

Efeitos do biofertilizante de *Kappaphycus alvarezii* em cultivos agrícolas: uma revisão sistemática (2020-2024)

Aline Nunes¹, Gadiel Zilto Azevedo², Marcelo Maraschin² e Giuseppina Pace Pereira Lima¹

Resumo – O objetivo desta revisão foi analisar os efeitos do extrato de *Kappaphycus alvarezii* como biofertilizante de espécies de interesse agrícola, considerando artigos científicos publicados entre 2020 e 2024. A revisão sistemática seguiu os critérios Prisma e foi realizada na base de dados do Portal de Periódicos da Capes. Dos 480 artigos inicialmente identificados, 25 abordavam o uso de *K. alvarezii* com foco na área agrônômica. Entre as culturas avaliadas, destacaram-se o milho, arroz e tomate, totalizando 72% dos estudos. Constatou-se uma variação importante nos resultados em relação às concentrações dos extratos testados, i.e., entre 0,1% a 10% (v/v), indicando que a eficácia do biofertilizante pode ser dose-dependente. Além disso, a forma de obtenção do extrato também pode desempenhar um papel importante. No entanto, de forma geral, os estudos demonstram que o extrato algal não apenas estimula o crescimento e a produtividade das plantas, mas também melhora sua resistência a estresses. Ademais, influencia positivamente os mecanismos moleculares, a sanidade vegetal e o microbioma do solo, contribuindo para sistemas de produção com menor impacto ambiental. Assim, o biofertilizante de *K. alvarezii* pode ser uma alternativa viável para a agricultura sustentável.

Palavras-chave: Alga vermelha; Rhodophyta; Extrato aquoso.

Effects of the *Kappaphycus alvarezii* biostimulant in crop species: a systematic review (2020-2024)

Abstract – This review aimed to analyze the effects of *Kappaphycus alvarezii* extract as a biofertilizer for species of agricultural interest, considering scientific articles published between 2020 and 2024. The systematic review followed Prisma criteria and was conducted in the Capes Periodicals Portal database. Of the 480 articles initially identified, 25 addressed the use of *K. alvarezii* with a focus on the agronomic area. Among the evaluated crops, corn, rice, and tomato stood out, totaling 72% of the studies. A significant variation in results was found concerning the concentrations of the tested extracts, i.e., between 0.1% and 10% (v/v), indicating that the efficacy of the biofertilizer may be dose-dependent. Additionally, the method of application may also play an important role. However, in general, the studies demonstrate that the algal extract not only stimulates plant growth and productivity but also enhances their resistance to stresses. Furthermore, it positively influences molecular mechanisms, plant health, and the soil microbiome, contributing to production systems with lower environmental impact. Thus, the biofertilizer from *K. alvarezii* may be a viable alternative for sustainable agriculture.

Keywords: Red seaweed; Rhodophyta; Aqueous extract.

Introdução

A agricultura sustentável, essencial para garantir a segurança alimentar e a preservação dos recursos naturais, busca equilibrar a produção agrícola com a proteção do ambiente. Essa abordagem fornece soluções à produção de alimentos e outros produtos agrícolas a um baixo custo ambiental, sem comprometer a acessibilidade e a disponibilidade de alimentos, além de assegurar o bem-estar das gerações futuras (Muhie, 2022).

Nesse sentido, os biofertilizantes, também conhecidos como bioestimu-

lantes, conforme a legislação de cada país, emergem como uma solução promissora para promover o crescimento e a produção de espécies agrícolas e melhorar a eficiência de uso dos recursos. Esses produtos naturais, incluindo extratos de macroalgas, têm demonstrado eficácia em diversas culturas agrícolas. Além de melhorar o desenvolvimento das plantas, os biofertilizantes podem aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, contribuindo à sustentabilidade agrícola (Munaro *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2025).

Dentre as macroalgas fontes de compostos bioativos, destaca-se a es-

pécie *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta), uma alga vermelha amplamente cultivada em diversas partes do mundo. Sua importância deve-se, em grande parte, à extração de κ-carragenana, um polissacarídeo amplamente utilizado na indústria alimentícia e farmacêutica (Udo *et al.*, 2023). Além disso, essa espécie apresenta uma rica composição nutricional, incluindo aminoácidos, proteínas, minerais, lipídios, carotenoides, esteroides, hormônios, fenóis e flavonoides. Essa diversidade de compostos bioativos tem despertado interesse em pesquisas que investigam seu potencial como biofertilizante para diversas cul-

Submetido em 08/08/2025. Aceito para publicação em 21/10/2025.

