AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA DE MACROALGAS MARINHAS DO LITORAL DO MARANHÃO SOBRE A MORFOLOGIA DE FUNGOS MICOTOXIGÊNICOS ISOLADOS DE OSTRAS

Gerson Araújo[1]

Kerllyane Carvalho Mendes[2]

Maria Clara Pachêco Christo[3]

Ilka Márcia Ribeiro de Souza Serra[4]

Thiago Anchieta de Melo[5]

INTRODUÇÃO

Os organismos marinhos produzem uma variedade de compostos com atividades farmacológicas, incluindo anticancerígenas, antimicrobianas, antifúngicas, antivirais, anti-inflamatórias e outras, e são fontes potenciais de novos agentes terapêuticos. Eles sobrevivem e vivem em comunidades complexas e em estreita associação com outros num ambiente competitivo e hostil. Além disso, produzem metabólitos secundários complexos em resposta à pressão ecológica, como competição por espaço, predação e variações de maré. Alguns destes compostos são antimicrobianos, ou seja, são capazes de inibir ou limitar o desenvolvimento e crescimento de outros microrganismos competitivos (Pérez *et al*., 2016).

As algas são organismos promissores por fornecerem novos compostos biologicamente ativos. Assim, a biotecnologia de algas é um campo de pesquisa em constante expansão que visa utilizar as propriedades biológicas das algas para desenvolver produtos e soluções para diversos setores, desde alimentos e energia até medicamentos e cosméticos (Cotas *et al*., 2020; Pereira *et al*., 2023).

Os bivalves têm grande importância na dieta humana por serem fonte de nutrientes essenciais e por fornecer proteínas de elevada qualidade biológica. Contudo, os benefícios do seu consumo são contrabalançados com o perigo de exposição do consumidor a substâncias poluentes que se podem acumular nas partes edíveis, o que constitui um fator de risco para a saúde humana (Oliveira, 2012).

Micotoxinas são formadas pelo metabolismo secundário de algumas espécies de fungos, produzidos quando esses microrganismos estão sujeitos às condições climáticas favoráveis. Em humanos, algumas destas toxinas possuem características cumulativas e podem ser cancerígenas, mutagênicas e imunossupressoras. As principais micotoxinas são produzidas pelos gêneros fúngicos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Bennett *et al*., 2003; Marín; Ramos, 2016).

Logo, tendo em vista a presença de fungos micotoxigênicos obtidos em ostras dos municípios costeiros do Maranhão, organismos em sua maioria consumidos *in natura*, este trabalho visa pesquisar a atividade biológica de espécies macroalgais sobre a morfologia e aspectos essenciais desses fungos.

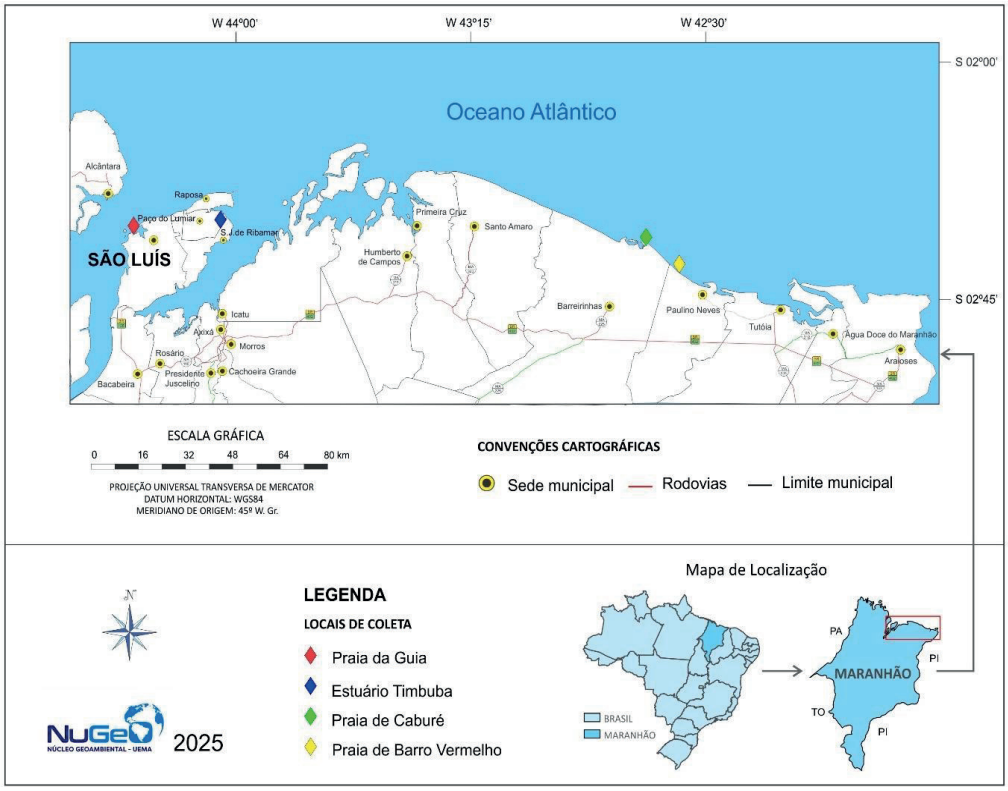
1 Discente em Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: gersonaraujo170@gmail.com
2 Discente em Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: kerllyane.mendes@gmail.com
3 Mestra em Ecologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: mcpchristo@gmail.com
4 Doutora em Fitopatologia, Docente do Departamento de Biologia da Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: ilka.tt@gmail.com
5 Doutor em Fitopatologia, Docente do Departamento de Biologia da Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: thiagoanchieta@gmail.com

METODOLOGIA

Coleta de Macroalgas

Para este estudo, foram realizadas coletas de macroalgas marinhas entre os meses de outubro e janeiro, na maré vazante, nos seguintes locais: Praia de Caburé (Barreirinhas, MA), Praia do Barro Vermelho (Paulino Neves, Ma), Timbuba (Paço do Lumiar, MA) e Praia da Guia (São Luís, MA). Os locais onde foram feitas as coletas estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta de macroalgas marinhas no litoral maranhense



