

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

ELMO PEREIRA RAMOS

***Lithothamnion* sp. COMO BIOESTIMULANTE DE
PLANTAS**

**São Mateus - ES
Fevereiro de 2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

***Lithothamnion* sp. COMO BIOESTIMULANTE DE
PLANTAS**

ELMO PEREIRA RAMOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dra. Sara Dousseau Arantes

Coorientador: Prof. Dr. Edilson Romais Schmildt

São Mateus - ES

Fevereiro de 2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

R175l Ramos, Elmo Pereira, 1985-
Lithothamnion sp. como bioestimulante de plantas / Elmo
Pereira Ramos. - 2024.
127 f. : il.

Orientadora: Sara Dousseau Arantes.
Coorientador: Edilson Romais Schmildt.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Cultivos agrícolas tropicais. 2. Mudanças - qualidade. 3.
Mamão. 4. Pimenta-do-reino. 5. Inovações Agrícolas. 6. Algas
vermelhas. I. Arantes, Sara Dousseau. II. Schmildt, Edilson
Romais. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63


***Lithothamnion* sp. COMO BIOESTIMULANTE DE PLANTAS**

ELMO PEREIRA RAMOS

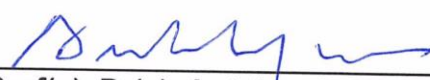
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2024.

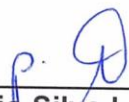
COMISSÃO EXAMINADORA



Profa. Dra. Sara Dousseau Arantes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador(a)



Prof(a). Dr(a). Antelmo Ralph Falquetto
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Túlio Silva Lara
Universidade Federal do Oeste do Pará

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pai, Derisvaldo da Silva Ramos pelo incentivo ao estudo e pela oportunidade de cursar o ensino superior.

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha esposa Mônica de Almeida Merlim Ramos, meu filho Gael Merlim Ramos e minha filha Lis Merlim Ramos pela compreensão nos períodos em que estive ausente por causa dos estudos.

Aos demais familiares pela compreensão e incentivo.

Aos colegas Emanuel Chequetto e Ivanildo Schmith Kuster pela compreensão no dia a dia no trabalho.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) pela oportunidade e confiança.

Aos bolsistas do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Fazenda Experimental do Incaper em Linhares.

Aos colegas do curso de mestrado em Agricultura Tropical.

À Dra. Sara Douseau Arantes pelos ensinamentos e pela confiança.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical.

À Universidade Federal do Espírito Santo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 HIPÓTESES.....	2
1.2 OBJETIVO GERAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. CAPÍTULOS	4
2.1 <i>Lithothamnion</i> sp. COMO BIOESTIMULANTE NO CULTIVO DE PLANTAS .4	
Resumo	4
Abstract.....	5
Introdução.....	6
Efeitos do <i>Lithothamnion</i> sp. na produção de mudas	12
Efeitos do <i>Lithothamnion</i> sp. nos cultivos agrícolas	13
Referências.....	3
2.2 <i>Lithothamnion</i> sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMOEIRO	13
Resumo	13
Abstract.....	14
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS	39
2.3 <i>Lithothamnion</i> sp. EM SOLUÇÃO AQUOSA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO	45
Resumo	45
Abstract.....	46
Introdução.....	47
Material e métodos	49
Resultados e discussão	53
Conclusão.....	66
Referências.....	67
2.4 <i>Lithothamnion</i> sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTEIRA-DO-REINO.....	73
- Resumo	73

- Abstract.....	74
Introdução.....	75
Material e métodos	77
Resultados e discussão	80
Conclusão.....	84
Referências.....	85
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAL	93
REFERÊNCIAS GERAL	95

RESUMO

RAMOS, Elmo Pereira; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; fevereiro de 2024; ***Lithothamnion* sp. como bioestimulante de plantas**; Orientadora Sara Dousseau Arantes; Coorientador: Edilson Romais Schmidt.

O *Lithothamnion* sp. é uma alga calcária utilizada na agricultura como adubo mineral. No entanto, estudos indicam efeitos bioestimulantes em diversas culturas agrícolas, mas ainda são necessários avanços na identificação dos mecanismos. O presente estudo é composto por quatro capítulos que abordam os efeitos bioestimulantes da alga *Lithothamnion* sp. em plantas. No primeiro capítulo, as principais aplicações do *Lithothamnion* sp. nos cultivos agrícolas foram descritas na forma de uma revisão bibliográfica. No segundo e terceiro capítulos, foram avaliadas diferentes fontes de *Lithothamnion* sp. para identificar a dose que resulte em melhor qualidade das mudas e maior acúmulo de nutrientes do mamoeiro 'Aliança' (*Carica papaya* L.). No quarto capítulo, foi avaliado o efeito bioestimulante de *Lithothamnion* sp. em interação com ácido indolbutírico (AIB) no desenvolvimento do sistema radicular, crescimento vegetativo, trocas gasosas e qualidade das mudas de dois cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) 'Bragantina' e 'Kottanadan Broto Branco'. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível evidenciar os efeitos positivos do *Lithothamnion* sp.

no estímulo do crescimento das plantas, na qualidade de frutos, produtividade e nas trocas gasosas, destacando-se a ação auxínica e a indução de resistência ao estresse biótico e abiótico. A incorporação do *Lithothamnion* sp. no substrato (Capítulo 2) e a aplicação foliar via encharcamento (Capítulo 3) promoveram alterações na qualidade de mudas e nos teores nutricionais no mamoeiro “Aliança”, principalmente do cálcio, potássio, manganês e zinco. De forma geral, notou-se que o *Lithothamnion* sp. extraído de jazidas do Espírito Santo possuem maior efeito bioestimulante nas mudas do mamoeiro, comparativamente àqueles extraído no estado do Maranhão e da Bahia. A dose ideal variou entre 5 e 6 g L⁻¹ quando aplicado via foliar e 4 K.g m⁻³ quando incorporado ao substrato. Nas mudas da pimenteira-do-reino, notou-se que o efeito do *Lithothamnion* sp. foi independente do ácido indolbutírico e das cultivares. O *Lithothamnion* sp. promoveu o crescimento do broto e o comprimento da raiz, com melhor resposta na dose de 1,80 kg m⁻³. Contudo, o aumento da concentração inibiu a rizogênese adventícia. A presença de AIB resultou em maior acúmulo de biomassa, volume de raiz, crescimento da parte aérea e eficiência do uso da água, conferindo maiores valores no desenvolvimento das mudas. Na presença de AIB, maiores valores no desenvolvimento das mudas foram observados para o cultivar ‘Kottanadan Broto Branco’. Em conclusão, ficou evidente (1) o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. nas mudas seminais do mamoeiro “Aliança” e (2) a efetividade de doses menores do bioestimulante para as mudas clonais da pimenteira-do-reino cv. ‘Bragantina’ e ‘Kottanadan Broto Branco’.

Palavras-chave: Alga calcária, bioinsumo, mudas, *Carica papaya* L., *Piper nigrum* L.

ABSTRACT

RAMOS, Elmo Pereira; M.Sc.; Federal University of Espirito Santo; February 2024; *Lithothamnion* sp. as a plant biostimulant; Advisor Sara Dousseau Arantes; Co-supervisor: Edilson Romais Schmildt.

Lithothamnion sp. is a calcareous algae used in agriculture as a mineral fertilizer. However, studies indicate biostimulant effects in several agricultural crops, but progress is still needed in identifying the mechanisms. The present study consists of four chapters that address the biostimulant effects of the alga *Lithothamnion* sp. in plants. In the first chapter, the main applications of *Lithothamnion* sp. in agricultural crops were described in the form of a bibliographical review. In the second and third chapters, different sources of *Lithothamnion* sp. were evaluated. to identify the dose that results in better quality of seedlings and greater accumulation of nutrients for papaya 'Aliança' (*Carica papaya* L.). In the fourth chapter, the biostimulant effect of *Lithothamnion* sp. was evaluated. in interaction with indolebutyric acid (IBA) in the development of the root system, vegetative growth, gas exchange and seedling quality of two black pepper cultivars (*Piper nigrum* L.) 'Bragantina' and 'Kottanadan Broto Branco'. Through the bibliographic review, it was possible to highlight the positive

effects of *Lithothamnion* sp. in stimulating plant growth, fruit quality, productivity and gas exchange, highlighting the auxinic action and the induction of resistance to biotic and abiotic stress. The incorporation of *Lithothamnion* sp. in the substrate (Chapter 2) and foliar application via drenching (Chapter 3) promoted changes in the quality of seedlings and nutritional content in the “Aliança” papaya tree, mainly calcium, potassium, manganese and zinc. In general, it was noted that *Lithothamnion* sp. extracted from deposits in Espírito Santo have a greater biostimulant effect on papaya seedlings, compared to those extracted in the states of Maranhão and Bahia. The ideal dose varied between 5 and 6 g L⁻¹ when applied foliarly and 4 Kg m⁻³ when incorporated into the substrate. In black pepper seedlings, it was noted that the effect of *Lithothamnion* sp. was independent of indolebutyric acid and cultivars. *Lithothamnion* sp. promoted shoot growth and root length, with a better response at a dose of 1,80 kg m⁻³. However, increasing concentration inhibited adventitious rhizogenesis. The presence of IBA resulted in greater accumulation of biomass, root volume, shoot growth and water use efficiency, providing greater values in the development of seedlings. In the presence of IBA, higher values in seedling development were observed for the cultivar ‘Kottanadan Broto Branco’. In conclusion, it was evident (1) the biostimulating effect of *Lithothamnion* sp. in the seminal seedlings of the “Aliança” papaya tree and (2) the effectiveness of lower doses of the biostimulant for the clonal seedlings of the black pepper cv. ‘Bragantina’ and ‘Kottanadan Broto Branco’.

Keywords: Calcareous algae, bioinput, seedlings, *Carica papaya* L., *Piper nigrum* L.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os bioestimulantes vegetais se enquadram como uma nova categoria de insumos para impulsionar a produção com melhor aproveitamento dos fertilizantes e aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos (Shahrajabian *et al.*, 2021).

Os bioestimulantes vegetais podem ser divididos em microbiano e não microbiano (Malik *et al.*, 2021). São definidos como qualquer substância ou microrganismo capazes de elevar a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e melhorar características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes (Du Jardin, 2015). No entendimento mais recente engloba-se ao conceito também tolerância a estresse bióticos (Yakhin *et al.*, 2017).

O extrato de algas é uma categoria dentro dos bioestimulantes que possui vasto estudos em aplicações em cultivos agrícolas. O *Lithothamnion* sp., uma alga vermelha rica em minerais, substâncias húmicas e aminoácidos mostra efeitos bioestimulantes em plantas (Ramos *et al.*, 2023). No entanto, há um reduzido número de estudos que relacionam esses efeitos ao desenvolvimento das plantas. Assim, representa um grande campo de estudos para pesquisas futuras para compreender melhor a ação do *Lithothamnion* sp. no crescimento e desenvolvimento das plantas.

A composição mineral do *Lithothamnion* sp. age como fator nutricional por conter diversos nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas,

principalmente cálcio que possui importante papel estrutural e como mensageiro celular nas plantas (Thor, 2019). Assim, a associação do *Lithothamnion* sp. com a nutrição mineral é fundamental para o entendimento da bioestimulação. Mesmo porque na legislação brasileira os produtos de origem desta alga são classificados como fertilizantes minerais.

A bioestimulação das substâncias húmicas e aminoácidos aplicadas as plantas de forma individualizada possuem compreensão bem avançada. No entanto, dentro da dinâmica de uma alga como o *Lithothamnion* sp., onde não há separação destas substâncias é necessário maior aprofundamento das pesquisas para evidenciar os efeitos positivos na bioestimulação das plantas. Embora algum esforço no sentido tenha sido proposto como o estudo de Amatucci *et al.* (2020) que evidenciam o papel auxínico das substâncias húmicas do *Lithothamnion* sp. de forma isolada.

No geral, os efeitos bioestimulantes do *Lithothamnion* sp. abordados em estudos recentes estão relacionados a indução do crescimento radicular, parte aérea, qualidade e rendimentos, resistência e eficiência nas trocas gasosas (Ramos *et al.*, 2023).

1.1 HIPÓTESES

O *Lithothamnion* sp. apresenta efeitos bioestimulantes significativos na produção de mudas que proporcionam maior crescimento e desenvolvimento vegetal que refletem na qualidade das mudas.

1.2 OBJETIVO GERAL

Identificar os efeitos bioestimulantes do *Lithothamnion* sp. para compreender sua função no crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente, em mudas de mamoeiro e de pimenteira-do-reino.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar e analisar os efeitos bioestimulantes do *Lithothamnion* sp. e suas aplicações em cultivos agrícolas com uma compilação de estudos existentes através de uma revisão bibliográfica abrangente.

Avaliar o efeito bioestimulante de diferentes fontes e forma de aplicação do *Lithothamnion* sp. na qualidade das mudas e no acúmulo de nutrientes do mamoeiro 'Aliança'.