Editor - Editora de seção: Luiz Augusto Martins Peruch/ Epagri - Patrícia Heleno de Azevedo/ UFMG

¹ Unesp, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP. E-mail: alinenunes_bio@hotmail.com; pace.lima@unesp.br

² UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, SC. E-mail: gad.azevedo@gmail.com; m2@cca.ufsc.br

turas agrícolas (Pramanick *et al.*, 2020; Garai *et al.*, 2021; Vaghela *et al.*, 2023a; Nivetha *et al.*, 2024).

Dessa maneira, esta revisão sistemática objetiva descrever o estado da arte relativo aos efeitos do extrato de *K. alvarezii* como biofertilizante de espécies de interesse agrícola, considerando as publicações realizadas no período entre 2020 e 2024.

Material e métodos

Esta revisão sistemática seguiu os critérios Prisma (<https://www.prismastatement.org/>) e considerou o conjunto de dados disponível no Portal de Periódicos da Capes (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>), que possui 390 bases indexadas, albergando mais de 39.000 manuscritos completos (Nunes *et al.*, 2025). Como descritor utilizou-se o nome científico da macroalga, “*Kappaphycus alvarezii*”, com filtro para o período de 2020 a 2024.

Dois revisores (A.N. e G.Z.A.) realizaram a revisão da literatura de forma independente, reduzindo qualquer influência de viés na seleção dos artigos. Os dados foram extraídos integralmente dos periódicos da Capes para análise posterior, independentemente de serem ou não considerados nos resultados (n = 480). Os dados foram tabulados em uma planilha do Microsoft Excel, inserindo o título do artigo, o ano de publicação, a área e o objetivo do estudo.

Foram considerados apenas artigos em inglês e revisados por pares que estudaram *K. alvarezii* como bioinsumo na agricultura. Na tabulação dos resultados, identificou-se que 6 artigos não se encontravam na língua inglesa, 56 eram duplicados e 1 foi retirado a pedido dos autores, resultando em um total de 417 manuscritos para análise subsequente. Destes, 391 foram excluídos com base nos seguintes critérios: artigos de revisão (n = 52), estudos que abordavam o cultivo de *K. alvarezii* juntamente com outras algas (n = 103), pesquisas em áreas distintas, e.g., alimentação, saúde ou caracterização química (n = 216), e artigos em que *K. alvarezii* foi apenas citada textualmente (n = 21). Assim, fo-

ram selecionados 25 artigos que tratavam do uso de *K. alvarezii* ou de produtos que contêm a alga com foco na área agrônômica (Figura 1).

Resultados

Dos 25 artigos selecionados, constatou-se que os maiores números de publicações ocorreram em 2020, 2023 e 2024 (n = 6 em cada ano), seguidos de 2021 (n = 4) e 2022 (n = 3). Dentre as espécies agrícolas com maior número de pesquisas destacaram-se milho (n = 7, *Zea mays*), arroz (n = 6, *Oryza sativa*), tomate (n = 5, *Solanum lycopersicum*), batata (n = 2, *Solanum tuberosum*) e feijão (n = 2, *Phaseolus vulgaris* e *Vigna radiata*). Os demais estudos concentraram-se em outras espécies, com apenas uma pesquisa para cada cultivo, incluindo arábida (*Arabidopsis thaliana*), ervilha (*Pisum sativum*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), gerânio (*Pelargonium graveolens*), kiwi (*Actinidia deliciosa*), mostarda (*Brassica juncea*), orquí-

dea (*Epidendrum secundum*) e pepino (*Cucumis sativus*). Vale ressaltar que o número total de cultivos (n = 30) excede o número de pesquisas (n = 25), uma vez que três estudos abordaram mais de uma espécie agrícola.

Dentre os estudos sobre milho (*Zea mays*), Kumar *et al.* (2020) relataram que plantas tratadas com extrato de *K. alvarezii* (2,5% - v/v) sob condições de déficit hídrico expressaram diferencialmente genes relacionados a proteínas de sinalização, transporte, estresse e de vias metabólicas (como de carboidratos, de metabólicos secundários, lipídico e hormonal). Também é descrita a regulação negativa de genes ligados à degradação de amido e sacarose, indicando o impacto do uso do biofertilizante algal sobre o metabolismo energético de *Zea mays*. Trivedi *et al.* (2021a) identificaram 380 genes *up*-regulados e 631 *down*-regulados após a aplicação do extrato de *K. alvarezii* (10% - v/v) no estágio V5, em condições de estresse hídrico (déficit). Nos tecidos foliares, genes