Fonte: Autor, 2025

Triagem das algas

Inicialmente, as algas passaram por uma triagem que consistiu na lavagem em peneira com água corrente, visando à remoção de detritos e outros contaminantes advindos do processo de coleta. Em seguida, realizou-se a separação do material com o auxílio de lupa, pinças, placas de Petri e água destilada, a fim de promover uma limpeza mais detalhada e facilitar a discriminação em nível de gênero e espécie. A identificação foi realizada pelo Laboratório de Biologia Vegetal e Marinha (LBVM) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), por meio de análises micro e macroscópicas, com auxílio de chaves de identificação. Posteriormente, as amostras ainda frescas foram pesadas em balança semianalítica, considerando-se o gênero e o local de coleta, e, em seguida, submetidas à secagem natural à temperatura ambiente.

Produção de Extratos a Base de Macroalgas

Para a produção dos extratos foi utilizada a metodologia de Patra *et al*. (2008), com adaptações. Dessa forma, foram pesados 10 g de cada espécie de alga em uma balança de precisão e triturados separadamente. Em seguida, 100 mL de etanol 0,05% foram adicionados junto às

algas trituradas em frascos de vidro âmbar. Na sequência, as suspensões foram colocadas em um agitador orbital por 7 dias, em condições de temperatura controlada, 25±2 °C, escuro contínuo e velocidade de rotação de 150 rpm. Após esse período, o preparado foi triplamente filtrado em filtro recoberto com papel de filtro nº 40 e após, em filtros de membrana MF-Millipore acoplados a uma seringa. Em seguida, as suspensões foram submetidas ao evaporador rotativo por 4 h para serem concentradas. Feito isso, os extratos foram homogeneizados em um novo béquer em um agitador magnético na proporção de 9 ml de água para 1 ml de etanol por 30 minutos. Por fim, os extratos foram padronizados em 50 mg/ml.

Isolamento de Fungos Micotoxigênicos

Após preparação, os extratos foram direcionados aos testes com os fungos de potencial micotoxigênico obtidos a partir de ostras de ambientes de cultivo e extrativismo no estado do Maranhão em pesquisa desenvolvida no Laboratório de Microbiologia, Patologia e Biotecnologia (MIPABIO). Dessa forma, os fungos previamente isolados, identificados molecularmente e conservados em laboratório foram reativados e isolados para a realização das análises.

Avaliações Morfológicas

Crescimento micelial

A partir da obtenção de placas de Petri contendo colônias puras de fungos do gênero, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, os testes de crescimento micelial dos fungos foram executados com diferentes concentrações dos extratos de algas. A determinação das concentrações utilizadas nos testes foi feita a partir de um *screening* com os extratos, antes da montagem dos ensaios. As concentrações foram preparadas por incorporação dos produtos de forma individualizada em meio BDA fundente. Foram utilizados controles diferentes. O primeiro controle positivo foi composto por 200 µL de Azoxistrobina (Amistar®) de meio BDA-1, o segundo controle positivo foi composto por 200 µL de Extrato de *Ascophyllum nodosum* (Acadian®), e o controle negativo consistiu em meio BDA puro (concentração zero) (Melo, 2017).

Para este experimento, foram selecionados e utilizados 5 extratos de algas: *Bostrychia calliptera*, *Sargassum* sp., *Rhizoclonium riparium*, *Ulva linza* e *Cladophoropsis membranacea*. Portanto, cada fungo foi testado com cada extrato incorporado ao meio BDA nas concentrações de 200 µL, 400 µL, 600 µL, 800 µL e 1000 µL. Em seguida, os meios foram vertidos em placas de Petri de poliestireno com 80 mm de diâmetro. Após a solidificação do meio e decorridas 24 h, discos de micélio de 5 mm de diâmetro, contendo estruturas fúngicas, foram transferidos para o centro das placas. Dessa forma, o isolamento ocorreu em quadruplicata para cada uma das concentrações mais os controles negativo e positivo.

Após o isolamento, os tratamentos foram postos em cima de bancadas em temperatura ambiente. Foram efetuadas avaliações diárias, sempre no mesmo período do dia e feitas até que uma das parcelas atingisse a borda da placa. Ao longo das observações, foram tomadas medidas do crescimento das colônias (mm), com auxílio de um paquímetro digital, em dois sentidos diametralmente opostos.

Após isso, as médias do 5º dia de observação foram calculadas e submetidas à análise de variância, sendo estas comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esporulação

As placas de Petri contendo estruturas do patógeno, foram utilizadas para a determinação do efeito dos produtos sobre a esporulação do patógeno. Dessa forma, no final do referido

ensaio, cada placa foi individualmente inundada com 20 mL de água e as estruturas do patógeno ali crescidas foram delicadamente raspadas com o auxílio de um pincel de cerdas macias. As suspensões obtidas foram filtradas em gaze para a obtenção de suspensões apenas de conídios, sendo, estas últimas, ajustadas para um volume de 100 mL. Em seguida, o número de conídios de cada suspensão foi quantificado com o auxílio de um hemocitômetro tipo Neubauer e a quantidade de propágulos em cada parcela expressa em número de conídios mL^{-1} x 10^6.

Germinação e fixação dos conídios dos fungos

Após ajuste da concentração dos propágulos para 104 conídios mL^{-1}, 20 mL das preparações foram vertidos em placas de Petri de poliestireno, previamente marcadas com 25 campos de área medindo 1 mm^2 cada, sendo estas, em seguida, colocadas na bancada por 24 h.