Analisar o efeito dose-dependente do *Lithothamnion* sp. no acúmulo de nutrientes nas folhas, raízes e na qualidade das mudas do mamoeiro 'Aliança'.

Avaliar o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. de forma associada e não associada com AIB no desenvolvimento do sistema radicular, crescimento vegetativo, trocas gasosas e qualidade das mudas de dois cultivares de pimenteira-do-reino.

Analisar o efeito dose-dependente do *Lithothamnion* sp. na qualidade das mudas da pimenteira-do-reino.

Avaliar o efeito do AIB na qualidade das mudas nas cultivares de pimenteira-do-reino 'Bragantina' e Kottanadan Broto Branco'.

Apontar mecanismos em que são exercidos os feitos bioestimulantes do *Lithothamnion* sp..

2. CAPÍTULOS

O artigo está formatado nas normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical e foi publicado em 14/09/2023, v. 53, e76273.

DOI: 10.1590/1983-40632023v5376273.

Link de acesso: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/76273>.

2.1 *Lithothamnion* sp. COMO BIOESTIMULANTE NO CULTIVO DE PLANTAS

Resumo

Os bioestimulantes são qualquer substância ou microrganismo aplicado às plantas com o objetivo de aumentar a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e/ou as características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes. Diversas algas possuem efeitos bioestimulantes, como o *Lithothamnion* sp., uma alga marinha calcária conhecida por seu valor nutricional. Portanto, objetivou-se neste artigo de revisão, compilar

informações sobre o *Lithothamnion* sp. e suas aplicações nos cultivos agrícolas, visando identificar e analisar seus efeitos bioestimulantes. Presentes nas jazidas costeiras do Espírito Santo, Bahia e Maranhão, o *Lithothamnion* sp. integra o grupo das algas vermelhas e oferece uma rica composição de macro e micronutrientes, substâncias húmicas e aminoácidos. A aplicação prática deste bioestimulante na agricultura tem sido verificada por meio de estudos que demonstram sua eficácia dependendo da matéria prima utilizada (jazida e fração da partícula), da tecnologia de aplicação (dosagem, formas e intervalos) e da cultura (genótipo e estádios de desenvolvimento). O *Lithothamnion* sp. se destaca por induzir o desenvolvimento vegetativo e demonstrou ser uma ferramenta valiosa na produção de mudas de diversas espécies. Sua aplicação, seja via solo ou foliar, tem revelado melhorias na produção e qualidade de hortaliças, frutas, culturas oleaginosas, grãos e forrageiras. Ainda que os mecanismos subjacentes exijam investigações mais aprofundadas, os resultados sugerem que o *Lithothamnion* sp. contribui para o aumento na fotossíntese, eficiência do uso da água e produção de fitoalexinas.

Palavras-chave: algas coralinas, rodolito, biofertilizantes.

Abstract

One of the various seaweed species with biostimulating properties is *Lithothamnion* sp., a calcareous seaweed recognized for its nutritional attributes. This review article aimed to gather information on *Lithothamnion* sp. and its applications in agricultural cultivation, focusing on identifying and analyzing its biostimulant effects. The practical use of this biostimulant in farming has been confirmed by studies highlighting its efficiency, which varies according to the source material (deposit and particle fraction), application methodology (dosage, methods and frequency) and specific crop (genotype and development stages). *Lithothamnion* sp. is notable for promoting vegetative growth and has established itself as an invaluable biostimulant in producing seedlings of various species. Its application, either via soil or by foliar methods, has

led to improvements in the yield and quality of vegetables, fruits, oilseed crops, grains and forage plants. Although the underlying mechanisms need further investigation, the results suggest that *Lithothamnion* sp. contributes to amplifying photosynthesis, water-use efficiency and phytoalexin production.

Keywords: Coralline algae, rhodolite, biofertilizers

Introdução

A agricultura enfrenta um desafio significativo diante das mudanças climáticas, que tem exacerbado as pressões ambientais e aumentado a demanda por insumos agrícolas a fim de preservar a produtividade e mitigar perdas econômicas (Malhi et al. 2021). Em busca de uma produção agrícola mais sustentável, a pesquisa tem se voltado para o desenvolvimento de novos insumos que possam enfrentar estes desafios de maneira eficaz (Raza et al. 2019). No contexto brasileiro, em maio de 2020, foi promulgado o Programa Nacional de Bioinsumo por meio do decreto nº 10.375 (Brasil 2020).

Bioinsumos são definidos como produtos, processos ou tecnologias de origem biológica que promovem impactos positivos nos processos químicos, físicos e biológicos de organismos alvo (Brasil 2020). Esta definição se alinha à concepção de bioestimulantes, mesmo que este termo não tenha sido explicitamente abordado no decreto. Bioestimulantes, por sua vez, englobam substâncias ou microrganismos aplicados nas plantas com o propósito de aprimorar a eficiência nutricional, a tolerância a estresses abióticos e/ou as qualidades intrínsecas das culturas, independentemente do conteúdo nutricional (Du Jardin 2015). Tal abordagem está em consonância com os regulamentos da União Europeia, que equipara bioestimulantes a fertilizantes na Regulation (EU) 2019/1009, de 5 de junho de 2019 (European Union 2019).

No contexto brasileiro, produtos contendo compostos bioestimulantes são regulamentados como biofertilizantes, que enquadra produtos à base de aminoácidos,

substâncias húmicas, extratos de algas, extratos vegetais ou suas combinações, desde que sua ação bioativa seja comprovada (Brasil 2020). A regulamentação é supervisionada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio da Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, e requer a validação científica da bioatividade através de bioensaios (Brasil 2020). Entretanto, a maioria dos produtos bioestimulantes é registrada no Brasil como fertilizantes orgânicos, uma categoria que não exige comprovação da bioatividade.

Os biofertilizantes na classe de extratos de algas ou algas processadas precisam declarar um teor mínimo de 1% de ácido algínico nos produtos líquidos e 5% nos sólidos (Brasil 2020). No entanto, embora diversas algas possuam efeitos bioestimulantes, apenas algumas algas pardas de grande porte, mais comuns em ambientes temperados, contém ácido algínico (Hurtado et al. 2020, Gómez-Matos et al. 2023). Poucas macroalgas marinhas e nenhuma alga vermelha (Rhodophyta) possuem ácido algínico (Gómez-Matos et al. 2023), resultando na impossibilidade de registrar produtos contendo estas algas como biofertilizantes. Estas lacunas evidenciam as limitações da legislação brasileira relacionada aos bioestimulantes, gerando incertezas ao longo da cadeia produtiva, principalmente, entre os agricultores.

Dentre as algas marinhas vermelhas, o gênero *Lithothamnion*, também conhecido como *Lithothamnium*, é o único registrado na categoria de fertilizantes minerais, conforme a Instrução Normativa Nº 39, de 8 de agosto de 2018, que considerada apenas a fração mineral da alga (Brasil 2018). Isso exclui a fração orgânica rica em ácidos húmicos com atividade auxínica (Amatucci et al. 2020). Portanto, objetivou-se neste artigo de revisão, compilar informações sobre o *Lithothamnion* sp. e suas aplicações nos cultivos agrícolas, visando identificar e analisar seus efeitos bioestimulantes.

O *Lithothamnion* é classificado no sistema ALGAEBASE como parte do império/domínio Eukaryota, reino Plantae, sub-reino Biliphyta, infra reino Rhodaria, filo Rodophyta, subfilo Eurhodophytina, classe Florideophyceae, subclasse Corallinophycidae,

ordem Corallinales, subordem Mesophyllineae, família Hapalidiaceae e gênero *Lithothamnion* (Guiry & Guiry 2023). Esse gênero é conhecido como algas coralinhas e pertence ao grupo das algas vermelhas (Coutinho et al. 2022).

O gênero *Lithothamnion* abrange 76 espécies, 3 variedades e 10 formas aceitas no banco de dados taxonômicos, além de incluir 51 nomes com *status* incerto junto e 3 nomes não verificados até o momento (Guiry & Guiry 2023). No entanto, a identificação taxonômica precisa e abrangente do *Lithothamnion* sp. permanece complexa e insuficientemente explorada (Sissini et al. 2022), apesar dos esforços empregados, incluindo técnicas moleculares (Coutinho et al. 2022).

O *Lithothamnion* sp. apresenta em sua constituição um material com características ultra porosa, com elevada superfície específica, contendo minerais como calcita magnesiana, calcita e aragonita com cristais xenomórficos e granulares (Silva et al. 2021). Também apresenta partículas isotrópicas de cálcio (Raut & Gadani 2021) e substâncias húmicas (Amatussi et al. 2020). Essa complexa composição envolve carbonatos de cálcio e magnésio, bem como mais de 20 oligoelementos, os quais variam em composição e quantidades (Dias 2000).

Do ponto de vista econômico, a relevância reside nos materiais sedimentares inconsolidados das algas, que se manifestam como rodolitos, nódulos e fragmentos bioclásticos (Paiva et al. 2023). Os granulados bioclásticos, sendo uma fração altamente fragmentada das estruturas sedimentares, formam-se por processos de movimentação da água, bioturbação, pastoreio e arraste (Foster 2001). Esta composição granulada pode incluir materiais bentônicos adicionais, como conchas, algas e restos animais (Helias & Burel 2023).

A extração do material sedimentar das algas é conduzida por meio do método de dragagem (Paiva et al. 2023), caracterizado por baixa seletividade, permitindo a coleta de todo o material inconsolidado. No beneficiamento, o material bruto é submetido à lavagem para remoção de sais e impurezas em excesso (Souza & Martins 2008), seguido por etapas de

secagem e moagem (Dias 2000). Existem no mercado produtos com diferentes granulometrias, que variam quanto a intensidade da moagem, sendo aqueles com partículas menores, denominados de micronizados, que consiste na quebra mecânica, causada pelo atrito entre as partículas até tamanhos entre 1 e 10 μm (Amatuzzi et al. 2020).

Diversos termos são utilizados para descrever os materiais sedimentares das algas calcárias como *maerl* (Ingrassia et al. 2023, Helias & Burel 2023), granulados bioclásticos (Veneu et al. 2018, Veneu et al. 2019) e rodolitos (Rendina et al. 2020, Sissini et al. 2022). A terminologia “rodolitos” é especialmente aplicável para a caracterização destas estruturas, embora a concepção de granulados bioclásticos seja mais ampla (Vale et al. 2022). Os rodolitos representam as estruturas de vida livre, que são compostas principalmente por 50% de algas coralinas não geniculadas, exibindo diversidade de forma, tamanho e espécies, e podendo existir tanto em condição viva quanto fóssil (Foster 2001). Estes rodolitos frequentemente se associam a outros organismos bentônicos, sedimentos bioclásticos e diferentes espécies de algas coralinas e/ou epífitas (Carvalho et al. 2020, Vale et al. 2022), fornecendo uma gama de serviços ambientais, com destaque para a manutenção da biodiversidade (Ingrassia et al. 2023). A exploração comercial desregada dessas áreas pode acarretar problemas ambientais substanciais, como exemplificado na França (Bernard et al. 2019), destacando a importância de novas abordagens para a conservação destes organismos e seus habitats (Carvalho et al. 2020), tanto para o Brasil, que possui um vasto potencial de exploração comercial dos rodolitos, quanto para outras nações, dada a sua relevância global (Tuya et al. 2023).

As algas coralinas têm sido documentadas em formas vivas e fósseis em várias regiões, incluindo o Mediterrâneo, o golfo da Califórnia, a costa atlântica da Noruega, Irlanda, nordeste do Canadá, Caribe oriental, Brasil, sul do Japão e oeste da Austrália (Foster 2001). Estudos computacionais indicam uma área ainda maior de ocorrência destes organismos (Fragkopoulou et al. 2021). A costa brasileira, em particular, abriga a maior reserva de rodolitos do mundo

(Amado-Filho 2012). A diversidade de espécies de algas calcárias que compõem os rodolitos é notável ao longo da costa do Brasil, com estudos evidenciados nos estados do Espírito Santo (Amado-Filho et al. 2010, Sissini et al. 2022), Bahia (Costa et al. 2014), São Paulo (Pereira Filho et al. 2019), Sergipe e Alagoas (Vale et al. 2022), Foz do Rio Amazonas (Moura et al. 2016, Vale et al. 2018) e no Ceará (Macêdo Carneiro et al. 2021).

A alta diversidade de espécies de algas calcárias no estado do Espírito Santo, incluindo espécies endêmicas, é resultado de sua localização em uma zona transicional entre as regiões tropicais e temperadas quentes do Brasil (Carvalho et al. 2020), proporcionando um ambiente heterogêneo propício à ampliação da biodiversidade.