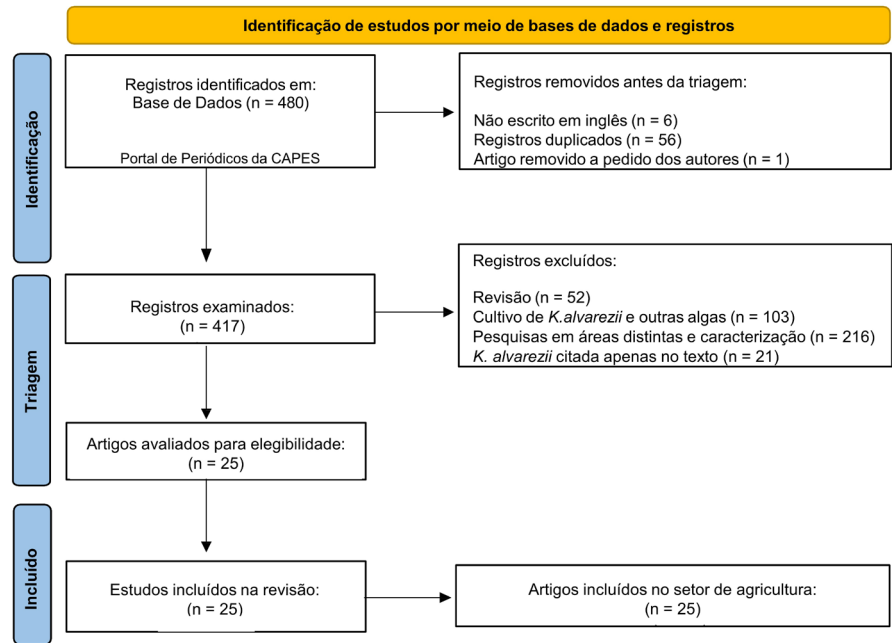


Figura 1. Fluxograma baseado no modelo Prisma com o resultado da busca realizada na base de dados do Portal de Periódicos da Capes (2020-2024) utilizando a palavra-chave “*Kappaphycus alvarezii*”
Figure 1. Flowchart based on the Prisma model showing the results of the search conducted in the Capes Journals Portal database (2020-2024) using the keyword “*Kappaphycus alvarezii*”
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)
Source: Elaborated by the authors (2025)

relacionados ao transporte de nitrato, fotossíntese e biossíntese de glicogênio foram *up*-regulados, enquanto genes associados ao catabolismo de polissacarídeos e proteínas foram *down*-regulados. Adicionalmente, aqueles autores identificaram aumento na diversidade bacteriana do solo após a aplicação de extratos de *K. alvarezii* (5% e 10% - v/v) em milho, com atividades enzimáticas elevadas e melhorias no rendimento das plantas (Trivedi *et al.*, 2021b). Plantas sob estresse hídrico apresentaram maior rendimento de grãos quando tratadas com extratos de *K. alvarezii* (10%) nos estágios V5 e V15, além de níveis de atividade de enzimas antioxidantes superiores comparativamente ao controle (Trivedi *et al.*, 2022).

Vaghela *et al.* (2023a) descreveram que a aplicação foliar do biofertilizante de *K. alvarezii* (Rhodophyta) e *Sargassum wightii* (Phaeophyceae), isoladamente ou em combinação (0,35% - v/v) em milho, proporcionou melhorias no crescimento e rendimento da cultura. Corroborando esse estudo, Nivetha *et al.* (2024) relataram que a aplicação foliar do produto AgroGain/LBS6 (1mL/L), derivado de *K. alvarezii*, aumentou o crescimento do milho, área foliar, altura total e pesos frescos e secos das plantas. O LBS6 também promoveu o acúmulo de clorofila a e b, carotenoides, açúcares solúveis, aminoácidos, flavonoides e compostos fenólicos, além de incrementar a densidade populacional de bactérias e fungos no ambiente da rizosfera. Por fim, Gandhi *et al.* (2024) investigaram a eficácia do extrato de *K. alvarezii* no milho. A aplicação do extrato, especialmente a 7,5% (v/v), promoveu maior absorção de nutrientes do solo, com reflexos positivos sobre o crescimento das plantas e qualidade dos grãos, contribuindo para um acréscimo de produtividade de 19%.