Transcorrido esse período, a suspensão de conídios foi descartada e, com auxílio de microscopia de luz, 50 conídios por campo marcado foram contados e separados em: (A) conídios germinados, com tubo germinativo maior do que o comprimento do propágulo; (B) conídios não germinados ou com tubo germinativo menor do que o comprimento do propágulo. Foram contados 4 campos da placa, totalizando 200 conídios por parcela. A porcentagem de conídios germinados foi determinada segundo a fórmula abaixo:

$$\% \text{ de conídios germinados} = \frac{\sum A * 100}{\sum A+B}$$

Em que 'ΣA' representa o somatório do número de conídios germinados e 'Σ(A+B)' representa o somatório número total de conídios contados na parcela (Melo, 2017).

A interferência dos produtos sobre a capacidade de adesão dos conídios dos fungos dos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* foi determinada utilizando a mesma técnica das placas marcadas. Após ajuste da concentração dos propágulos para 104 conídios mL^{-1}, 20 mL das preparações foram vertidos em placas de Petri de poliestireno, previamente marcadas com 25 campos de área medindo 1 mm^2 cada, sendo estas, em seguida, colocadas na bancada por 24 h. Após esse período, cinco campos tiveram todos os conídios contados por duas vezes, sendo: (A) contagem dos conídios antes e (B) após a lavagem das placas, por 5 segundos, em água corrente. A porcentagem de conídios aderidos foi calculada segundo a fórmula abaixo:

$$\% \text{ de conídios germinados} = \frac{B * 100}{A}$$

Em que 'A' representa o número de conídios na contagem A e 'B' representa o número de conídios na contagem B (Melo, 2017).

Foram utilizadas três repetições por tratamento para os dois ensaios descritos acima. As médias obtidas foram calculadas e o efeito das concentrações dos produtos sobre cada parâmetro avaliado foi verificado por meio de análise de regressão linear.

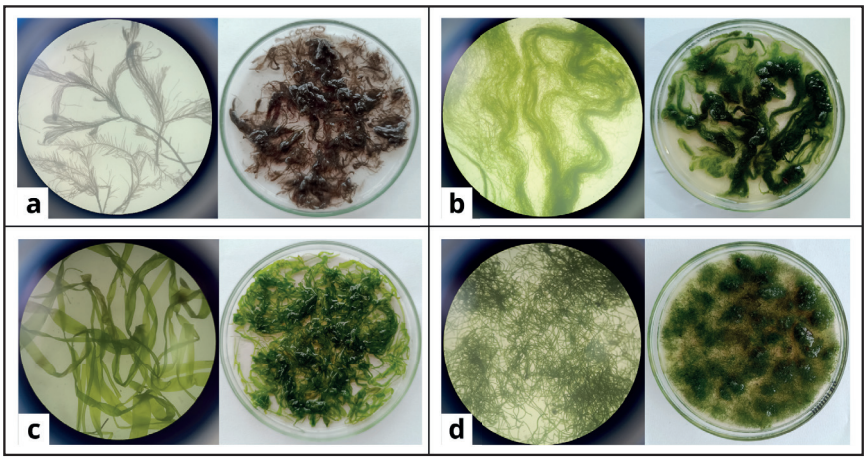
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Bioprospecção de Macroalgas

As coletas foram bem-sucedidas, resultando na obtenção de uma variedade de espécimes. As áreas com maior biodiversidade de algas marinhas foram a Praia da Guia e a região do Timbuba. Na Praia da Guia, foram coletados quatro espécimes pertencentes às espécies *Bostrychia calliptera*, *Rhizoclonium riparium*, *Cladophoropsis membranacea* e *Ulva linza*. Na região do Timbuba, também foram coletados quatro espécimes, correspondentes a duas espécies e dois gêneros: *Bostrychia calliptera*, *Rhizoclonium riparium*, *Caloglossa* sp. e *Catenella* sp.

Post (1936) nomeou as algas associadas aos manguezais como "Bostrychietum", formada pelos gêneros *Bostrychia*, *Caloglossa* e *Catenella*. Do conjunto, o gênero *Bostrychia* é o mais predominante e contribuem com a produção primária, ciclagem de nutrientes, e são uma das principais fontes de abrigo e alimento disponíveis (Kamer; Fong, 2000). Nas coletas que ocorreram em manguezais, na Praia da Guia e Timbuba (Figura 2 e 3), é possível observar a ocorrência desses gêneros com *Caloglossa* e *Catenella* ocorrendo exclusivamente em Timbuba.

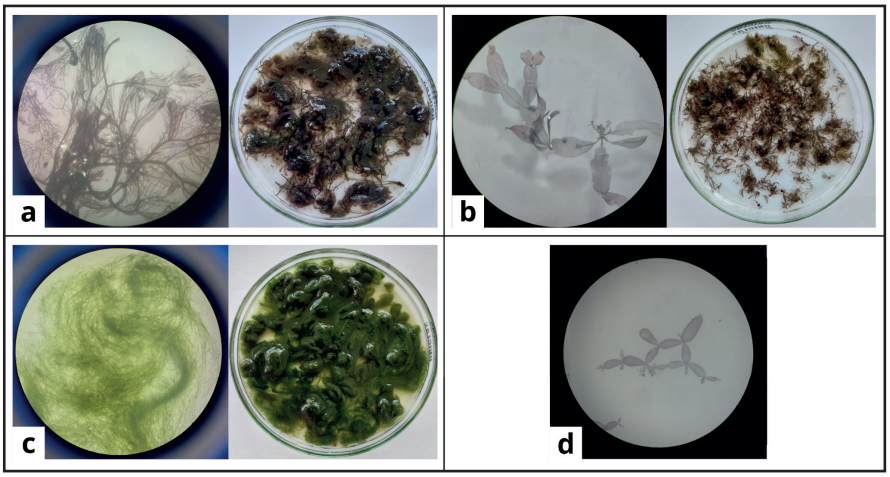
Figura 2 – Algas coletadas na Praia da Guia separadas em placas de Petri e observadas em estereomicroscópio



a) *Bostrychia calliptera* b) *Rhizoclonium riparium* c) *Ulva linza* d) *Cladophoropsis membranacea*

Fonte: Autor, 2025

Figura 3 – Algas coletadas em Timbuba separadas em placas de Petri e observadas em estereomicroscópio



a) *Bostrychia calliptera* b) *Caloglossa* sp. c) *Rhizoclonium riparium* d) *Catenella* sp.