As jazidas de exploração comercial das algas calcárias no Brasil estão situadas nas costas dos estados do Maranhão, Bahia e Espírito Santo, e são operadas pelas empresas licenciadas Oceana Minerals, PrimaSea e Supramar, respectivamente. Uma análise comparativa da composição nutricional destes produtos comerciais não foi identificada na literatura. Portanto, nesta revisão, foi conduzida uma análise detalhada de macro e micronutrientes, além de substâncias húmicas, presentes nessas diferentes fontes (Tabela 1). Estas informações permitirão uma compreensão mais aprofundada dos efeitos bioestimulantes associados a esses produtos, discussão que será abordada nas próximas seções deste artigo de revisão. Com base nas análises, destaca-se a variação na composição em diferentes regiões de extração, principalmente em relação aos teores de ferro, manganês, zinco, sódio e ácido húmico.

Tabela 1. Resultado da análise química de nutrientes e substâncias húmicas do produto comercial das empresas Oceana Minerals (Algen[®]), Prima Sea (Primaz[®]) e Supramar (LT Supra[®]).

Parâmetro*	Unidade	Valores analisados		
		Algen [®]	Primaz [®]	LT Supra [®]
Nitrogênio		0,05	0,05	0,06
Fósforo		0,06	0,06	0,09
Potássio	%	0,03	0,04	0,06
Cálcio		34,28	30,29	31,19
Magnésio		3,21	3,62	2,06
Enxofre		0,22	0,28	0,29
Boro		31,17	30,24	48,06
Cobre		0,16	0,94	0,97
Ferro	mg kg ⁻¹	717,01	4527,96	14765,56
Manganês		11,91	49,67	481,89
Zinco		1,19	2,88	10,50
Sódio		3744,25	4899,77	8084,48
Ácido fúlvico	%	6,77	5,40	9,31
Ácido húmico		3,16	4,91	0,93

*As análises dos produtos foram realizadas em laboratório comercial ABCLab da Fundação ABC a partir de amostras dos produtos comerciais, utilizando como metodologia: EPA 6010/3051 (MAPA 2017), AOAC - Official Method 993.13 - Nitrogen (Total) in Fertilizers – (Combustion Method, 2019).

Além disso, a presença de aminoácidos no produto comercial LT Supra[®] também foi avaliada. Uma amostra foi encaminhada para o Instituto Campineiro de Análise de Solo e Adubo LTDA, que empregou o método de Derivatização de fenilsotiocianato pré-coluna e cromatografia líquida de aminoácidos em alimentos (Hagen et al., 1989), utilizando o Sistema Walters Pico-Tag (White et al., 1986) para análise de aminograma. A análise revelou a presença de 1400 mg Kg⁻¹ de aminoácidos livres (0,15%), com predominância de glicina e triptofano, ambos na quantidade de 400 mg Kg⁻¹ do produto. Além disso, foram identificados ácido aspártico (200 mg Kg⁻¹), alanina (200 mg/kg), prolina (100 mg Kg⁻¹), valina (100 mg Kg⁻¹) e ácido glutâmico (0,01 mg Kg⁻¹).

Efeitos do *Lithothamnion* sp. na produção de mudas

O *Lithothamnion* sp. tem sido avaliado na produção de mudas seminais de diversas culturas agrícolas, porém seus efeitos são dependentes da dose e cultivar. Para as mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) a dose de 6,68 kg m⁻³ incorporada ao substrato promove incremento na altura, diâmetro do caule, área foliar e massa seca total (Evangelista et al. 2016). Nas mudas de maracujazeiro doce (*Passiflora alata* C.) a adição de 2 kg m⁻³ ao substrato proporciona aumento na parte aérea (Souza et al. 2007). Na produção de mudas do marmeleiro Japonês [*Chaenomoles senensis* (Koehne)] a dose ótima foi 5 kg m⁻³ (Sabino et al. 2013), enquanto para a tangerina ‘Cleóprata’ (*Citrus reshni Hort ex Tan.*), foi 5 kg m⁻³ (Cruz et al. 2008). O *Lithothamnion* sp. também mostrou uma influência genotípica nas mudas de mamão (*Carica papaya* L.), com resposta favorável na dose de 2 kg m⁻³ para o grupo “Formosa” (Teixeira et al. 2009) e 3 kg m⁻³ para o “Solo” (Hafle et al. 2009).

A interação com o substrato também desempenha um papel crucial nos efeitos do *Lithothamnion* sp.. O incremento no crescimento das raízes e na altura das mudas de café Arábica (*Coffea arabica* L.), foi obtido com 5,25 kg m⁻³ de *Lithothamnion* sp. combinado com esterco bovino e com 1,75 kg m⁻³ adicionado em conjunto com a torta de filtro (Rodriguez et

al. 2017). Foi constatada indução no crescimento inicial das mudas de citrumeleiro swingle (*Citrus paradisi* Mac X *Poncirus trifoliata* L.Raf.) com acréscimo (5 % v:v) de *Lithothamnion* sp. dependendo da composição do substrato (Araújo et al. 2007).

Outra utilização na produção de mudas é a correção de acidez, devido seu teor de carbonato de cálcio e magnésio. A incorporação de *Lithothamnion* sp., na dose de 1,4 vezes a recomendação convencional via método de saturação de bases conferiu crescimento da massa seca total no maracujazeiro (*Passiflora alata* C.) (Souza et al 2009).

Uma abordagem promissora que merece investigação futura é a aplicação do *Lithothamnion* sp. em mudas propagadas por estaquia. Embora a bioatividade auxínica do *Lithothamnion* sp. tenha sido comprovada (Amatussi et al. 2020), estudos específicos sobre sua aplicação em mudas propagadas por estaquia estão ausentes na literatura. Essa lacuna abre um leque de oportunidades para explorar seu potencial nesse método de propagação.

Efeitos do *Lithothamnion* sp. nos cultivos agrícolas

A aplicação do *Lithothamnion* sp. em cultivos agrícolas tem demonstrado efeitos significativos e diversificados, alinhados com a definição de bioestimulantes. A dependência da dose na resposta é bastante evidente, assim como para outras espécies de algas (Kapoor et al. 2021). A forma de aplicação também varia, podendo ser utilizado incorporado ao solo ou em pulverizações foliares, esta última utilizando o *Lithothamnion* sp. na forma micronizada.

A incorporação do *Lithothamnion* sp. ao solo proporciona incremento no desenvolvimento das plantas e na produtividade do pimentão (*Capsicum annuum* L.) (Evangelista et al. 2016). A associação com o esterco de aves e bovino resultou em aumento na produtividade de frutos da pitaia vermelha (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) (Moreira et al. 2011, Moreira et al. 2012, Costa et al. 2015). Incremento na altura, massa seca de folha, massa seca de caule e diâmetro do caule também foi encontrada em mamoneira

(*Ricinius communis* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) (Evangelista et al. 2015).

A qualidade da produção também pode ser melhorada quando o *Lithothamnion* sp. foi incorporado no solo em associação com a prática de raleio químico utilizando 600 mg L⁻¹ de Ethephon, no cultivo da tangerina Pokan (*Citrus reticulata* Blanco), com aumento no tamanho dos frutos e nos sólidos solúveis (Moreira et al. 2012).

Entretanto, é importante reconhecer que a dosagem e as interações entre os componentes do sistema podem influenciar os resultados. Efeitos negativos na produtividade da cenoura (*Daucus carota* L.) quando *Lithothamnion* sp. foi incorporado como fonte de cálcio e magnésio em associação ao potássio (Rodrigues Neto et al. 2021). Este resultado pode estar ligado à dosagem elevada utilizada (200 Kg ha⁻¹), visto que em relação aos trabalhos anteriores e estudos com outras algas bioestimulantes sugerem que estímulos de crescimento são mais eficazes quando aplicadas repetidas doses muito baixas (Shukla et al. 2019). Ademais, os bioestimulantes não devem ser utilizados em substituição aos nutrientes minerais, eles atuam complementarmente aos fertilizantes, com o objetivo de otimizar a eficiência desses fertilizantes e reduzir as taxas de aplicação de nutrientes (European Union 2019).

A correção da acidez dos solos em cultivos agrícolas é outra importante aplicação do *Lithothamnion* sp., haja vista os seus teores de carbonato de cálcio e de magnésio. Quando aplicado a uma saturação de bases abaixo de 70% acarretou elevação na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Melo & Furtini Neto 2003). Resultados semelhantes foi observado em milho (*Zea mays* L.) na saturação de base de 70%, onde houve um acréscimo na massa seca da parte aérea (Chaves et al. 2022).

Ainda são limitados os estudos referentes aos efeitos do *Lithothamnion* sp. na melhoria da eficiência nutricional. Este aspecto precisa ser melhor explorado, haja vista que um dos efeitos esperado para os bioestimulantes é a maior eficiência do uso de nutrientes (Ricci et al.

2019). Foi encontrado apenas um estudo efetuado com milho para melhorar a absorção de nitrogênio tendo como fonte a ureia, mas sem efeitos significativos quando utilizadas doses de 27, 44 e 53 Kg ha⁻¹ de *Lithothamnion* sp. via solo (Bernardes et al. 2016).

O *Lithothamnion* sp. aplicado via foliar proporciona aumento no desenvolvimento das plantas, na produtividade e na qualidade da produção, impactando diversas características fisiológicas e bioquímicas. Aplicações foliares semanais no cultivo do melão (*Cucumis melo* L.) utilizando o *Lithothamnion* sp. nanoparticulado incrementou a massa seca da parte aérea e das raízes (Negreiros et al. 2019). O *Lithothamnion* sp. micronizado, também em pulverizações foliares semanais, proporcionou aumento no crescimento das raízes e da parte aérea do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), bem como incrementou os teores de aminoácidos livres totais e açúcares nas folhas e nas raízes, teor de proteínas nas folhas e de açúcares nos frutos (Amatucci et al. 2020).

A indução do desenvolvimento radicular, das características de produtividade e dos parâmetros bioquímicos (Amatucci et al. 2020) também pode ser comprovada no cultivo da cebola (*Allium cepa* L.) aplicando o *Lithothamnion* sp. micronizado via foliar tanto sozinho (Mógor et al. 2021) como em associação com a cianobactéria *Arthrospira platenses* (Amatucci et al. 2023).

A aplicação foliar de um produto comercial contendo *Lithothamnion* sp. promoveu incremento nos teores foliares dos micronutrientes Boro e Cobre na uva (*Vitis vinifera* L.) (Carvalho et al. 2019). Este resultado fornece um indicativo do efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. na melhor absorção de nutrientes, mas ainda são necessários estudos para identificar os mecanismos e a interação com outros minerais.

A associação do *Lithothamnion* sp. via foliar com nutrientes hidrossolúveis e aminoácidos livres proporcionou melhoria na qualidade comercial dos frutos da mangueira cv. Kent (*Mangifera indica* L.), redução da sazonalidade e conseqüentemente maior produtividade

(Lobo et al. 2019). Aplicações foliares de um produto comercial que continha 70% de *Lithothamnion* sp. promoveu incremento de 20% na produtividade da mangueira cv. Palmer (Simões et al. 2022). Ambos os estudos efetuados com a mangueira afirmam que os efeitos dependem da dose e das condições climáticas. Muitos fatores podem influenciar o desempenho de um bioestimulante no campo (Ricci et al. 2019), portanto, estes resultados reafirmam o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp..

Os mecanismos pelos quais o *Lithothamnion* sp. promove efeito bioestimulantes nas plantas ainda foram pouco explorados. Foi constatado efeito auxínico com a aplicação de 1,76 g L⁻¹ *Lithothamnion* sp. micronizado nas raízes de *Vigna radiata* L., o qual foi atrelado a presença de 31,36 µg L⁻¹ de ácidos húmicos (Amatucci et al. 2020). Estes resultados explicam o forte efeito indutor de rizogênese relatado para várias espécies de interesse agrônômico, conforme discutido nos parágrafos anteriores do presente artigo.

Aplicações foliares de um produto comercial contendo *Lithothamnion* sp. promoveram incremento na taxa fotossintética, condutância estomática, eficiência no uso da água e da carboxilização e teor de clorofila na uva (*Vitis vinifera* L.) (Carvalho et al. 2019). Este resultado pode explicar o efeito indutor do desenvolvimento e na produção de várias espécies, também abordado no presente artigo.

O efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. na indução da tolerância ao estresse abiótico ainda foi pouco estudado, contudo, promoveu acréscimo na produtividade, teor de sacarose e fibras da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. L.) em associação com a vinhaça tanto em cultivo sequeiro ou quanto irrigado (Rodriguez et al. 2018). Estes resultados comprovam a maior eficiência do uso da água da cana-de-açúcar, assim como observado pela avaliação dos parâmetros fotossintéticos na uva (*Vitis vinifera* L.) (Carvalho et al. 2019). Embora o efeito indutor de defesa das plantas contra estresses bióticos, tenha sido excluída da definição dos bioestimulantes, exatamente para distingui-los dos pesticidas (Du Jardin 2015), eles atuam na

mitigação dos efeitos adversos dos estresses bióticos e abióticos nas plantas através de vários mecanismos (alteração molecular, modulações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas) (Del Buono, 2021). O *Lithothamnion* sp. associado com alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) induziu aumento nas fitoalexinas no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja (*Glycine max* (L) Merrill) (Faria et al. 2022), comprovando o potencial como indutor de mecanismos de defesa.