No que se refere aos estudos com arroz (*Oryza sativa*), Pramanick *et al.* (2020) avaliaram a eficácia do extrato de *K. alvarezii* em um sistema de produção baseado na rotação das culturas de batata (*Solanum tuberosum*) e feijão-mungo (*Vigna radiata*). O tratamento das plantas de arroz com o bioinsumo

a 7,5% associado à dose de fertilizantes recomendada melhorou atributos de qualidade física, como descasque e moagem, além de aumentar a produtividade do sistema. Roy *et al.* (2022) investigaram duas formulações comerciais de *K. alvarezii* (Tomatough® – 4mL/L e AgFort® – 1mL/L) aplicadas em *Ara-bidopsis thaliana* (Plantae, Magnoliophyta) como biocidas contra *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas oryzae* em arroz. As aplicações foliares do bioinsumo algal estimularam as respostas de defesa no arroz, evidenciadas pelo aumento nas concentrações de ácido salicílico, ácido jasmônico e citocinina, resultando em uma redução significativa na incidência da mancha bacteriana em arroz. Por sua vez, Deb e Singh (2022) descrevem que a aplicação foliar do extrato de *K. alvarezii* (7,5% - v/v) promoveu aumento no crescimento e rendimento do arroz. De forma similar, Castro *et al.* (2023) relataram que o biofertilizante algal, na concentração de 10%, incrementou a massa seca de raízes e folhas, além da área, diâmetro e número de raízes. Os autores observaram, adicionalmente, que o tratamento das plantas com menores concentrações do extrato também resultaram em efeitos de interesse, a exemplo do incremento na massa fresca e seca das raízes (3% - v/v) e da área, comprimento, número e volume das raízes (2% - /v/v), além de promover a mobilização intensa de K⁺ nos tecidos foliares, melhorando a eficiência de absorção daquele nutriente.

Castro *et al.* (2024a) demonstraram que extratos de *K. alvarezii* (2% e 10% - v/v), aplicados por via foliar e radicularmente, melhoraram a eficiência fotosintética, a absorção de N e K e a adaptação ao estresse em plantas de arroz, com consequente incremento do desenvolvimento radicular e de biomassa de parte aérea. Em estudo similar, Castro *et al.* (2024b) relataram incrementos de 7,1% e 19,04% nas massas secas de raízes e folhas, respectivamente, com a aplicação foliar de *K. alvarezii* (2% - v/v) enriquecida com ácido fúlvico (80mg/L). A aplicação desse produto misto elevou em aproximadamente 50% o teor de N nas bainhas das plantas, enquanto a

concentração de K foi incrementada em 14%.

Em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tratadas com o extrato de *K. alvarezii* (0,3% - v/v) detectou-se o aumento da atividade de enzimas associadas à resposta de defesa (e.g., peroxidase e β-1,3-glucanase) contra o *Fusarium oxysporum* (Melo *et al.*, 2020). Por sua vez, Mani *et al.* (2021) demonstraram que κ-carragenana extraída de *K. alvarezii* (0,3% - v/v) propiciou maior resistência ao patógeno causador da mancha foliar do tomateiro (i.e., *Septoria lycopersici*), via estímulo à atividade de peroxidase e a consequente produção de H₂O₂, além de regular positivamente 11 proteínas associadas a respostas de defesa.

Vaghela *et al.* (2023b) demonstraram que a aplicação foliar de extratos aquosos de *K. alvarezii* ou *S. wightii* elevaram a produção de tomates entre 20 e 31% comparativamente às plantas controle. Banu, Ramani e Murugan (2020) extraíram um gel após ferver as algas *K. alvarezii* e *Sargassum tenerrium* (Phaeophyceae), obtendo-se um extrato gelatinoso que foi usado para revestir os tomates. Dentre as concentrações testadas (1%, 2% e 3%), o extrato a 3% mostrou-se mais eficaz na manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento, além de apresentar maior atividade antibacteriana.

Layek *et al.* (2023), por sua vez, observaram que produtos comerciais de *K. alvarezii* (10%), em conjunto com a adubação recomendada aos cultivos de feijão francês (*Phaseolus vulgaris*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e tomates, aumentaram significativamente o crescimento e a produtividade, além dos conteúdos de ácido ascórbico e lipopleno nos frutos de tomate.

Em plantas de batata, Garai *et al.* (2021) observaram incrementos no crescimento, produtividade e propriedades físico-químicas dos tubérculos com o uso do extrato de *K. alvarezii* a 10% (v/v).

Shukla *et al.* (2023) demonstraram que o tratamento por sete dias com o produto comercial AgroGain/LBS6 (1mL/L) gerou incremento de 29,2%

na área foliar de cotilédones de pepino (*Cucumis sativus*) comparativamente ao controle, maior atividade de amilase e a consequente conversão de amido em sacarose. Além disso, a aplicação foliar do bioinsumo em sistema hidropônico estimulou o crescimento das plantas. Em outro estudo, Shukla *et al.* (2024) relataram que a administração desse mesmo produto comercial por via radicular (1mL/L) incrementou em ganhos significativos de crescimento de ervilha (*Pisum sativum*), tanto em plantas cultivadas em condições ótimas quanto naquelas submetidas a déficit de nitrogênio. Além disso, ao utilizar o produto à base de *K. alvarezii*, observou-se a indução da floração e um aumento nos teores de nitrogênio, nitrato e amônia, além de elevações nos níveis de clorofila, em plantas que estavam sob deficiência de nitrogênio. A irrigação com LBS6 também regulou a eficiência fotossintética, modulando positivamente os processos de transporte de elétrons e prótons nas membranas tilacoidais.