Fonte: Autor, 2025

Na Praia de Caburé e na Praia do Barro Vermelho, foi registrada a ocorrência de apenas um organismo pertencente ao gênero *Sargassum* sp. (Figura 4). As espécies desse gênero dominam a cobertura de áreas costeiras tropicais e subtropicais, frequentemente formando os conhecidos bancos de *Sargassum* (Széchy; Paula, 2000). No Brasil, esse gênero apresenta ampla distribuição, sendo frequentemente encontrado no litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, especialmente em costões rochosos protegidos da ação das ondas (De Paula, 1988).

Devido às suas diversas propriedades farmacológicas, *Sargassum* tem sido considerado um alimento medicinal promissor para o século XXI. Dessa forma, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de identificar e caracterizar outras propriedades farmacológicas associadas a essa macroalga (Yende *et al.*, 2014).

Figura 4 – Alga do gênero *Sargassum* sp. coletada nas praias do Caburé e Barro Vermelho



Fonte: Autor, 2025

A macroalga do gênero *Catenella* sp. foi encontrada em quantidade extremamente baixa, tornando inviável sua utilização para os fins desta pesquisa. O mesmo ocorreu com *Caloglossa* sp., da qual foram obtidos apenas 23 g.

Avaliação dos Extratos de Algas Sobre a Morfologia dos Fungos *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*

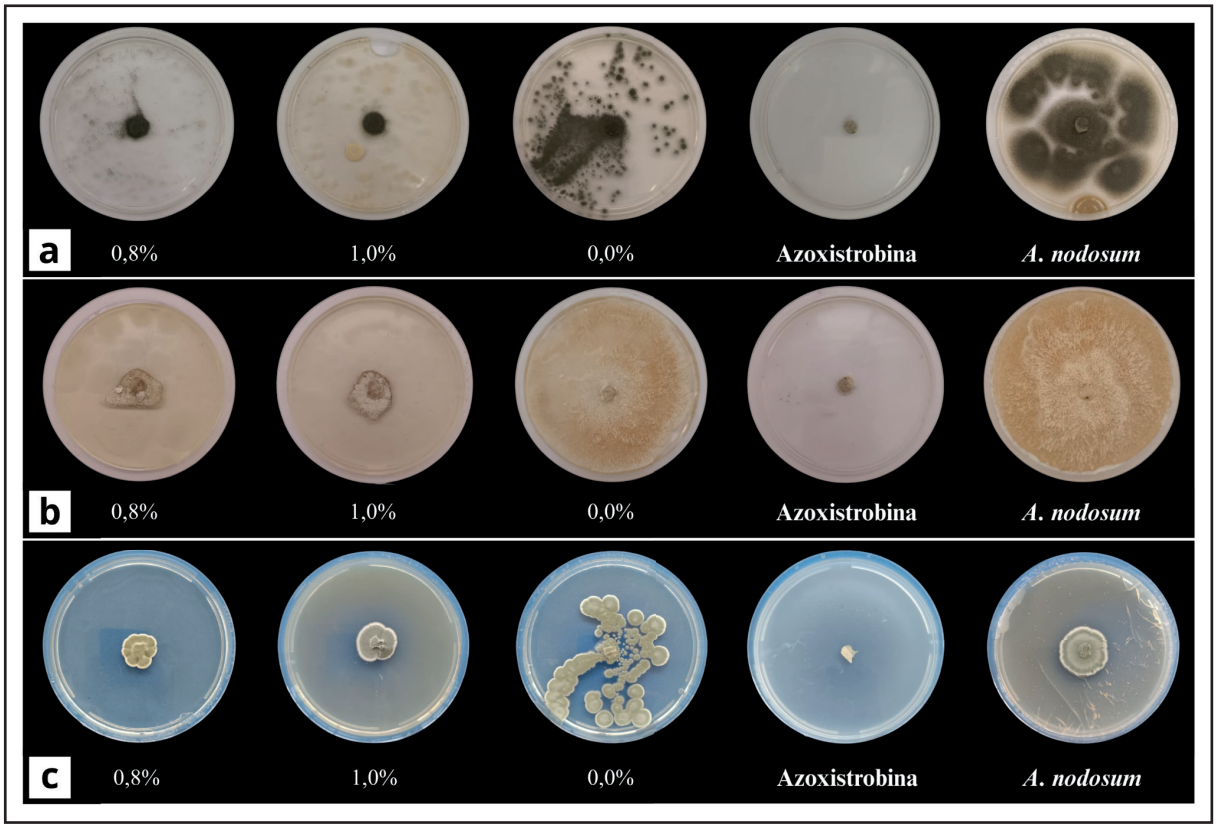
O experimento realizado resultou em 480 isolamentos, sendo 160 para teste de cada fungo com os extratos de *Ulva linza*, *Cladophoropsis membranacea*, *Rhizoclonium riparium*, *Bostrychia calliptera* e *Sargassum* sp. que foram selecionadas levando em consideração características como peso adequado e interesse para o estudo. Dessa forma, o experimento propiciou avaliação do crescimento micelial, esporulação, germinação e capacidade de fixação dos esporos fúngicos. Para fins de discussão, foram selecionados os resultados mais representativos da atividade antifúngica observada.

Análise de crescimento micelial

A análise do crescimento micelial revelou resultados promissores na maioria dos testes realizados. Observou-se uma redução significativa no desenvolvimento fúngico, evidenciando os efeitos dos compostos bioativos sobre o metabolismo dos microrganismos. Entre os extratos avaliados, destacaram-se o de *Sargassum* sp., com forte atividade frente aos gêneros *Aspergillus* e

Fusarium, e o extrato de *C. membranacea*, que apresentou elevado potencial inibitório contra o fungo *Penicillium* (Figura 5).