A aplicação de *Lithothamnion* sp. demonstra capacidade de estimular a acumulação nos cultivos agrícolas de massa seca das raízes em pimentão, café Arábica e cebola. Na parte aérea mamão, mamona, girassol, nabo forrageiro, pimentão, melão, tomate, feijão e milho. Como também elevar a produtividade e qualidade em pimentão, pitaia vermelha, tangerina Pokan, cana-de-açúcar, tomate, cebola, manga e feijão. Nas taxas fisiológicas em uva e indutor de resistência em soja e feijão. Os efeitos bioestimulantes do *Lithothamnion* sp. em plantas agrícolas são dependentes da dose (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados do *Lithothamnion* sp. de acordo a dose e espécie. Legenda: AP – altura de plantas, CR – comprimento de raízes, MST – massa seca total, MSPA – massa seca da parte aérea, MSR – massa seca das raízes, PRODUT. – produtividade, AA – aminoácidos, PTN – proteínas, GLC – glicose, A – taxa fotossintética, gs – condutância estomática, EUA – eficiência no uso da água, EiC – eficiência intrínseca de carboxilação, CL – teor de clorofila, B – boro, Cu – cobre, FIT – fitoalexinas.

Cultura	Tratamentos	Dose ideal	Incrementos (%)	Referências
pinhão-manso	Doses	6,68 kg m ⁻³	AP (34%) e MST (51%)	Evangelista <i>et al.</i> (2016)
maracujá doce		2 kg m ⁻³	AP (94%)	Souza <i>et al.</i> (2007)
		1,4 vezes saturação de bases	MST (107%)	Souza <i>et al.</i> (2009)
mamão		2 kg m ⁻³	AP (6%)	Teixeira <i>et al.</i> (2009)
		3 kg m ⁻³	AP (4%)	Hafle <i>et al.</i> (2009)
café Arábica	Doses e associações	1,75 a 5,25 kg m ⁻³	CR (13%)	Rodriguez <i>et al.</i> (2017)
citrumelo		5% v:v	MST (22%)	Araújo <i>et al.</i> (2007)
marmelo	Doses	5 kg m ⁻³	MST 106%	Sabino <i>et al.</i> (2013)
tangerina		5 kg m ⁻³	MSPA (64,6%)	Cruz <i>et al.</i> (2008)
pimentão		0,54 kg m ⁻³	MSR (100%) e PRODUT. (6%)	Evangelista <i>et al.</i> (2016)

(continua)

Cultura	Tratamentos	Dose ideal	Incrementos (%)	Referências
pitaia	Doses e associações	2,2 kg m ⁻³	PRODUT. (119%)	Moreira et al. (2011)
		1,9 kg m ⁻³	PRODUT. (+1.000%)	Moreira et al. (2012)
		2,5 kg m ⁻³	PRODUT. (+1.000%)	Costa et al. (2015)
		tangerina	0,8 kg planta ⁻¹	PRODUT. (35%)
Cana-de-açúcar		200 kg ha ⁻¹	PRODUT. (45%)	Rodriguez et al. (2018)
mamona	Doses	428 kg ha ⁻¹	MSPA (125%)	Evangelista et al. (2015)
girassol		432 kg ha ⁻¹	MSPA (653%)	
nabo forrageiro		527 kg ha ⁻¹	MSPA (292%)	
melão		1 a 5 kg ha ⁻¹	MST (32%)	Negreiros et al. (2019)
tomate		1,4 a 1,93 g L ⁻¹	MST (15%), AA (23%), PTN (96%) e GLC (22%)	Amatussi et al. (2020)

(continua)

Cultura	Tratamentos	Dose ideal	Incrementos (%)	Referências
cebola	Dose e associações	1,5 g L ⁻¹	MSR (124%), PRODUT. (20%), AA (45%) e GLC (20%)	Amatussi et al. (2023)
	Doses		MSR (30%) e PRODUT. (15,5%)	Mógor et al. (2021)
manga	Dose e associações	2,5 ml L ⁻¹	PRODUT. (56%)	Lobo et al. (2019)
	Produto comercial (70% da alga)	12 L planta ⁻¹	PRODUT. (20%)	Simões et al. (2022)
uva	Produto comercial	0,6%	A (16%), gs (21%), EUA (10%) e EiC (13%), CL (4,3%), B (18%) e Cu (33%)	Carvalho et al. (2019)
feijão e soja	Doses e associações	0,5 g L ⁻¹	FIT feijão (123%) e soja (401%)	Faria et al. (2022)

(conclusão)

Cultura	Tratamentos	Dose ideal	Incrementos (%)	Referências
feijão		0,61 t ha ⁻¹ 1,09 t ha ⁻¹	PRODUT. (+1000%)	Melo & Furtini Neto (2003)
milho		70% de saturação de base	MSPA (75%)	Chaves et al. (2022)

O *Lithothamnion* sp. é uma alga calcária pertencente ao grupo das algas vermelhas com composição mineral e o teor de substâncias húmicas que variam conforme o local de extração, portanto, os produtos comerciais possuem diferenças entre eles e podem proporcionar respostas distintas na estimulação das plantas. No entanto, nenhum estudo comparou os efeitos dos diferentes produtos comerciais.

O potencial de uso agrícola do *Lithothamnion* sp. foi comprovado na produção de mudas e no cultivo de espécies hortícolas, frutíferas, oleaginosas, grãos e forrageiras, contudo, precisa ser ampliado para diversas espécies vegetais.

O efeito bioestimulante como indutor do desenvolvimento das plantas foi observada para espécies como café Arábica, com estímulo para o crescimento da parte e das raízes, pinhão-manso, citromelo, marmelo, pimentão, melão e tomate, para massa seca total. Assim como proporciona incremento na qualidade da produção, melhorando a produtividade e a qualidade de pimentão, manga, feijão, cebola, pitaita, tangerina e cana-de-açúcar. Melhora o acúmulo de aminoácidos, proteínas e carboidratos de produtos de hortícolas, como o tomate e a cebola.

Aumenta a tolerância ao estresse hídrico no cultivo da cana-de-açúcar e a eficiência do uso da água da mangueira, contudo, precisa ser verificado para outras espécies, bem como ampliado para verificar a indução da tolerância aos demais estresses abióticos.

Estudos para a verificação da maior eficiência do uso de nutrientes, ainda precisam ser executados, embora já tenha sido comprovado maior acúmulo de boro e cobre nas folhas da videira. Nenhum estudo foi encontrado referente à disponibilização de nutrientes confinados no solo ou rizosfera. Portanto, o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. na redução do uso dos nutrientes ainda precisa ser verificada.

Embora o efeito na indução da tolerância ao estresse biótico esteja excluído da definição de bioestimulantes, foi comprovado que o *Lithothamnion* sp. induz acúmulo de fitoalexinas em

feijão e soja. Mas nenhum estudo verificou o efeito na redução das pragas e doenças dos cultivos agrícolas.

Estudos comprovam a dependência da dose, formas e intervalos de aplicação, fração da partícula, cultura, genótipo, estádios fenológicos e associações com outras moléculas bioestimulantes. Portanto, dada a variedade de possíveis efeitos, culturas e condições de cultivo, é necessário ampliar os estudos em campo para que sejam geradas recomendações técnicas aplicadas aos diversos sistemas de cultivo e espécies vegetais de interesse agrônômico.

Os mecanismos pelos quais o *Lithothamnion* sp. induz desenvolvimento das plantas ainda foram pouco investigados, mas foi comprovado aumento na fotossíntese e efeito auxínico ligado ao estímulo do crescimento radicular. Assim, sugere-se que sejam evidenciados os mecanismos fisiológicos envolvidos na resposta ao *Lithothamnion* sp. e comprovados seus efeitos na mitigação dos estresses ambientais.

São também sugeridos estudos que identifiquem os efeitos bioativos dos produtos contendo *Lithothamnion* sp. excluindo-se a fração mineral, de modo a se comprovar o efeito apenas da fração orgânica da alga.

Além disso, sugere-se ampliar os estudos na área de ficologia para a identificação das espécies do *Lithothamnion* e explorar os aspectos da sustentabilidade ambiental da exploração comercial.

Referências

- ALGAEBASE. *Taxonomy browser*. 2023. Available at: <https://www.algaebase.org>. Access on: Aug. 03, 2023.
- AMADO-FILHO, G. M.; MOURA, R. L.; BASTOS, A. C.; SALGADO, L. T.; SUMIDA, P. Y.; GUTH, A. Z.; FRANCINE-FILHO, R. B.; PEREIRA-FILHO, G. H.; ABRANTES, D. P.; BRASILEIRO, P. S.; BAHIA, R. G.; LEAL, R. N.; KAUFMAN, L.; KLEYPAS, J. A.; FARINA, M.; THOMPSON, F. L. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical south west Atlantic. *Plos One*, v. 7, n. 4, p. 1-6, 2012.
- AMADO-FILHO, G. M.; MANEVELDT, G. W.; PEREIRA-FILHO, G. H.; MANSO, R. C. C.; BAHIA, R. G.; BARROS-BARRETO, M. B.; GUIMARÃES, S. M. P. B. Seaweed diversity associated with a Brazilian tropical rhodolith bed. *Ciencias Marinas*, v. 36, n. 4, p. 371-391, 2010.
- AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, A. F.; MÓGOR, G.; LARA, G. B. de. Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. *Journal of Applied Phycology*, v. 32, n. 3, p. 2023-2030, 2020.
- AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, A. F.; CORDEIRO, E. C. N.; MÓGOR, G.; MARQUES, H. M. C.; LARA, G. B. de. Synergic combination of calcareous algae and cyanobacteria stimulate metabolic alterations improving plant growth and yield. *Journal of Applied Phycology*, v. 35, n. 1, p. 483-493, 2023.
- ARAÚJO, P. O. de L. e C.; GONÇALVES, F. C.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J.; CARVALHO, G. J. Crescimento e percentual de emergência de plântulas de citrumeleiro swingle em função dos substratos e das doses de corretivo à base de *Lithothamnion*, após cem dias da sementeira. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 4, p. 982-988, 2007.
- BERNARD, G.; ROMERO-RAMIREZ, A.; TAURAN, A.; PANTALOS, M.; DEFLANDRE, B.; GRALL, J.; GRÉMARE, A. Declining maerl vitality and habitat complexity across a

dredging gradient: insights from *in situ* sediment profile imagery (SPI). *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, e16463, 2019.

BERNARDES, R. F. B.; CARDOSO, A. F.; BERNARDES, M. H. D.; LANA, R. M. Q. Establishment of DRIS indices and foliar nutrient levels for corn plants fertilized with various nitrogen doses and source materials associated with marine alga *Lithothamnion*. *Scientific Electronic Archives*, v. 9, n. 4, p. 26-33, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, n. 134, p. 5, 15 jul. 2020a.

BRASIL. Decreto Nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, n. 100, p. 105, 27 maio 2020b.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 39, de 8 de agosto de 2018. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, n. 154, p. 19, 10 ago. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos*. Brasília, DF: MAPA, 2017.

CARNEIRO, P. B. de M.; LIMA, J. P. de; BANDEIRA, E. V. P.; XIMENES NETO, A. R.; BARREIRA, C. de A. R.; TÂMEGA, F. T. de S.; MATTHEWS-CASCON, H.; FRANKLIN JUNIOR, W.; MORAIS, J. O. de. Structure, growth and CaCO₃ production in a shallow rhodolith bed from a highly energetic siliciclastic-carbonate coast in the equatorial SW Atlantic ocean. *Marine Environmental Research*, v. 166, e105280, 2021.

CARVALHO, R. P.; PASQUAL, M.; SILVEIRA, H. R. de O.; MELO, P. C. de; BISPO, D. F. A.; LAREDO, R. R.; LIMA, L. de A. S. "Niágara Rosada" table grape cultivated with seaweed extracts: physiological, nutritional, and yielding behavior. *Journal of Applied Phycology*. v. 3, p. 2053-2064, 2019.

CAVALHO, V. F.; ASSIS, J.; SERRÃO, E. A.; NUNES, J. M.; ANDERSON, A. B.; BATISTA, M. B.; BARUFI, J. B.; SILVA, J.; PEREIRA, S. M. B.; HORTA, P. A. Environmental drivers of rhodolith beds and epiphytes community along the south western Atlantic coast. *Marine Environmental Research*, v. 154, e104827, 2020.

CHAVES, H. S.; GALDINO, G. C.; SANTIAGO, T. de S.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; MARIANO, D. de C.; OKUMURA, R. S. Níveis de saturação por bases e corretivos da acidez do solo no desenvolvimento do milho. In: REDIN, E. (org.). *Ciências rurais em foco*. Belo Horizonte: Poisson, 2022. p. 35-39.

COSTA, A. C.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. dos R.; MENEZES, T. P. de; MOREIRA, R. A.; DUARTE, M. H. Adubação orgânica e Lithothamnion no cultivo da pitaia vermelha. *Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 77-88, 2015.