Yogendra *et al.* (2024) relataram que a aplicação do extrato de *K. alvarezii* (15% - v/v) em associação com a dose recomendada de fertilizantes químicos em cultivos de gerânio (*Pelargonium graveolens*) resultou em aumento significativo da altura das plantas, de biomassa de parte aérea (23,14%) e de rendimento de óleo essencial (23,87%).

No que tange ao efeito do extrato algal sobre a multiplicação de espécies hortícolas, Dutta *et al.* (2023) demonstraram que estacas de kiwi (*Actinidia deliciosa*) tratadas com solução a 10% (v/v) do bioinsumo apresentaram ganhos significativos na porcentagem de enraizamento, teores de clorofilas, carotenoides, carboidratos totais e compostos fenólicos em relação ao controle. Por sua vez, Amatuzzi *et al.* (2020) observaram estímulo ao enraizamento e ganho de massa de parte aérea da orquídea *Epidendrum secundum*, após o tratamento com o extrato aquoso de *K. alvarezii* na concentração de 50mg/L⁻¹. Por fim, Yusuf *et al.* (2020) observaram que o extrato de *K. alvarezii* (50g/L) afetou positivamente o crescimento e a produção de folhas de mostarda (*Brassica juncea*).

Discussão

Os estudos revisados destacam a crescente relevância de *K. alvarezii* como fonte de extrato aquoso com reconhecidas propriedades estimulantes do crescimento e produção vegetal, para além de promover maior resistência de plantas a fatores de estresse (a) biótico. No entanto, ressalta-se que as metodologias descritas nos estudos são distintas, um fato que dificulta a comparabilidade dos dados e resultados. Por exemplo, alguns estudos utilizam concentrações de 7,5% a 10%, enquanto outros exploram doses mais baixas (0,1%-3%), o que levanta questões sobre a eficácia do bioinsumo em distintas espécies e sob determinadas condições de cultivo.

Para as culturas mais estudadas, especialmente milho (n = 7), arroz (n = 6) e tomate (n = 5), observa-se uma ampla gama de concentrações do biofertilizante de *K. alvarezii*. No caso do milho e do arroz, as concentrações de extratos variaram entre 0,1% e 10%, e no tomate de 0,3% a 10%. Essa diversidade de dosagens indica que a resposta das plantas pode ser altamente dose-dependente, variando não apenas em função da dose aplicada, mas também em decorrência do estágio fenológico, cultivar e condições edafoclimáticas, por exemplo.

Além disso, cabe destacar que a forma de obtenção do extrato pode influenciar as respostas das plantas, uma vez que o extrato pode ser obtido de diferentes maneiras. Por exemplo, pode ser produzido através de processamento simples, como trituração e filtragem (Deb; Singh, 2022), pelo descongelamento da biomassa algal (Castro *et al.*, 2023), ou por meio de hidrolisados de frações sólidas (Shukla *et al.*, 2023). Assim, esse fator também deve ser considerado para determinação de concentrações ótimas para uso do biofertilizante.

De acordo com Trivedi *et al.* (2023), os resultados podem ser melhor compreendidos por meio de investigações sobre os mecanismos de ação do extrato algal. É sabido que o extrato de *K. alvarezii* tem efeito regulatório de genes de defesa da planta, aumentando a

resistência desta a patógenos e fatores de estresse. Além disso, ele ativa genes relacionados ao desenvolvimento radicular e à sinalização hormonal (e.g., ácido giberélico e auxinas), promovendo tanto o crescimento das raízes quanto a fotossíntese. O extrato também auxilia na degradação de amido e sacarose, contribuindo ao metabolismo energético vegetal. Por fim, atua também na modulação de comunidades bacterianas do solo, criando um ambiente mais benéfico às plantas, por exemplo, através da otimização da absorção de macro e micronutrientes.