Figura 5 – Efeito dos extratos no crescimento micelial de fungos, comparando as concentrações dos tratamentos com maior atividade inibitória (0,8% e 1,0%) aos controles negativo (0,0% BDA) e positivos (Azoxistrobina e *A. nodosum*)

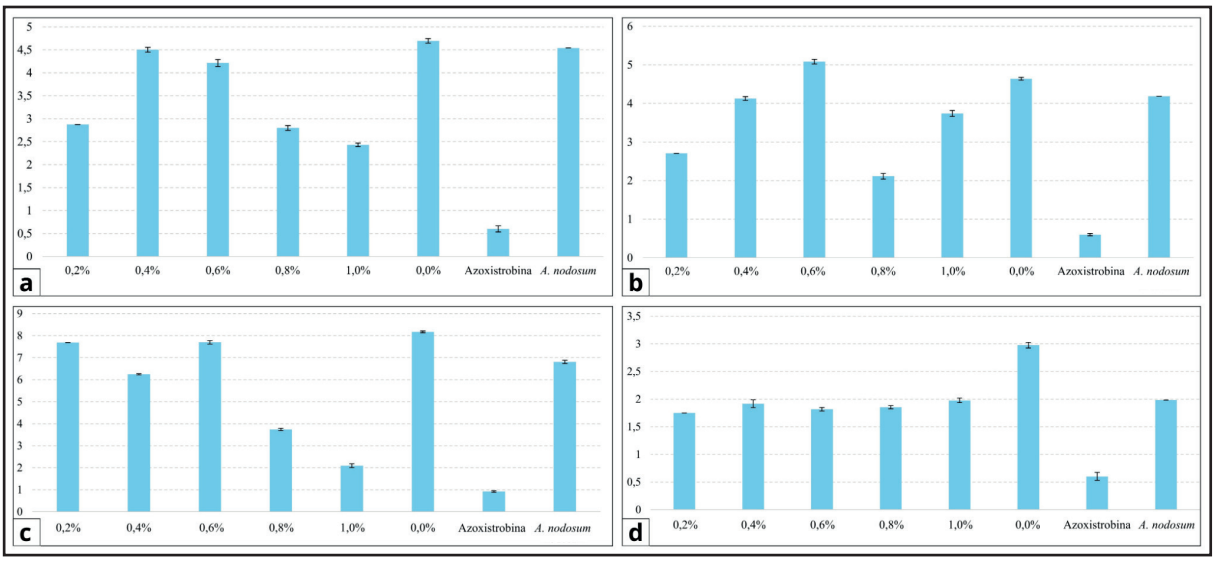


a) *Sargassum* sp. x *Aspergillus* sp. b) *Sargassum* sp. x *Fusarium* sp. c) *C. membranacea*. x *Penicillium* sp.

Fonte: Autor, 2025

A análise dos gráficos da Figura 6 demonstra as médias de crescimento micelial em comparação ao controle negativo (0,0%). Valores médios inferiores aos observados no controle indicam potencial ação dos extratos na inibição do crescimento fúngico. Entre os tratamentos avaliados para *Aspergillus*, os extratos que apresentaram maior potencial inibitório foram *Sargassum* sp., na concentração de 1,0%, com 48,2% de inibição, e *B. calliptera*, na concentração de 0,8%, alcançando 54,4% de inibição. Para *Fusarium*, o extrato de *Sargassum* sp. destacou-se por apresentar a maior porcentagem de inibição, atingindo 74,4% no tratamento de 1,0%. Já para *Penicillium*, o tratamento contendo extrato de *C. membranacea* na concentração de 0,2% apresentou sua máxima atividade com 41,2% de inibição do crescimento micelial.

Figura 6 – Crescimento micelial de fungos micotoxigênicos submetidos à ação de extratos de macroalgas marinhas



a) *Sargassum* sp. x *Aspergillus* sp. b) *B. calliptera* x *Aspergillus* sp. c) *Sargassum* sp. x *Fusarium* sp. d) *C. membranacea* x *Penicillium* sp.

Fonte: Autor, 2025

Diversos estudos vêm sendo realizados e já demonstram resultados importantes na inibição de crescimento micelial de fungos. A exemplo, no trabalho realizado por Naves; Mafra; Rezende (2021), foi testado o extrato a base da alga *Ascophyllum nodosum*, um dos controles positivos utilizado nesta pesquisa, nas concentrações de 0; 25; 50; 75 e 100 mL L-1 no fungo *Penicillium digitatum* onde as dosagens 75 e 100 mL L-1 foram as que mais inibiram o crescimento micelial do fungo comparado às demais dosagens.