COSTA, I. A.; HORTA, P. A.; BERGSTROM, E. R.; NUNES, J. M. C. Taxonomic study of crustose coralline algae of the northeastern Brazilian coast. *Phytotaxa*, v. 190, n. 1, p. 130-161, 2014.

COUTINHO, L. M.; GOMES, F. P.; SISSINI, M. N.; VIEIRA-PINTO, T.; HENRIQUES, M. C. M. de O.; OLIVEIRA, M. C.; HORTA, P. A.; BARRETO, M. B. B. de B. Cryptic diversity in non-geniculate coralline algae: a new genus *Roseolithon* (Hapalidiales, Rhodophyta) and seven new species from the western Atlantic. *European Journal of Phycology*, v. 57, n. 2, p. 227-250, 2022.

CRUZ, M. do C. M. da; HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D.; RAMOS, P. de S. Desenvolvimento do porta-enxerto de tangerineira 'Cleópatra'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 2, p. 471-475, 2008.

DEL BUONO, D. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture?: it is time to respond. *Science of the Total Environment*, v. 751, e141763, 2021.

DIAS, G. T. M. Granulados bioclásticos: algas calcárias. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 18, n. 3, p. 308-318, 2000.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, n. 1, p. 3-14, 2015.

UNIÃO EUROPEIA. *Regulamento (UE) 2019/1009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de junho de 2019 relativo aos fertilizantes e que revoga os Regulamentos (CE) n.º 1069/2009 e (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho e o Regulamento (CE) n.º 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho e os Regulamentos (CE) n.º 282/2004 e (CE) n.º 1099/2009 do Conselho*. 2019. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A02019R1009-20221003>. Access on: Aug. 04, 2023.

EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; COSTA, R. R. de. Desenvolvimento inicial da mamoneira, girassol e nabo forrageiro adubados com Lithothamnion. *Global Science and Technology*, v. 8, n. 2, p. 40-48, 2015.

EVANGELISTA, A. W. P.; VIEIRA, M. A.; ALVES JÚNIOR, J.; BRASIL, E. P. F.; CASAROLI, D. Seedling production of *Jatropha curcas* L. in substrates fertilized with Lithothamnion. *Bioscience Journal*, v. 32, n. 1, p. 132-139, 2016.

FARIA, V. de O.; RIBEIRO, L. L. O.; GODINHO, B. F.; SILVEIRA, B. B. de; SIMON, M. V.; STANGARLIN, J. R. Potencial indutor de fitoalexinas em feijão e soja por formulado a base de alecrim + Lithothamnion. *Revista Ambientale*, v. 14, n. 2, p. 1-9, 2022.

FOSTER, M. S. Rhodoliths: between rocks and soft places. *Journal of Phycology*, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2001.

FRAGKOPOULOU, E.; SERRÃO, E. A.; HORTA, P. A.; KOERICH, G.; ASSIS, J. Bottom trawling threatens future climate refugia of rhodoliths globally. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, e594537, 2021.

GÓMEZ-MATOS, M.; MARTÍNEZ-BALMORI, D.; COLL-GARCIA, Y. Alginato y sus oligosacáridos a partir de algas pardas de arribazón: preparación y bioactividad agrícola: una revision. *Revista Cubana de Química*, v. 35, n. 1, p. 46-67, 2023.

HAFLE, O. M.; SANTOS, V. A. dos; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. do C. M. da; MELO, P. C. de. Produção de mudas de mamoeiro utilizando bokashi e Lithothamnion. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 1, p. 245-251, 2009.

HAGEN, S. R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Precolumn phenylisothiocyanate derivatization and liquid-chromatography of amino-acids in food. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, v. 72, n. 6, p. 912-197, 1989.

HELIAS, M.; BUREL, T. Maerl-associated macroalgae in the bay of Brest (Brittany, France). *Marine Biodiversity*, v. 53, n. 1, e14, 2023.

HURTADO, A.; SELGAS, R.; SERRANO-AROCA, A. El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *Nereis*, n. 12, p. 137-149, 2020.

INGRASSIA, M.; PIERDOMENICO, M.; CASALBORE, D.; FALESE, F. G.; CHIOCCI, F. L. A review of rhodolith/maerl beds of the Italian seas. *Diversity*, v. 15, n. 7, e859, 2023.

KAPOORE, R. V.; WOOD, E. E.; LLEWELLYN, C. A. Algae biostimulants: a critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, v. 49, e107754, 2021.

- LOBO, J. T.; SOUSA, K. dos S. M. de.; PAIVA NETO, V. B. de; PEREIRA, R. N.; SILVA, L. dos S.; CAVALCANTE, I. H. L. Biostimulants on fruit yield and quality of mango cv. Kent grown in semiarid. *Journal of the American Pomological Society*, v. 73, n. 3, p. 152-160, 2019.
- MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: a review. *Sustainability*, v. 13, n. 3, e1318, 2021.
- MELO, P. C.; FURTINI NETO, A. E. Avaliação do Lithothamnion como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 3, p. 508-519, 2003.
- MÓGOR, A. F.; AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, G.; GEMIN, L. G. Biostimulant action of Lithothamnion sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. *Journal of Applied Phycology*, v. 33, n. 3, p. 1905-1913, 2021.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. dos R.; MENEZES, T. P. de; MELO, P. C. de. Granulado bioclástico associado ao raleio químico na produção e qualidade de tangerinas ponkan. *Citrus Research & Technology*, v. 33, n. 2, p. 81-90, 2012a.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, A. D. Produção e qualidade de frutos de pitaia-vermelha com adubação orgânica e granulado bioclástico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 1, p. 762-766, 2011.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A. de; MARQUES, V. B.; MELO, P. C. de. Produtividade e teores de nutrientes em cladódios de pitaia vermelha utilizando-se adubação orgânica e granulado bioclástico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, suppl., p. 714-719, 2012b.
- MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; MORAES, F. C.; SILVA BRASILEIRO, P.; SALOMON, P. S.; MAHIQUES, M. M.; BASTOS, A. C.; ALMEIDA, M. G.; SILVA JÚNIOR, J. M.; ARAUJO, B. F.; BRITO, F. P.; RANGEL, T. P.; OLIVEIRA, B. C. V.; BAHIA, R. G.; PARANHOS, R. P.; DIAS, R. J. S.; SIEGLE, E.; FIGUEIREDO JÚNIOR, A. G.; PEREIRA,

R. C.; LEAL, C. V.; HAJDU, E.; ASP, N. E.; GREGORACCI, G. B.; NEUMANN-LEITÃO, S.; YAGER, P. L.; FRANCINI-FILHO, R. B.; FRÓES, A.; CAMPEÃO, M.; SILVA, B. S.; MOREIRA, A. P. B.; OLIVEIRA, L.; SOARES, A. C.; ARAUJO, L.; OLIVEIRA, N. L.; TEIXIERA, J. B.; VALLE, R. A. B.; THOMPSON, C. C.; REZENDE, C. E.; THOMPSON, F. L. An extensive reef system at the Amazon river mouth. *Science Advances*, v. 2, n. 4, e1501252, 2016.

NEGREIROS, A. M. P.; SALES JÚNIOR, R.; MAIA JÚNIOR, F. F.; SILVA, R. B.; COSTA, J. A. P.; MEDEIROS, E. V. Lithothamnion calcareum nanoparticles increase growth of melon plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 47, n. 2, p. 426-431, 2019.

PAIVA, S. V.; CARNEIRO, P. B. M.; GARCIA, T. M.; TAVARES, T. C. L.; PINHEIRO, L. de S.; XIMENES NETO, A. R.; MONTALVERNE, T. C.; SOARES, M. O. Marine carbonate mining in the southwestern Atlantic: current status, potential impacts, and conservation actions. *Política Marítima*, v. 148, e105435, 2023.

PEREIRA FILHO, G. H.; SHINTATE, G. S. I.; KITAHARA, M. V.; MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; BAHIA, R. G.; MORAES, F. C.; NEVES, L. M.; FRANCINI, C. L.; GIBRAN, F. Z.; MOTTA, F. S. The southernmost Atlantic coral reef is off the subtropical island of Queimada Grande (24 S), Brazil. *Bulletin of Marine Science*, v. 95, n. 2, p. 277-287, 2019.

RAUT, S. H.; GADANI, M. C. Comparative characterization study of plant based calcium versus synthetic calcium. *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis*, v. 8, n. 3, p. 134-140, 2021.

RAZA, A.; RAZZAQ, A.; MEHMOOD, S. S.; ZOU, X.; ZHANG, X.; LV, Y.; XU, J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants*, v. 8, n. 2, e34, 2019.

RENDINA, F.; KALEB, S.; CARAGNANO, A.; FERRIGNO, F.; APPOLLONI, L.; DONNARUMMA, L.; RUSSO, G. F.; SANDULLI, R.; ROVIELLO, V.; FALACE, A.

Distribution and characterization of deep rhodolith beds off the Campania coast (SW Italy, Mediterranean Sea). *Plants*, v. 9, e985, 2020.

RICCI, M.; TILBURY, L.; DARIDON, B.; SUKALAC, K. General principles to justify plant biostimulant claims. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, e494, 2019.

RODRIGUES NETO, J.; PEREIRA, D. P.; TORRES, J. L. R.; CARVALHO, F. J.; CHARLO, H. C. O. Potassium sources and calcium and magnesium doses in carrot crop fertilization. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n. 2, p. 127-132, 2021.

RODRIGUEZ, W. D. M.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; HONORATO, M. V. Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with Lithothamium. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, v. 70, n. 2, p. 8177-8182, 2017.

RODRIGUEZ, W. D. M.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; LEANDRO, W. M.; DOMINGOS, M. V. H.; CASAROLI, D. Lithothamnion e vinhaça na produção de cana-de-açúcar orgânica irrigada e de sequeiro. *Irriga*, v. 23, n. 2, p. 390-401, 2018.

SABINO, P. H. de S.; CUNHA NETO, F. R. de; FILGUEIRAS, C. C.; ALVARENGA, A. A. Utilização de Lithothamnion na produção de mudas porta-enxerto do marmeleiro japonês *Chaenomoles senensis* (Koehne) (Rosales: Rosaceae). *Revista de Agricultura*, v. 88, n. 3, p. 191-198, 2013.

SHUKLA, P. S.; MARTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, e655, 2019.

SILVA, J. R. M.; OLIVEIRA, L. F. C. de; FRANCO, C. S.; OLIVEIRA, J. E. de; SILVERIO, B. B. Adsorption of metal ions in red marine algae *Lithothamnion calcareum* in the treatment of industrial effluents. *Ambiente & Água*, v. 16, n. 5, e2740, 2021.

SIMÕES, W. L.; SILVA, J. L.; MOUCO, M. A. C.; OLIVEIRA, C. P. M. de; SILVA, D. J.; OLIVEIRA, F. F. Marine calcium application on 'Palmer' mango production. *Agriambi*, v. 26, n. 8, p. 618-623, 2022.

SISSINI, M. N.; KOERICH, G.; BARROS-BARRETO, M. B. de; COUTINHO, L. M.; GOMES, F. P.; OLIVEIRA, W.; COSTA, I. A.; NUNES, J. M. de C.; HENRIQUES, M. C.; VIEIRA-PINTO, T.; TORRANO-SILVA, B. N.; OLIVEIRA, M. C.; GALL, L. L.; HORTA, P. A. Diversity, distribution, and environmental drivers of coralline red algae: the major reef builders in the southwestern Atlantic. *Coral Reefs*, v. 41, n. 3, p. 711-725, 2022.

SOUZA, H. A.; RAMOS, J. D.; MELO, P. C. de.; HAFLE, O. M.; RODIGUES, H. C. de A.; SANTOS, V. A. dos. Avaliação de doses e produtos corretores da acidez em variáveis biométricas na produção de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 607-612, 2009.

SOUZA, H. A.; MENDONÇA, V.; RAMOS, J. D.; FERREIRA, A. E.; ALENCAR, R. D. Doses de Lithothamnion e diferentes substratos na produção de mudas de maracujazeiro 'Doce'. *Revista Caatinga*, v. 20, n. 4, p. 23-30, 2007.

SOUZA, K. G.; MARTINS, L. R. Recursos minerais marinhos: pesquisa, lavra e beneficiamento. *Gravel*, v. 6, n. 1, p. 99-124, 2008.

TATE, D. F. Determination of nitrogen in fertilizer by combustion: collaborative study. *Journal of AOAC International*, v. 77, n. 4, p. 829-839, 1994.

TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A. TUYA, F.; SHUBERT, N.; AGUIRRE, J.; BASSO, D.; BASTOS, E. O.; BERCHEZ, F.; BERNADINO, A. F.; BOSCH, N. E.; BURDETT, H. L.; ESINO, F.; FERNÁNDEZ-GÁRCIA, C.; FRANCINI-FILHO, R. B.; GAGNON, P.; HALL-SPENCER, J. M.; HAROUN, R.; HOFMANN, L. C.; HORTA, P. A.; KAMENOS, N. A.; GALT, L. L.; MAGRIS, R. A.; TÂMEGA, F. T. S. Levelling-up rhodolith-bed science to address global-scale conservation challenges. *Science of the Total Environment*, v. 892, e164818, 2023.