Um dos fatores que pode estar relacionado aos resultados observados na aplicação do extrato de *K. alvarezii* em plantas é a bioatividade da carragenana. As carragenanas são polissacarídeos sulfatados extraídos de algas vermelhas, e têm sido amplamente estudadas devido às suas propriedades funcionais e bioativas. Esses compostos podem promover o crescimento vegetal e melhorar a resistência das plantas a estresses bióticos. Com base em todo esse contexto, torna-se evidente que os estudos devem concentrar-se nos mecanismos de ação do extrato de *K. alvarezii* para elucidar as respostas de plantas ao bioinsumo a nível molecular. Além disso, é fundamental que as pesquisas expandam o número de espécies vegetais analisadas. Tal abordagem não só ampliará o conhecimento sobre a eficácia do biofertilizante em diferentes contextos agronômicos, mas contribuirá à identificação das espécies mais responsivas àquele produto biotecnológico.

Ademais, é importante ressaltar que, apesar dos benefícios agronômicos da *K. alvarezii* como biofertilizante, dois aspectos devem ser considerados para a sua efetiva adoção: o acesso e a aceitação dos agricultores, que podem ser limitados por falta de informação, a análise do potencial custo-benefício do uso desta tecnologia e as eventuais melhorias na saúde do solo. Pesquisas que abordem essas questões são essenciais para promover a utilização desse biofertilizante de maneira geral na agricultura (Kholssi *et al.*, 2022; Hermans, 2024).

Conclusão

A revisão sistemática das publicações sobre os efeitos do biofertilizante de *K. alvarezii* na agricultura no período 2020-2024 evidencia seu potencial na promoção do crescimento, incrementos de produtividade e resistência das plantas a fatores de estresse. Os estudos analisados evidenciam que o extrato algal não apenas melhora os parâmetros agronômicos, mas também influencia os mecanismos moleculares que favorecem a sanidade vegetal e o microbioma do solo, aspectos relevantes à adoção de sistemas de produção de menor impacto ambiental.

Contribuição dos autores

Aline Nunes: Escrita – primeira redação, Validação, Investigação, Análise formal, Financiamento. **Gadiel Zilto Azevedo:** Escrita – revisão e edição, Análise formal. **Marcelo Maraschin:** Escrita – revisão e edição. **Giuseppina Pace Pereira Lima:** Administração do projeto, Financiamento, Escrita – revisão e edição.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram não haver nenhum conflito de interesse.

Dados de pesquisa

Não foram gerados dados de pesquisa para a redação deste trabalho.

Financiamento

A pesquisa foi apoiada pelas bolsas 2023/03886-1 (A.N.) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); pelos auxílios 311719/2023-6 (G.P.P.L.) e 405949/2022-7 e 306495/2023-6 (M.M.), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil (CNPq); e pelo auxílio 2024TR002499 (M.M.).

Referências

AMATUZZI, J. C. A.; VIEIRA, L. N.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; NOSEDA, M. D.; FRAGA, H. P. F. Improved *in vitro* development of *Epidendrum secundum* (Orchidaceae) by using aqueous extract of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 8, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03129-6>.

BANU A, T.; RAMANI P, S.; MURUGAN, A. Effect of seaweed coating on quality characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill). **Food Science and Human Wellness**, v. 9, n. 2, p. 176–183, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.03.002>.

CASTRO, T. A. V. T.; TORCHIA, D. F. O.; LIMA, A. C. S.; LOPES, S. A.; CANTARINO, R. E.; RODRIGUES, N. F.; PEREIRA, E. G.; GOMES, V. O. R.; SANTOS, L. A.; VENDRAMINI, A. L. A.; GARCÍA, A. C. Conversion of *Kappaphycus alvarezii* macroalgae biomass enriched with fulvic acid into a foliar biostimulant for plant (*Oryza sativa* L.) growth and stress protection. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 1-22, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00687-6>.

CASTRO, T. A. V. T.; TAVARES, O. C. H.; TORCHIA, D. F. O.; SILVA, H. O.; MOURA, O. V. T.; CANTARINO, R. E.; LOPES, S. A.; VIÊGAS, C. V.; VENDRAMINI, A. L. A.; SANTOS, L. A.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Organic fragments of k-carrageenan, lipids and peptides plus K-rich inorganic fraction in *Kappaphycus alvarezii* biomass are responsible for growth stimulus in rice plant when applied both foliar and root pathway. **Algal Research**, v. 71, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103040>.

CASTRO, T. A. V. T.; TAVARES, O. C. H.; TORCHIA, D. F. O.; PEREIRA, E. G.; RODRIGUES, N. F.; SANTOS, L. A.; VENDRAMINI, A. L. A.; MATA JR., M. R.; VIÊGAS, C. V.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Regulation of growth and stress metabolism in rice plants through foliar and root application of seaweed extract from *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta). **Journal of Applied Phycology**, v. 36, n. 4, p. 2295–2310, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03216-y>.

