida sobre *R. subcapitata*, reduzindo a densidade celular, a concentração de clorofila a e alterando a morfologia das células. Esses resultados corroboram estudos prévios com pigmentos produzidos por espécies do gênero *Acremonium*, que também demonstraram inibição do crescimento algal associada à presença de metabólitos secundários bioativos (Qin *et al.*, 2024). A diversidade de metabólitos já relatada para *Acremonium* — incluindo terpenoides, peptídeos, poliquetídeos etc. — sugere que há um vasto repertório químico que pode explicar diferentes modos de ação algicida.

Conclusão

Os metabólitos de *A. cavaraeaeum* L3.7 demonstraram efeito algicida sobre a microalga modelo *Raphidocelis subcapitata*, promovendo inibição do crescimento, redução da clorofila a e alterações morfológicas indicativas de morte celular, mostrando seu potencial biotecnológico como ferramenta sustentável de controle biológico de algas prejudiciais a sistemas de produção.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12648: 2018. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com alga (Chlopyceae)**. Rio de Janeiro, 2018.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the evaluation of water and wastewater: online**. Washington, DC, 2006.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

PATIL, R. S.; PATIL, S. V.; MAHESHWARI, D. K. Role of fungi in ecosystem and their metabolites: a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 2, p. 123-135, 2016.

QIN, Y.; LU, H.; QI, X.; LIN, M.; GAO, C.; LIU, Y.; LUO, X. Recent advances in chemistry and bioactivities of secondary metabolites from the genus *Acremonium*. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 1, p. 37, 2024

QIN, Y. et al. Diversity and bioactivities of fungal secondary metabolites: a comprehensive review. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337879108_Diversity_and_bioactivities_of_fungal_endophytes_from_Distylium_chinense_a_rare_waterlogging_tolerant_plant_endemic_to_the_Three_Gorges_R Acesso em: 24 ago. 2025.

HUANG, Y. et al. Toxic effects of eight azole fungicides on the growth, photosynthetic activity, and oxidative stress of *Raphidocelis subcapitata*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [S.l.], 2025. Disponível em: <https://academic.oup.com/etc/advance-article/doi/10.1093/etojnl/vgaf003/7944938>. Acesso em: 15 set. 2025.

MARTINS, T. et al. Role of bioactive metabolites from *Acremonium camptosporum* associated with the marine sponge *Aplysina fulva*. **Biotechnology Reports**, [S.l.], 2021. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7AdVQMa9/>. Acesso em: 15 set. 2025.

QIN, Y. et al. Recent advances in chemistry and bioactivities of secondary metabolites from the genus *Acremonium*. **Journal of Fungi**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 37, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/10/1/37>. Acesso em: 15 set. 2025.

TIAN, X.; LAI, D.; ZHOU, L. Secondary metabolites from *Acremonium* fungi: diverse structures and bioactivities. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 82, n. 10/11, p. 832–840, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27633747/>. Acesso em: 15 set. 2025.

ZHANG, X. et al. Bioactive alkaloids from the Beibu Gulf coral-associated fungus *Acremonium sclerotigenum* GxIMD 02501. **Records of Natural Products**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 145–152, 2023. Disponível em: <https://www.acgpubs.org/article/records-of-natural-products/2023/1-january-february/bioactive-alkaloids-from-the-beibu-gulf-coral-associated-fungus-acremonium-sclerotigenum-gximd-02501>. Acesso em: 15 set. 2025.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao orientador André da Silva Xavier pela orientação dedicada, valiosas contribuições e incentivo constante ao longo de toda a pesquisa. Estendo meu reconhecimento à orientadora Cristiane dos Santos Virgílio, pela orientação conjunta e fornecimento dos dados. Agradeço também ao doutorando Grenville Antonio Souza dos Santos pela colaboração e parceria no desenvolvimento desta pesquisa. Meu agradecimento se estende à Jessica Dutra Ferreira, do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Espírito Santo, e ao Guilherme Lage Guimarães, da Universidade Federal de Viçosa, que contribuíram de maneira significativa com o fornecimento de dados essenciais para o trabalho.

Sem o suporte e a cooperação dessas pessoas, esta pesquisa não teria sido possível. O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Espírito Santo-Campus de Alegre, Universidade Federal Rural de Pernambuco através do Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).