VALE, N. F.; AMADO-FILHO, G. M.; BRAGA, J. C.; SILVA BRASILEIRO, P.; KAREZ, C. S.; MORAES, F. C.; BAHIA, R. G.; BASTOS, A. C.; MOURA, R. L. Structure and composition of rhodoliths from the Amazon river mouth, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 84, n. 1, p. 149-159, 2018.

VALE, N. F. L.; BRAGA, J. C.; BASTOS, A. C.; MORAES, F. C.; KAREZ, C. S.; BAHIA, R. G.; LEÃO, L. A.; PEREIRA, R. C.; AMADO-FILHO, G. M.; SALGADO, L. T. Structure and composition of rhodolith beds from the Sergipe-Alagoas basin (NE Brazil, southwestern Atlantic). *Diversity*, v. 14, e282, 2022.

VENEU, D. M.; SCHNEIDER, C. L.; MONTE, M. B. de M.; CUNHA, O. G. C.; YOKOYAMA, L. Cadmium removal by bioclastic granules (*Lithothamnion calcareum*): batch and fixed-bed column systems sorption studies. *Environmental Technology*, v. 39, n. 13, p. 1670-1681, 2018.

VENEU, D. M.; YOKOYAMA, L.; CUNHA, O. G. C.; SCHNEIDER, C. L.; MONTE, M. B. de M. Nickel sorption using bioclastic granules as a sorbent material: equilibrium, kinetic and characterization studies. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 8, n. 1, p. 840-852, 2019.

WHITE, J.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the Walters pico-tag system for the amino-acid-analysis of food materials. *Journal of Automatic Chemistry*, v. 8, n. 4, p. 170-177, 1986.

O artigo está formatado nas normas da revista Ciência Agronômica.

2.2 *Lithothamnion* sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMOEIRO

Resumo

A melhoria da qualidade das mudas do mamoeiro usando o *Lithothamnion* sp. varia entre as cultivares e seus efeitos sobre o status nutricional das plantas foram pouco explorados. Além disso, não se sabe se o efeito bioestimulante depende da jazida da extração da matéria prima. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito bioestimulante de diferentes fontes de *Lithothamnion* sp. na qualidade das mudas e no acúmulo de nutrientes do mamoeiro ‘Aliança’. O estudo foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 3 x 6, com 4 repetições de 20 plantas por parcela. O primeiro fator analisado foi três fontes comerciais de *Lithothamnion* sp. (LT Supra[®], Algen[®] e Primaz[®], respectivamente, extraídas de jazidas localizadas no Espírito Santo, Maranhão e Bahia) e o segundo fator foram seis doses de cada fonte incorporadas ao substrato (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg m⁻³). Após 37 dias foram avaliados o teor

relativo de clorofila, o desenvolvimento das mudas e o acúmulo de nutrientes nas folhas e raízes. Não houve interação entre as doses e as fontes utilizadas e, assim, o efeito isolado dos fatores foi analisado. O *Lithothamnion* sp. promoveu crescimento linear da área foliar específica e do comprimento radicular, enquanto o índice de sobrevivência e a fração da massa do caule foram maiores nas doses aproximadas de 4 kg m^{-3} . Nas folhas, o teor de cálcio e a relação potássio/cálcio nas raízes e os teores de cálcio, manganês, zinco e as relações cálcio/magnésio e potássio/cálcio foram crescentes em função das doses. A dose de *Lithothamnion* sp. para o máximo acúmulo de manganês nas raízes e magnésio nas folhas foram, respectivamente, $6,03 \text{ kg m}^{-3}$ e $7,60 \text{ kg m}^{-3}$. O *Lithothamnion* sp. oriundo da costa do Espírito Santo demonstrou melhor desempenho na bioestimulação. Para melhor qualidade de mudas recomenda-se a dose de 4 kg m^{-3} .

Palavras-chaves: *Carica papaya* L., alga calcária, bioinsumo, bioestimulante

Abstract

Improving the quality of papaya seedlings using *Lithothamnion* sp. varies between cultivars and its effects on the nutritional status of plants have been little explored. Furthermore, it is not known whether the biostimulant effect depends on the raw material extraction deposit. Therefore, the objective was to evaluate the biostimulant effect of different sources of *Lithothamnion* sp. on the quality of the seedlings and the accumulation of nutrients in the 'Aliança' papaya tree. The study was conducted in a randomized block design, 3 x 6 factorial scheme, with 4 replications of 20 plants per plot. The first factor analyzed was three commercial

sources of *Lithothamnion* sp. (LT Supra[®], Algen[®] and Primaz[®], respectively, extracted from deposits located in Espírito Santo, Maranhão and Bahia) and the second factor was six doses of each source incorporated into the substrate (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg m⁻³). After 37 days, the relative chlorophyll content, seedling development and nutrient accumulation in leaves and roots were evaluated. There was no interaction between the doses and sources used and, therefore, the isolated effect of the factors was analyzed. *Lithothamnion* sp. promoted linear growth of specific leaf area and root length, while the survival index and stem mass fraction were higher at doses of approximately 4 kg m⁻³. In the leaves, the calcium content and the potassium/calcium ratio in the roots and the calcium, manganese, zinc contents and the calcium/magnesium and potassium/calcium ratios increased depending on the doses. The dose of *Lithothamnion* sp. for the maximum accumulation of manganese in the roots and magnesium in the leaves were, respectively, 6.03 kg m⁻³ and 7.60 kg m⁻³. *Lithothamnion* sp. from the coast of Espírito Santo demonstrated better performance in biostimulation. For better seedling quality, a dose of 4 kg m⁻³ is recommended.

Keywords: *Carica papaya* L., calcareous algae, bioinput, biostimulant

INTRODUÇÃO

O mamão é uma fruta tropical de grande consumo no mundo com o Brasil entre os principais produtores (Food and Agriculture Organization, 2020). As regiões nordeste e sudeste são responsáveis pela maior parte da produção (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021).

No cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.), a produção das mudas é uma etapa que requer atenção, por ser uma espécie perene de ciclo curto e sensíveis as variações climáticas que culminam na redução do índice de sobrevivência no campo (Salinas *et al.*, 2021). As mudas mais vigorosas aumentam o sucesso na sobrevivência e posterior desenvolvimento da lavoura (Honoré *et al.*, 2020). Assim, a produção de mudas de qualidade necessita de atualizações e pesquisas que propiciem inovações para melhor desempenho, como uso de bioestimulantes.

Os bioestimulantes são uma alternativa para reduzir a quantidade de adubos e defensivos na produção de mudas por aumentar a eficiência do uso dos nutrientes, tolerância aos estresses abióticos e características da qualidade das plantas (Malik *et al.*, 2020). Dentre os bioestimulantes utilizados na produção de mudas, citam-se os extratos de algas (Franzoni *et al.*, 2022).

O *Lithothamnion* sp., uma alga calcária se apresenta em estudos recentes como promissora na bioestimulação de plantas (Ramos *et al.*, 2023). Porém, algumas considerações acerca da origem da extração da alga devem ser observadas, pois a constituição orgânica e mineral destes organismos é fortemente influenciada pelo ambiente que vive (Vale *et al.*, 2022). Assim, aspectos como os sedimentos marinhos e a associação com organismos bentônicos são componentes importantes na formação destas algas (Carvalho *et al.*, 2020).

No Brasil são exploradas três jazidas comerciais das algas calcárias do gênero *Lithothamnion* que estão localizadas na costa dos estados do Maranhão, Bahia e Espírito Santo. A composição mineral destas fontes difere principalmente nos teores de micronutrientes Zinco,

Ferro, Manganês e Boro, assim como, em sódio e substâncias húmicas (Ramos *et al.*, 2023). Os produtos comerciais, de acordo com a legislação brasileira, são registrados como fertilizantes minerais (Brasil, 2018). Entender as implicações dessas particularidades na composição e qualidade dos produtos é de suma importância para a utilização como bioestimulante vegetal.

Estudos relacionados com a produção de mudas têm demonstrado o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp., principalmente na promoção do crescimento radicular em café Árabica (*Coffea arabica* L.) (Rodriguez *et al.*, 2017), altura da planta em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (Evangeslista *et al.*, 2016), biomassa total em melão (*Cucumis melo* L.) (Negreiros *et al.*, 2019), biomassa da parte aérea em tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Amatucci *et al.*, 2020).

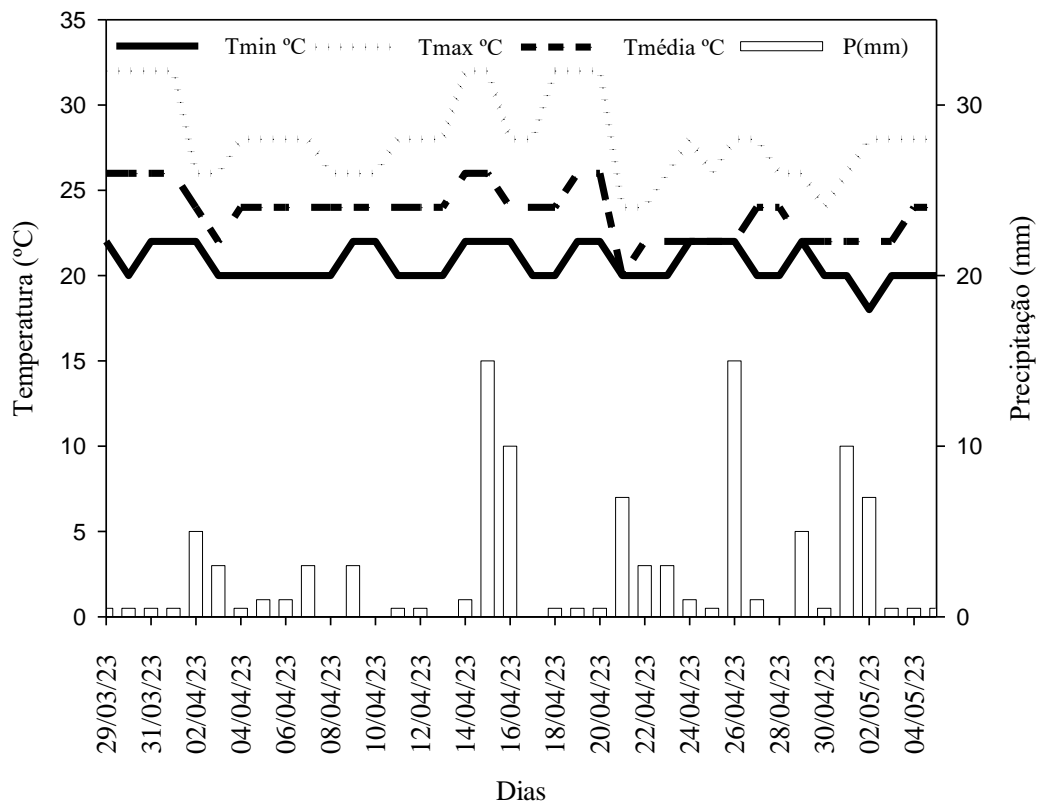
Para o mamoeiro, estudos com *Lithothamnion* sp. já foram conduzidos para indução do desenvolvimento em mudas com incorporação em substratos. Os resultados obtidos confirmaram o efeito genótipo dependente na definição da dose que reflete melhor desempenho como de Teixeira *et al.* (2009), em mamoeiro “Formosa” que observaram com a dose máxima de 2 kg m⁻³ acréscimo no desenvolvimento proporcionando crescimento no comprimento da parte área, biomassa da raiz, parte aérea e total. Enquanto Hafle *et al.* (2009) com grupo “Solo”, observaram que na dose de 3 kg m⁻³ houve crescimento apenas no comprimento da parte área.

Portanto, este estudo é fundamental para compreender o efeito bioestimulante das diferentes fontes de *Lithothamnion* sp. e no acúmulo de nutrientes do mamoeiro “Aliança”, assim como, identificar a dose que melhor reflete o desenvolvimento e qualidade das mudas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no viveiro da Fazenda Experimental de Linhares do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizado no município de Linhares no norte do estado do Espírito Santo. O clima do município de Linhares, segundo a classificação de Koppen, é Aw, sendo um clima do tipo tropical quente úmido com chuvas no verão e inverno seco. A precipitação e a temperatura foram registradas do local durante o período que compreende a germinação ao término do estudo (Figura 1).

Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura (°C) que compreende o período pós germinação das sementes até as análises dos parâmetros de qualidade das mudas.



O experimento foi conduzido em viveiro coberto com tela sombrite preta de 50% de sombreamento e a irrigação é realizada por meio de microaspersores com vazão de 12 litros por hora ($L h^{-1}$) acionados por temporizadores a cada 15 minutos durante 10 segundos. A semeadura foi realizada após sete dias do enchimento dos tubetes com sementes de mamoeiro ‘Aliança’ adquiridas de produtor local.