DEB, K.; SINGH, S. Effect of seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract on rainfed aerobic rice (*Oryza sativa* L.). **Environment Conservation Journal**, v. 23, n. 3, p. 260–266. DOI:

<https://doi.org/10.36953/ECJ.10072231>.

DUTTA, S. K.; LAYEK, J.; YADAV, A.; DAS, S. K.; RYMBAL, H.; MANDAL, S.; SAHANA, N.; BHUTIA, T. L.; DEVI, E. L.; PATEL, V. B.; LOHA, R.; MISHRA, V. K. Improvement of rooting and growth in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) cuttings with organic biostimulants. **Heliyon**, v. 9, n. 7, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17815>.

GANDHI, G.; GOPALAKRISHNAN, V. A. K.; VEERAGURUNATHAN, V.; GHOSH, A. Unlocking the potential of tropical red and brown seaweed-based biostimulants – a comparative assessment for sustainable maize (*Zea mays*) production. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, n. 3, p. 1513–1531, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03155-0>.

GARAI, S.; BRAHMACHARI, K.; SARKAR, S.; MONDAL, M.; BENERJEE, H.; NANDA, M. K.; CHAKRAVARTY, K. Impact of seaweed sap foliar application on growth, yield, and tuber quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 3, p. 1893–1904, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02386-3>.

HERMANS, S. Opinion: developments in the commercialisation of seaweed extract biostimulants. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, n. 6, p. 3149–3152, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03366-z>.

KHOLSSI, R.; LOUGRAIMZI, H.; GRINA, F.; LORENTZ, J. F.; SILVA, I.; CASTAÑO-SÁNCHEZ, O.; MARKS, E. A. N. Green Agriculture: a review of the application of micro- and macroalgae and their impact on crop production on soil quality. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 4627-4641, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00944-3>.

KUMAR, R.; TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; GHOSH, A. Science behind biostimulant action of seaweed extract on growth and crop yield: insights into transcriptional changes in roots of maize treated with *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract under soil moisture stressed conditions. **Journal of Applied Phycology**, v. 32, n. 1, p. 599–613, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01938-y>.

LAYEK, J.; DUTTA, S. K.; KRISHANAPPA, R.; DAS, A.; GHOSH, A.; MISHRA, V. K.; PANWAR, A. S.; HAZARIKA, S.; DEVI, S.; KUMAR, M.; BURAGOHAIN, J. Productivity, quality and profitability enhancement of French bean, okra and tomato with seaweed extract application under North-Eastern Himalayan