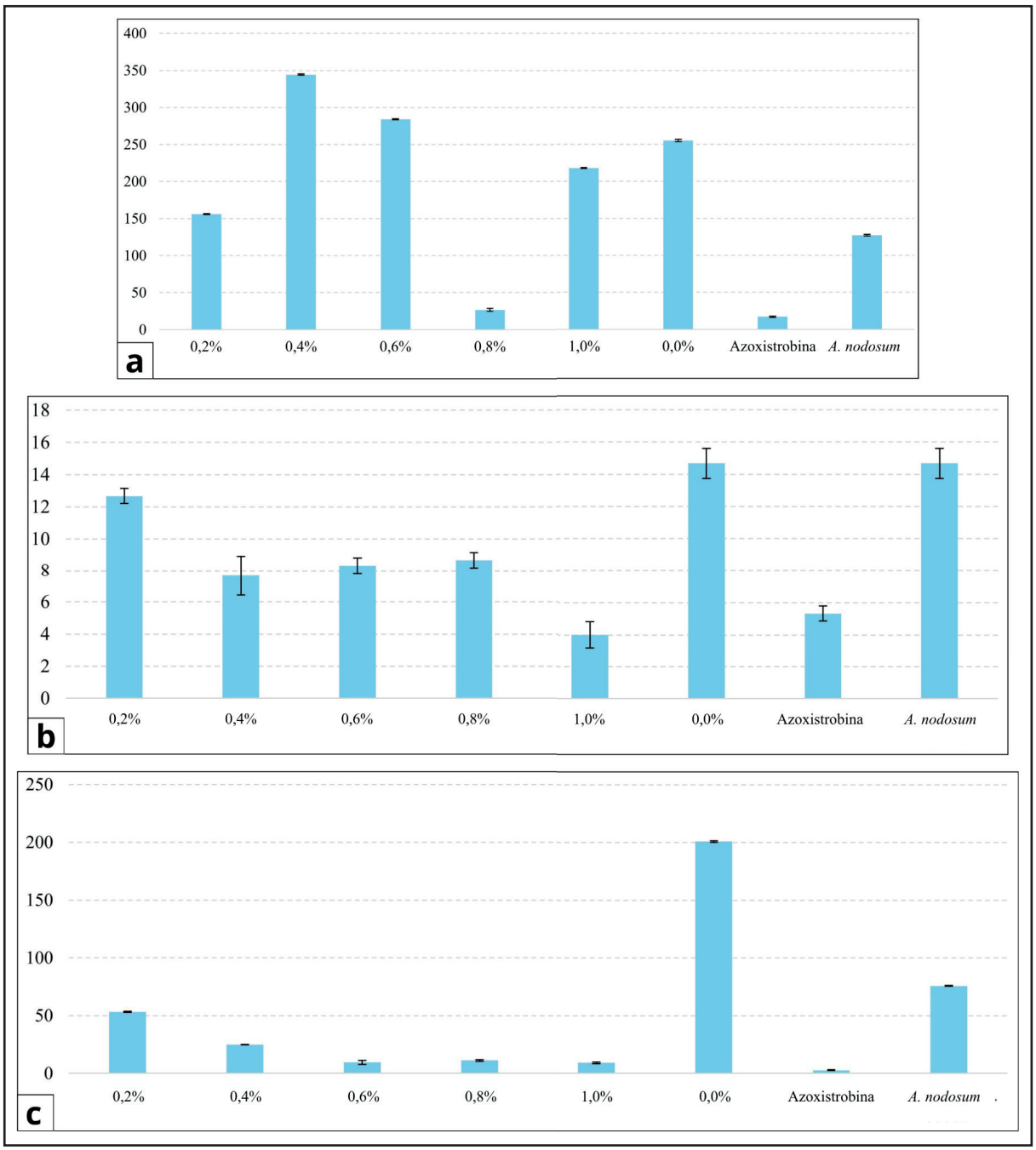
De mesmo modo, ensaios realizados por Toledo *et al*. (2023) obtiveram resultados inibitórios na ação de extratos de n-hexano, acetato de etila e etanólico da alga *Asparagopsis armata* contra o fungo *Botrytis cinerea* atingindo inibições de 55,30%, 69,51%, e 51,26% respectivamente.

Análise de esporulação

Quanto aos parâmetros de esporulação fúngica, todos os gráficos evidenciaram redução na taxa de esporulação, com a maioria dos tratamentos apresentando médias inferiores às observadas no controle negativo. A Figura 7 destaca os três fungos testados que apresentaram os resultados mais promissores, com médias abaixo do controle negativo.

Na avaliação da esporulação fúngica, observou-se que o extrato de *B. calliptera* foi o mais eficiente frente a *Aspergillus*, promovendo redução de 89,56% na produção de esporos na concentração de 0,8%. Para o fungo *Fusarium*, o melhor resultado foi obtido com o extrato de *C. membranacea* a 1,0%, apresentando 72,73% de inibição da esporulação. Em relação a *Penicillium*, o extrato de *Sargassum* sp. destacou-se por apresentar a maior atividade antifúngica, reduzindo a esporulação em 95,48% no tratamento de 1,0%.

Figura 7 – Avaliação da esporulação de fungos micotoxigênicos tratados com extratos de macroalgas marinhas



a) *B. calliptera* x *Aspergillus* sp. b) *C. membranacea* x *Fusarium* sp. c) *Sargassum* sp. x *Penicillium* sp.

Fonte: Autor, 2025

Esporos são células em estado latente, altamente resistentes ao estresse, produzidas por diversos organismos como estratégia de sobrevivência frente a condições ambientais desfavoráveis ou para facilitar sua dispersão em novos habitats. No caso dos fungos patogênicos, os esporos atuam como unidades infecciosas (Huang; Hull, 2017; Sephton-Clark; Voelz, 2018).

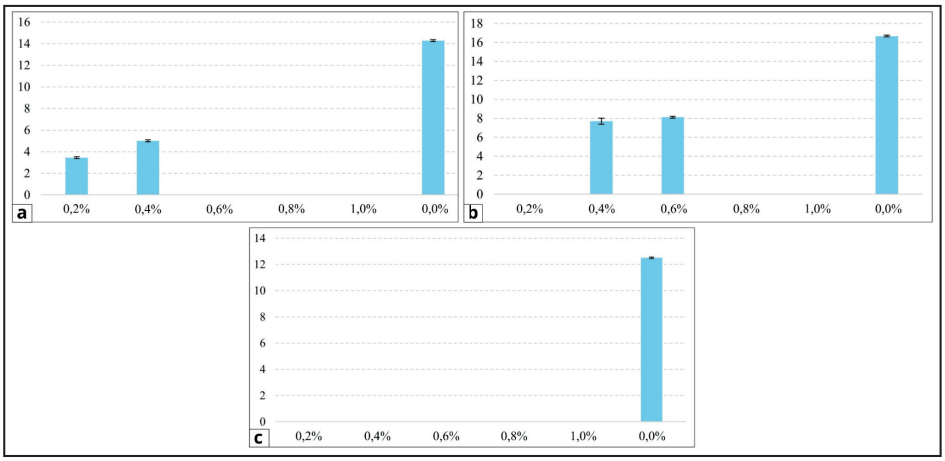
No estudo realizado por Melo *et al*. (2020), no qual foi testado um fertilizante à base da alga *Ascophyllum nodosum* sobre a morfologia do fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, observou-se que, apesar do desenvolvimento micelial do fungo, sua capacidade de esporulação foi significativamente menor em comparação ao controle.