As sementes foram plantadas na profundidade de 2 cm no dia 13 de março de 2023 em tubetes com volume de 50 cm^3 contendo o substrato comercial Tropstrato[®], sendo três sementes por tubete. Foram utilizados 3 g por tubete do fertilizante de liberação lenta Basacote[®] (3 M) com a fórmula NPK 18-08-12. Após a emergência, aos 10 dias da semeadura foi efetuado o desbaste, mantendo-se uma plântula por tubete.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 6. O primeiro fator foi composto por três fontes comerciais do *Lithothamnion* sp. (LT Supra[®], Algen[®] e Primaz[®], respectivamente extraídas de jazidas localizadas no Espírito Santo, Maranhão e Bahia) (tabela 1) e o segundo, seis doses de cada. (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg m^{-3}). Foram avaliadas 4 repetições de 20 plantas, totalizando 1.680 tubetes. Cada uma das doses avaliadas foi incorporada ao substrato orgânico comercial, juntamente com o fertilizante de liberação lenta, utilizando baldes com volume de 10 L para realizar a mistura manualmente.

Tabela 1 - Composição química de nutrientes e substâncias húmicas dos produtos comerciais do *Lithothamnion* sp.

Parâmetro	Unidade	Valores analisados		
		Algen [®]	Primaz [®]	LT Supra [®]
Nitrogênio (N)		0,05	0,05	0,06
Fósforo (P)		0,06	0,06	0,09
Potássio (K)	%	0,03	0,04	0,06
Cálcio (Ca)		34,28	30,29	31,19
Magnésio (Mg)		3,21	3,62	2,06
Enxofre (S)		0,22	0,28	0,29
Boro (B)		31,17	30,24	48,06
Cobre (Cu)		0,16	0,94	0,97
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	717,01	4527,96	14765,56
Manganês (Mn)		11,91	49,67	481,89
Zinco (Zn)		1,19	2,88	10,50
Sódio (Na)		3744,25	4899,77	8084,48
Ácido fúlvico	%	6,77	5,40	9,31
Ácido húmico		3,16	4,91	0,93

*Extraída de Ramos *et al.* (2023).

Após 37 dias foram avaliados os índices de clorofilas e qualidade das mudas realizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do INCAPER no município de Linhares/ES. O teor relativo de clorofila foi estimado pelo medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta[®], Japão) em uma folha completamente expandida. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi determinado pela seguinte equação,
$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$
 proposta por Dickson *et al.* (1960), utilizando o comprimento de caule (CC) em cm e o diâmetro de caule (DC) em mm e as massas secas em grama (g).

A qualidade das mudas do experimento foi avaliada após lavagem cuidadosa das raízes com a retirada total do substrato. O desenvolvimento radicular foi mensurado pela medição do comprimento da maior raiz (CR), volume radicular (VR), massa seca do sistema radicular

(MSR), comprimento específico da raiz (CER), densidade do tecido radicular (DTR) e fração de massa de raiz (FMR). O desenvolvimento da parte aérea será avaliado pela contagem do número de folhas (NF), determinação da massa seca foliar (MSF), fração de massa foliar (FMF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), área foliar unitária (AFU), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), índice de robustez (relação entre CC/DC), massa seca do caule (MSC), comprimento específico do caule (CEC), fração de massa do caule (FMC) e massa seca da parte aérea (MSPA). A qualidade das mudas será mensurada pelo acúmulo de massa seca total (MST), relações entre CC/CR e MSPA/MSR e pelo índice de qualidade de Dickson (IQD).

A alocação de massa seca, expressa em g, foi obtida pela pesagem dos órgãos fracionados com o auxílio de uma balança analítica de precisão, após secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até peso constante. A FMF expressa em $g\ g^{-1}$ foi obtida pela massa seca da folha dividida pela massa seca total da planta, conforme Poorter *et al.* (2011). O CC foi obtido medindo-se do coleto até a gema apical utilizando uma régua graduada e expressando os resultados em cm. O DC será determinado na região do coleto, por meio de um paquímetro digital de precisão e expresso em milímetros (mm). O índice de robustez foi obtido pela relação entre CC/DC e o resultado expresso em $cm\ cm^{-1}$. A área foliar foi medida em cm^2 (AF), utilizando o aparelho de bancada TIPO SCANNER AREA METER LI-3100C. O CEC foi obtido dividindo-se o comprimento do caule pela massa seca do caule e o resultado expresso em $m\ g^{-1}$, conforme Poorter *et al.* (2011). A FMC foi obtida pela divisão da massa seca do caule

pela massa seca total da planta, expressa em g g^{-1} , conforme Poorter *et al.*, (2011). A MSPA foi obtida pela soma da MSF e MSC e expressa em g.

O CR foi mensurado com régua graduada considerando a raiz principal e expressando os resultados em cm. O VR obtido mediante o deslocamento da água em proveta graduada, procedimento que consiste em colocar as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água (90 mL de água) e medindo-se o volume deslocado (pela diferença de volume obtém-se a resposta direta por equivalência de unidades, considerando $1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$). O CER foi obtido dividindo-se o comprimento da raiz pela massa seca da raiz e o valor expresso em m g^{-1} , conforme Kramer-Walter *et al.* (2016). O DTR calculado pela massa seca da raiz dividida pelo volume da raiz fresca, conforme Kramer-Walter *et al.* (2016) e expresso em g cm^{-3} . A FMR calculada conforme Poorter *et al.* (2011), dividindo-se a massa seca da raiz pela massa seca total da planta e expressando os resultados em g g^{-1} .

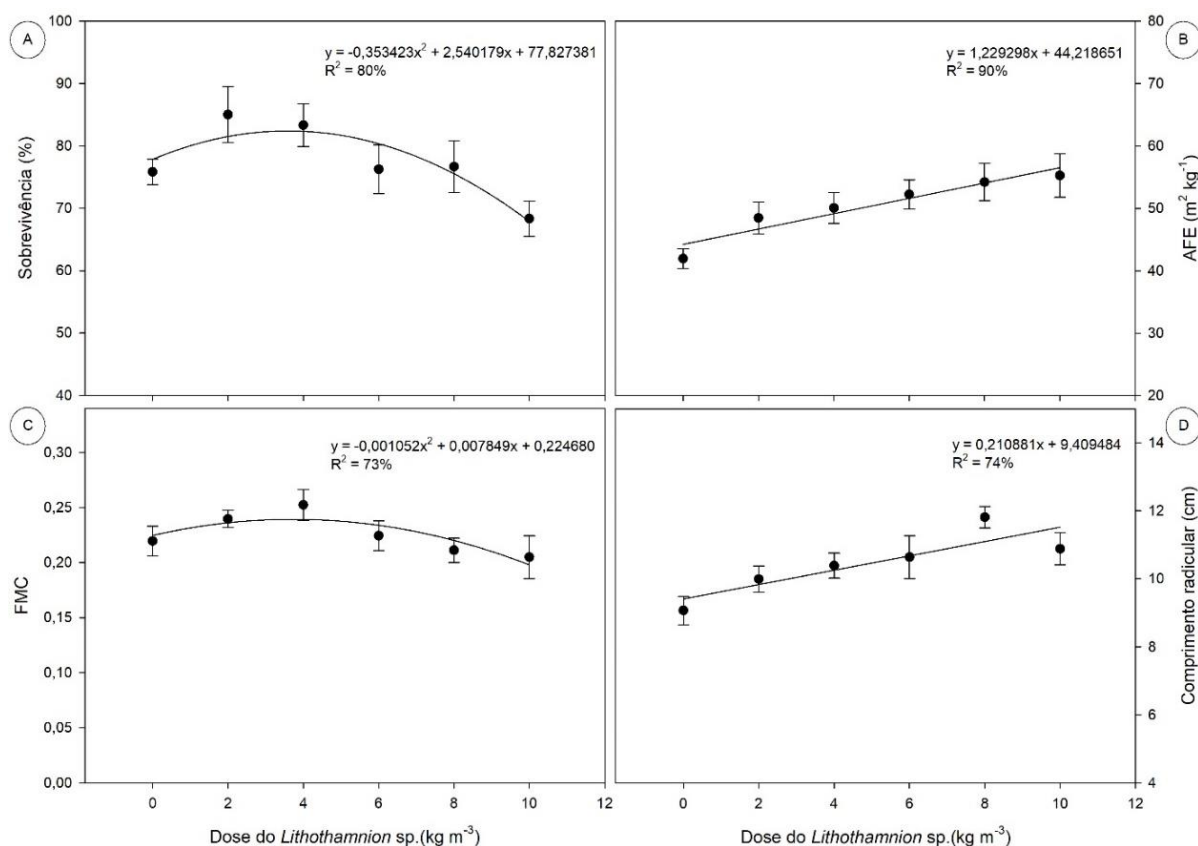
Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, nas variáveis quantitativas, as médias verificadas pela análise de regressão quanto ao ajuste polinomial, já as variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de Tukey para comparação entre as diferentes fontes, já para acúmulo de nutrientes utilizou-se Scott-Knot, todas considerando 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores para análise de qualidade de muda e acúmulo de nutrientes, apenas efeito significativo isolado dos fatores. Foi constatada diferença significativa ($p \leq 0,05$) na comparação entre as doses para as variáveis da qualidade de mudas, índice de sobrevivência, AFE, FMC e CR (Figura 2). As demais variáveis analisadas não apresentaram diferença significativa.

As médias para sobrevivência e FMC apresentaram a curva de regressão com comportamento quadrático (Figura 2 A e C). As doses que melhor refletem o crescimento de $3,54 \text{ kg m}^{-3}$ e $3,73 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, para cada variável. AFE e comprimento radicular apresentaram comportamento linear na curva de regressão (Figura 2 B e D), indicando que nestas variáveis doses maiores podem ser empregadas para refletir o máximo efeito da alga nestes parâmetros.

Figura 2 - Efeito isolado do fator dose expressa em equações de regressão que estimam a dose de *Lithothamnion* sp. que melhor refletem o efeito positivo no crescimento das mudas de mamoeiro “Aliança” nas variáveis Sobrevivência (A), Área Foliar Específica - AFE (B), Fração da Massa do Caule - FMC (C) e comprimento radicular - CR (D).



*As barras representam o desvio padrão.

Diversos fatores influenciam o crescimento e o desenvolvimento de mudas no viveiro. Dentre esses fatores, a nutrição é um fator limitante. Na nutrição das plantas via raiz ocorrem interações entre os nutrientes e o solo que afetam a disponibilidade dos nutrientes minerais. O *Lithothamnion* sp., quando disponibilizado via raiz, eleva pH do substrato, devido ao seu alto teor de carbonato de cálcio e magnésio, com efeito direto na disponibilização de nutrientes (Ramos *et al.*, 2023; Da Silva *et al.*, 2023). Os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S têm sua

disponibilidade elevada em pH mais altos. Por outro lado, pH alto disponibiliza menos micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, B às plantas (Gondal *et al.*, 2021). Assim, o pH influencia no crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas (Neina, 2019).

A elevação do pH do substrato causada pelo *Lithothamnion* sp. também é influenciada pelo teor de sódio (Na) que em sua forma de íon (Na^{2+}) age semelhante ao Ca^{2+} Mg^{2+} na capacidade de troca catiônica. Além disso, o Na^{2+} apresenta efeitos negativos para o desenvolvimento das plantas que podem ser constatados visualmente como perda de turgor (murchamento) e seca do ápice foliar. Nas condições deste experimento, as plantas não apresentaram tais efeitos, embora a quantidade de sódio na fonte que possui maior teor seja a razão de $8,08 \text{ g kg}^{-1}$ de *Lithothamnion* sp..