- condition. **Scientia Horticulturae**, v. 309, n. 111626, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111626>.
- MANI, S. D.; GOVINDAN, M.; MUTHAMILA-RASAN, M.; NAGARATHNAM, R. A sulfated polysaccharide κ -carrageenan induced antioxidant defense and proteomic changes in chloroplast against leaf spot disease of tomato. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 4, p. 2667–2681, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02432-0>.
- MELO, P. C.; COLLELA, C. F.; SOUSA, T.; PACHECO, D.; COTAS, J.; GONÇALVES, A. M. M.; BAHCEVANDZIEV, K.; PEREIRA, L. Seaweed-based products and mushroom β -glucan as tomato plant immunological inducers. **Vaccines**, v. 8, n. 3, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8030524>.
- MUHIE, S. H. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, n. 100446, p. 1-11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>.
- MUNARO, D.; NUNES, A.; SCHMITZ, C.; BAUER, C.; COELHO, D. S.; OLIVEIRA, E. R.; YUNES, R. A.; MOURA, S.; MARASCHIN, M. Metabolites produced by macro- and microalgae as plant biostimulants. In: **Studies in Natural Products Chemistry**. Elsevier, p. 87–120, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91095-8.00011-8>.
- NIVETHA, N.; SHUKLA, P. S.; NORI, S. S.; KUMAR, S.; SURYANARAYAN, S. A red seaweed *Kappaphycus alvarezii*-based biostimulant (AgroGain®) improves the growth of *Zea mays* and impacts agricultural sustainability by beneficially priming rhizosphere soil microbial community. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1330237>.
- NUNES, A.; AZEVEDO, G. Z.; SCHMITZ, C.; LIMA, G. P. P.; MARASCHIN, M. The importance of the capes scientific database for the Brazilian and world research. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 20, n. 41, p. 1–14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21713/rbpg.v20i41.2237>.
- OLIVEIRA, E. R.; NUNES, A.; DUTRA, F. S.; AZEVEDO, G. Z.; SCHNEIDER, A. R.; SANTOS, B. R.; MUNARO, D.; MOURA, S.; LIMA, G. P. P.; MARASCHIN, M. Marine and terrestrial biostimulant elicitors of tolerance to cold stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1569516>.
- PRAMANICK, B.; BRAHMACHARI, K.; KAR, S.; MAHAPATRA, B. S. Can foliar application of seaweed sap improve the quality of rice grown under rice–potato–greengram crop sequence with better efficiency of the system? **Journal of Applied Phycology**, v. 32, n. 5, p. 3377–3386, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02150-z>.
- ROY, A.; GHOSH, D.; KASERA, M.; GIRISH, T. R.; VEMANNA, R. S.; MOHAPATRA, S.; NARAYAN, S. S.; BHATTACHARJEE, S. *Kappaphycus alvarezii*-derived formulations enhance salicylic acid-mediated anti-bacterial defenses in *Arabidopsis thaliana* and rice. **Journal of Applied Phycology**, v. 34, n. 1, p. 679–695, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02658-y>.
- SHUKLA, P. S.; NIVETHA, N.; NORI, S. S.; KUMAR, S.; CRITCHLEY, A. T.; SURYANARAYAN, S. A biostimulant prepared from red seaweed *Kappaphycus alvarezii* induces flowering and improves the growth of *Pisum sativum* grown under optimum and nitrogen-limited conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1265432>.
- SHUKLA, P. S.; NIVETHA, N.; NORI, S. S.; BOSE, D.; KUMAR, S.; KHANDELWAL, S.; CRITCHLEY, A.; SURYANARAYAN, S. Understanding the mode of action of AgroGain®, a biostimulant derived from the red seaweed *Kappaphycus alvarezii* in the stimulation of cotyledon expansion and growth of *Cucumis sativa* (cucumber). **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1136563>.
- TRIVEDI, K.; GOPALAKRISHNAN, V. A. K.; KUMAR, R.; GHOSH, A. Transcriptional analysis of maize leaf tissue treated with seaweed extract under drought stress. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 1-14, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsu-2021.774978>.
- TRIVEDI, K.; KUMAR, R.; ANAND, K. G. V.; BHOJANI, G.; KUBAVAT, D.; GHOSH, A. Structural and functional changes in soil bacterial communities by drifting spray application of a commercial red seaweed extract as revealed by metagenomics. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 1, p. 1-21, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02644-5>.
- TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; KUBAVAT, D.; GHOSH, A. Role of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract and its active constituents, glycine betaine, choline chloride, and zeatin in the alleviation of drought stress at critical growth stages of maize crop. **Journal of Applied Phycology**, v. 34, n. 3, p. 1791–1804, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02722-1>.
- TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; VAGHELA, P.; CRITCHLEY, A. T.; SHUKLA, P. S.; GHOSH, A. A review of the current status of *Kappaphycus alvarezii*-based biostimulants in sustainable agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 35, n. 6, p. 3087–3111, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03054-4>.
- UDO, T.; MUMMALETI, G.; MOHAN, A.; SINGH, R. K.; KONG, F. Current and emerging applications of carrageenan in the food industry. **Food Research International**, v. 173, p. 1-21, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113369>.
- VAGHELA, P.; GANDHI, G.; TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; CHAVDA, D.; MANNA, M.; SETH, T.; SETH, A.; SHANMUGAM, M.; GHOSH, A. Underpinning beneficial maize response to application of minimally processed homogenates of red and brown seaweeds. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-21, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1273355>.
- VAGHELA, P.; TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; BRAHMBHATT, H.; NAYAK, J.; KHANDHEDIYA, K.; PRASAD, K.; MORADIYA, K.; KUBAVAT, D.; KONWAR, L. J.; VEERAGURUNATHAN, V.; GRACE, P. G.; GHOSH, A. Scientific basis for the use of minimally processed homogenates of *Kappaphycus alvarezii* (red) and *Sargassum wightii* (brown) seaweeds as crop biostimulants. **Algal Research**, v. 70, p. 1-22, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.102969>.
- YOGENDRA, N. D.; PRAKHYATH, K. M.; RAVIKUMARA, R.; PADALIA, R. C.; GHOSH, A. Effect of *Kappaphycus alvarezii* seaweed liquid extract on growth, yield and chemical constituents of Geranium (*Pelargonium graveolens* L' Herit. ex Aiton). **Journal of Plant Nutrition**, v. 48, n. 6, p. 907-920, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2415478>.
- YUSUF, R.; BAHRUDIN; MAS'UD, H.; SYAKUR, A.; AFRIANA, D. S.; KALABA, Y.; KRISTIANSSEN, P. Application of local seaweed extracts on growth and yield of mustard greens (*Brassica juncea* L.). **Earth and Environmental Science**, v. 484, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012066>.