Análise de germinação e fixação de conídios

Quanto à capacidade de germinação e fixação dos conídios, os resultados foram satisfatórios, com testes chegando a apresentar total redução para ambos os parâmetros.

Na avaliação da germinação, destacaram-se o extrato de *C. membranacea* frente aos fungos *Aspergillus* e *Penicillium*, e de *R. riparium* frente a *Fusarium*, nos quais se observou redução do potencial de germinação, alcançando ausência total de esporos germinados para a maioria dos tratamentos (Figura 8).

Figura 8 – Germinação de conídios de fungos micotoxigênicos sob efeito de extratos de macroalgas marinhas

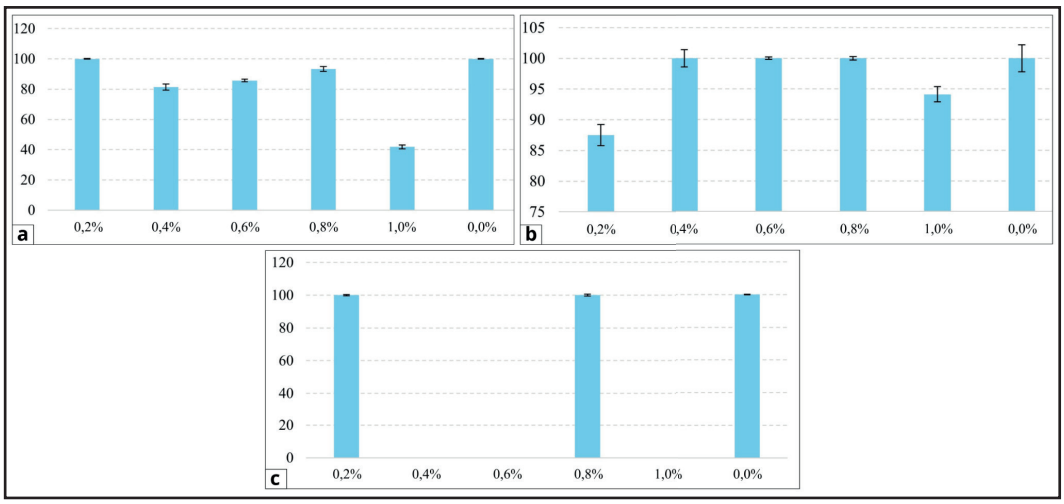


a) *C. membranacea* x *Aspergillus* sp. b) *R. riparium* x *Fusarium* sp. c) *C. membranacea* x *Penicillium* sp.

Fonte: Autor, 2025

Quanto à avaliação da fixação dos conídios, destaca-se o efeito do extrato de *R. riparium* frente ao fungo *Aspergillus*, sendo observada redução significativa da capacidade de fixação no tratamento a 1,0%. De maneira semelhante, o extrato obtido da alga *C. membranacea* apresentou bons resultados frente ao fungo *Fusarium* nos tratamentos 0,2% e 1,0%. Já o extrato de *Sargassum* sp. demonstrou elevada atividade frente ao fungo *Penicillium*, alcançando reduções de 100% nos tratamentos de 0,4%, 0,6% e 1,0% (Figura 9).

Figura 9 – Fixação de conídios de fungos micotoxigênicos sob efeito de extratos de macroalgas marinhas



a) *R. riparium* x *Aspergillus* sp. b) *C. membranacea* x *Fusarium* sp. c) *Sargassum* sp. x *Penicillium* sp.

Fonte: Autor, 2025

Os resultados desta pesquisa corroboram com evidências anteriores de que os extratos de algas contêm agentes com potencial para o controle biológico. Essa ação ocorre não apenas pela inibição ou redução do crescimento das hifas vegetativas, ou por meio de enzimas líticas que as atacam, mas também pela capacidade de impedir a germinação dos conídios, caracterizando uma atividade micostática. Além disso, esses compostos provocam a vacuolização e interferem diretamente no funcionamento das células fúngicas (Kumari *et al.*, 2017; Tyśkiewicz *et al*., 2019).

Pesquisas demonstram que as macroalgas produzem diversos compostos bioativos naturais com atividade antimicrobiana, incluindo polissacarídeos, ácidos graxos poli-insaturados, compostos fenólicos e carotenoides (Pérez *et al*., 2016). Entre esses metabólitos, destacam-se os compostos fenólicos, que atuam como barreira de proteção contra a radiação UV e apresentam ampla gama de bioatividades, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antialérgicas, antivirais, antitrombóticas, hepatoprotetoras e antimicrobianas (Kumar; Goel, 2019).

Em estudo realizado por Peres *et al*. (2012), foi relatada pela primeira vez a atividade antifúngica de extratos de algas marinhas contra *Colletotrichum lagenarium*, um fungo de importância agrícola. A atividade antifúngica foi investigada em dez extratos de algas marinhas, comparando com *C. lagenarium* e *Aspergillus flavus*. A presença de terpenos em todos os extratos foi confirmada por cromatografia em camada delgada, enquanto compostos fenólicos foram identificados apenas nos extratos de *Pelvetia canaliculata*, *Ascophyllum nodosum* e *Sargassum muticum*. No estudo químico por cromatografia em coluna, foram identificados os terpenos neofitadieno, cartilagineol, obtusol, elatol e o éster etil hexadecanoato no extrato de *Laurencia dendroidea*. Dessa forma, a identificação desses metabólitos representa uma etapa fundamental para a compreensão do potencial biotecnológico das algas, reforçando a importância da continuidade de estudos voltados ao isolamento, caracterização e avaliação biológica desses compostos.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram identificar as espécies de macroalgas presentes na costa maranhense, onde a partir dessas, foram produzidos extratos hidroalcoólicos, que serviram como base para os testes de atividade antifúngica.

Os ensaios realizados demonstraram que os extratos algais possuem efeito sobre aspectos morfológicos de fungos micotoxigênicos isolados de ostras, com destaque para os gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. Esses resultados indicam o potencial biotecnológico das macroalgas marinhas como agentes naturais no controle de fungos toxigênicos, reforçando sua relevância para aplicações futuras em saúde ambiental e segurança alimentar.

A realização de pesquisas com extratos de algas marinhas é de grande importância, pois fornece alternativas naturais para o controle de fungos patogênicos, contribuindo para práticas mais sustentáveis em áreas como agricultura, aquicultura e segurança alimentar. Além de valorizar os recursos marinhos locais, como os encontrados no litoral maranhense, esse tipo de estudo fortalece o uso da biodiversidade como ferramenta biotecnológica. Diante dos resultados promissores, é essencial incentivar a continuidade dessas investigações, ampliando o conhecimento científico e explorando novas aplicações práticas para os extratos a base de algas.

AGRADECIMENTOS

À UEMA e ao MIPABIO, pela infraestrutura cedida e pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica que viabilizou a execução deste estudo.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ilka Márcia Serra e coorientador Prof. Dr. Thiago Anchieta de Melo, pelo direcionamento técnico e suporte ao longo do projeto.

Aos colegas de laboratório e colaboradores, pelo auxílio na condução dos ensaios microbiológicos.

À minha família e amigos, pelo apoio durante o período de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Bennett, J.W. *et al*. Mycotoxins. **Clinical microbiology reviews**. 16(3): 497-516, 2003.

Costas, J. *et al*. A comprehensive review of the nutraceutical and therapeutic applications of red eeaweeds (Rhodophyta). **Life**, v. 10, p. 1 - 23, 2020.

De Paula, É. J.. O gênero *Sargassum* C. Ag. (Phaeophyta-Fucales) no litoral do Estado de São Paulo, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, p. 65-118, 1988.

Huang, M.; Hull, C. M. Sporulation: how to survive on planet Earth (and beyond). **Current genetics**, v. 63, n. 5, p. 831-838, 2017.

Kamer, K.; Fong, P. A fluctuating salinity regime mitigates the negative effects of reduced salinity on the estuarine macroalga, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 254, 53–69, 2000.

Kumar, N.; Goel, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology reports**, v. 24, p. e00370, 2019.

Kumari, S. S.; Kumar, V. D.; Priyanka, B. Antifungal efficacy of seaweed extracts against fungal pathogen of silkworm, Bombyx mori L. **International Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 123–129, 2017.

Marin, S.; Ramos, A. J. Molds and mycotoxins in nuts. In: Kotzekidou, P. Food hygiene and toxicology in ready-to-eat foods. **Cambridge, Massachusetts: Academic Press**. Cap. 17, p. 295-312, 20216.

Melo, T. A. **Efeito do extrato da alga marinha** *Ascophyllum nodosum* **e do fosfito de potássio na morfofisiologia do fungo** *Colletotrichum gloeosporioides*, **na indução de resistência em mangas "Tommy Atkins" contra a antracnose e em características físicas e químicas desses frutos**. 2017, 149 f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2017.

Melo, T. A. *et al*. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract effect on morphology and cellulolytic ability of the fungus *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e4079119913-e4079119913, 2020.

Naves, M. E. F.; Mafra, N. M.; Rezende, D. C. Extrato de alga no manejo do bolor verde em pós-colheita de citros. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e32710917939-e32710917939, 2021.

Oliveira, M. R. **Moluscos bivalves em Portugal: composição química e metais contaminantes**. 2012. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/8466/1/Oliveira_2012.pdf. Acesso em 15 de Abril de 2023.

Pereira, L.; Ismail, G.; Abomohr, A. Algal biotechnology: Current trends and nanotechnology prospective. **Frontiers in Marine Science**, v .10, p. 11811665, 2023.

Peres, J. C. F. *et al*. Evaluation of antifungal activity of seaweed extracts. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, p. 294-299, 2012.

Pérez, M. J.; Falqué, E.; Domínguez, H. Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. **Marine drugs**, v. 14, n. 3, p. 52, 2016.

Post, E. 1936. Systematische und pflanzengeographische Notizen zur *Bostrychia-Caloglossa* Assoziation. **Revue Algologie.** 9: 1–84, 2000.

Patra, J. K. *et al*. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of seaweed (*Sargassum* sp.) extract: A study on inhibition of Glutathione-S-Transferase activity. **Turkish Journal of Biology**, v. 32, n. 2, p. 119-125, 2008.

Sephton-Clark, P. C. S.; Voelz, K. Spore germination of pathogenic filamentous fungi. In: **Advances in applied microbiology**. Academic Press. p. 117-157, 2018.

Széchy, M. T. M.; De Paula, É. J. Padrões estruturais quantitativos de bancos de *Sargassum* (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** , v. 23, p. 121-132, 2000.

Toledo, E. *et al*. Seaweed extracts to control postharvest phytopathogenic fungi in Rocha pear. **Journal of Fungi**, Basel, v. 9, n. 2, p. 269, 17 fev, 2023.

Tyskiewicz, K. *et al*. Antifungal properties of *Fucus vesiculosus* L. supercritical fluid extract against Fusarium culmorum and Fusarium oxysporum. **Molecules**, v. 24, n. 19, p. 3518, 2019.

Yende, S. R.; Harle, U. N.; Chaugule, B. B. Therapeutic potential and health benefits of *Sargassum* species. **Pharmacognosy reviews**, v. 8, n. 15, p. 1, 2014.