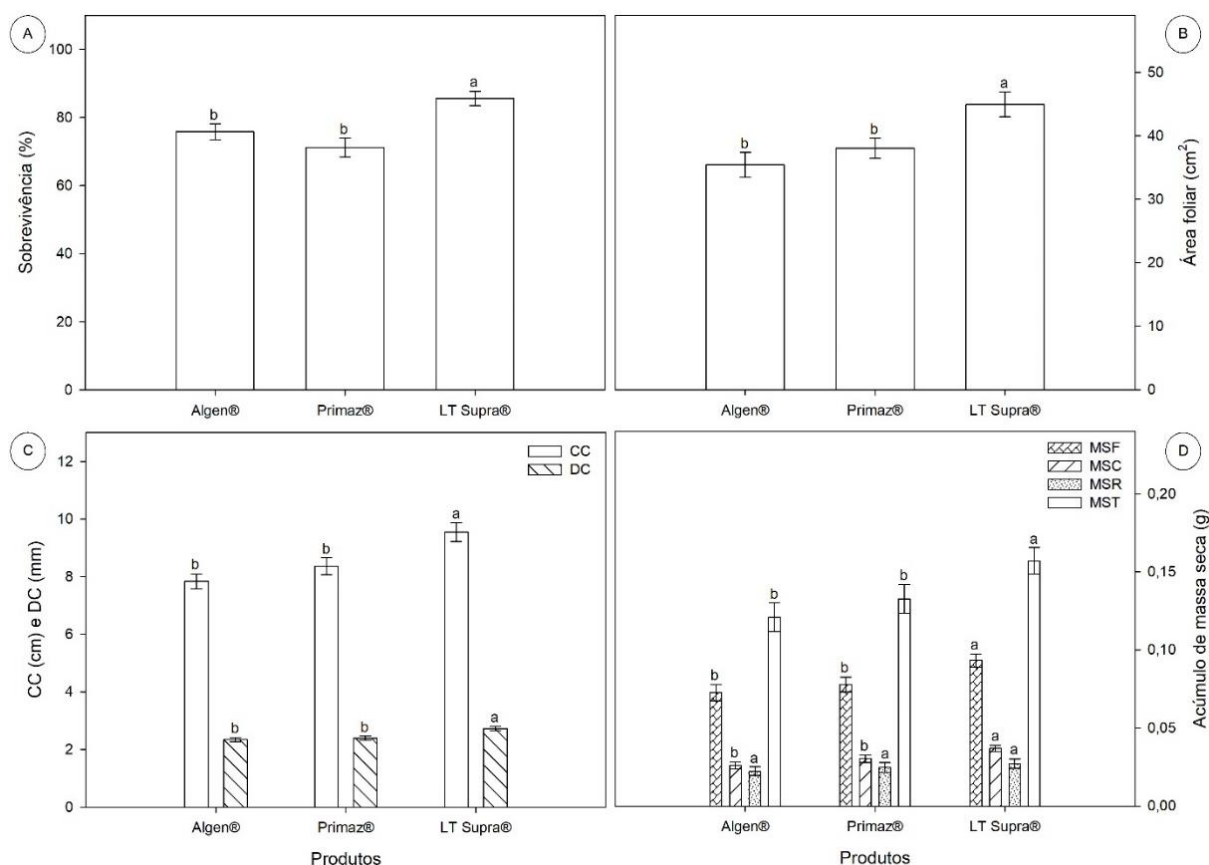
O *Lithothamnion* sp. é composto por elevados teores de Ca disponibilizado na forma de carbonato ou livre. Assim, o Ca^{2+} é o nutriente de maior relevância para interpretar as respostas das plantas na aplicação do *Lithothamnion* sp. Nas plantas, o Ca^{2+} exerce diversas funções nos processos vitais para o crescimento e desenvolvimento como estrutura na parede celular que reflete nos resultados associados a biomassa com influência no aumento da altura (Weng *et al.*, 2022) e, nas raízes, o alongamento dos pelos radiculares (Zhang *et al.*, 2022). Os resultados obtidos para AFE, FMC e CR (Figura 2. B, C e D) confirmam os efeitos do Ca^{2+} , bem como observado quando *Lithothamnion* sp. foi aplicado em mudas de mamoeiros nas doses de 2 kg m^{-3} (Teixeira *et al.*, 2009) e 3 kg m^{-3} (Hafle *et al.*, 2009), para as quais efeitos na altura das

mudas foram registrados. Além disso, no mamoeiro o Ca^{2+} foi constatado como segundo macronutrientes mais acumulado (Souza *et al.* 2021).

O desenvolvimento das mudas de mamoeiro requer quantidade e qualidade balanceada de nutrientes disponíveis. Assim, a adição do *Lithothamnion* sp. no substrato incrementa no sistema substrato-raiz mais nutrientes devido aos elevados teores de Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, os quais são fundamentais para o crescimento do mamoeiro. Souza *et al.* (2021) constataram maior acúmulo dos macronutrientes na sequência de K, Ca, Mg, S, P e micronutrientes Fe, Zn, Mn, Ni, Cu em mudas de mamoeiro. Desta maneira, o incremento de nutrientes ao substrato com a aplicação de *Lithothamnion* sp. conjugados com a demanda nutricional do mamoeiro indicam os resultados obtidos na sobrevivência.

Quando analisada isoladamente o fator origens do *Lithothamnion* sp. houve diferença significativa (Figura 3) na sobrevivência (A), AF (B), CC, DC (C) e acúmulo de massa seca (D). Para as demais variáveis avaliadas não houve diferença significativa. O *Lithothamnion* sp. oriundo do Espírito Santo (LT Supra[®]) obteve maiores médias para as variáveis índice de sobrevivência, área foliar, CC, DC, MSF, MSC, MST. Não houve diferença em MSR entre as fontes.

Figura 3 – Efeito isolado do fator fonte na qualidade das mudas em mamoeiro aliança nas variáveis sobrevivência (A), área foliar (B), Comprimento do Caule - CC e Diâmetro do Caule - DC (C) e acúmulo de massa seca (D).



*As barras representam o desvio padrão das médias. As letras representam a diferença estatísticas das médias das variáveis. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si na mesma divisão da figura (A, B, C, D) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A composição mineral das algas como o *Lithothamnion* sp. é fortemente influenciada pelo ambiente (Carvalho *et al.*, 2020). Assim, a diferença no teor dos nutrientes em razão da localização da jazida de extração onde o *Lithothamnion* sp. é originário é fundamental para entender o efeito bioestimulante. Assim, o *Lithothamnion* sp. com origem na costa do Espírito

Santo (LT supra[®]) se diferencia dos demais pelos elevados teores de B, Fe, Mn, Na e Zn (Figura 1.). Essa diferença, associada com alto teor de carbonato de cálcio e magnésio, comum ao *Lithothamnion* sp., influenciaram positivamente na nutrição em mudas do mamoeiro “Aliança” auferidas pelas médias maiores da fonte LT Supra[®]. Se, por um lado, os micronutrientes em alta concentrações são prejudiciais às plantas, por outro são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento quando em baixas concentrações (Sidhu *et al.*, 2019).

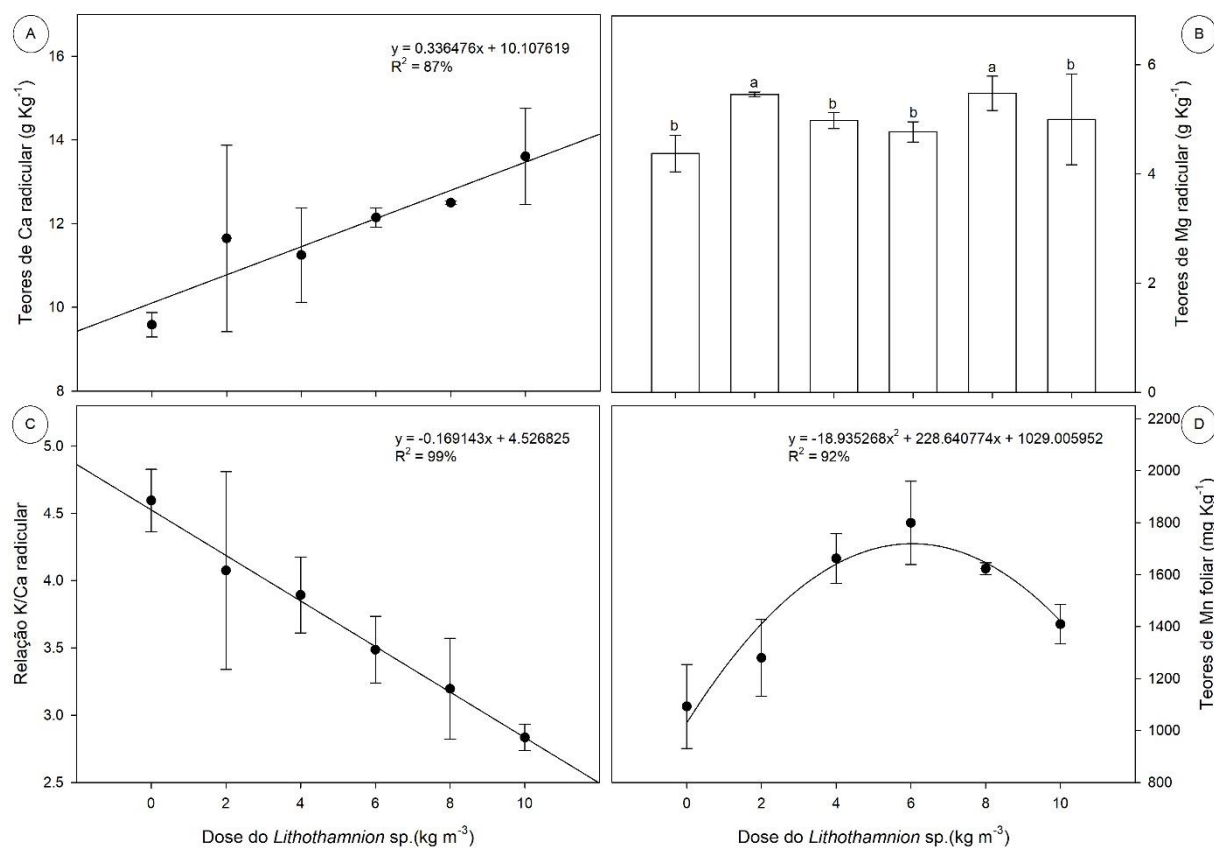
Esses nutrientes exercem funções importantes no metabolismo das plantas que podem explicar os resultados obtidos para fonte LT Supra[®]. O ácido bórico [B(OH)₃] age na estrutura celular, divisão e alongamento celular, regulação de absorção de íons na membrana celular, na relação água planta, na fotossíntese, no metabolismo do amido, na fixação e metabolismo de nitrogênio, gerenciamento de estresse abiótico e na sinalização com fatores de transcrição gênica (Kohli *et al.*, 2023). O Fe²⁺ atua na síntese de clorofila e na fotossíntese como parte estrutural das proteínas ferredoxina e ferredoxina-NADP⁺-redutase na cadeia transportadora de elétrons (Taiz *et al.*, 2017). Age ainda na respiração e no metabolismo do elemento nitrogênio e outros produtos (Ning *et al.*, 2023). O Mn²⁺ age na fotossíntese, respiração, eliminação de espécies reativas de oxigênio, defesa contra patógenos e sinalização hormonal (Alejandro *et al.*, 2020). O Zn²⁺ promove a formação de amido e o vigor das mudas (Sidhu *et al.*, 2019) e, portanto, maior crescimento e desenvolvimento das plantas.

Além disso, a composição do *Lithothamnion* sp. apresenta substâncias húmicas (Tabela 1). De acordo com Jindo *et al.* (2020), as substâncias húmicas exercem função bioestimulante.

Em mudas de mamoeiro, o uso de substâncias húmicas promoveu o crescimento (Dias *et al.*, 2020). As substâncias húmicas aumentam a absorção de nutrientes e estimulam a produção da auxina com papel fundamental no desenvolvimento radicular (Jindo *et al.*, 2020). Assim, a maior disponibilidade de nutrientes conjugada com a bioestimulação das substâncias húmicas pode ter favorecido os resultados observados para a fonte LT Supra[®].

Houve diferença significativa no acúmulo de nutrientes nas raízes no fator isolado dose (Figura 4), com Mg (B) não apresentando equação ajustada para regressão polinomial, mas demonstrou a diferença nas doses. A concentração de Ca (A), a relação K/Ca (C) e o Mn (D) mostraram ajuste polinomial para dose, com o Ca e a relação K/Ca com efeito linear e Mn quadrática com dose ideal ajustada de $6,03 \text{ kg m}^{-3}$.

Figura 4 – Efeito isolado do fator dose no acúmulo de nutrientes Cálcio - Ca (A), Magnésio - Mg (B), Potássio/Cálcio - K/Ca (C) e Manganês - Mn (D) nas raízes em mudas de mamoeiro “Aliança” em função das doses de *Lithothamnion* sp. de três fontes diferentes de produtos comerciais.



*As barras representam o desvio padrão. As letras representam a diferença estatísticas das médias entre as doses. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si na mesma divisão da figura (B) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor crescente de Ca²⁺ nas raízes em função do aumento nas doses de *Lithothamnion* sp. é um indicativo de uma alta demanda do mamoeiro na fase inicial de desenvolvimento, portanto, pode ser suprida por meio de fornecimento da alga calcária. No entanto, o acréscimo do *Lithothamnion* sp. deve ser realizado com cautela, uma vez que o Ca²⁺ em elevadas

concentrações interfere na absorção de outros nutrientes, seja no sinergismo ou antagonismo que são refletidos no crescimento e desenvolvimento das plantas (Weng *et al.*, 2022).

O Ca^{2+} é um nutriente bastante demandado pelas plantas por ser um componente estrutural e um importante mensageiro em uma ampla gama de aspectos fisiológicos de desenvolvimento, como nutricionais e os relacionados a estresses bióticos e abióticos (Thor, 2019). Como mensageiro na nutrição mineral das plantas fornece sinais para absorção dos macronutrientes N, P, K, Mg e nos micronutrientes Fe e Mn (Wang *et al.*, 2023). A sinalização de Ca é induzida pelo nível de Ca^{2+} no citoplasma (Srivastava *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2023). O qual, inclusive, sinalizar a absorção e homeostase do próprio Ca^{2+} (Wang *et al.*, 2023).

O Mg é um nutriente indispensável para o desenvolvimento vegetal está presente na molécula de clorofila, ácidos nucleicos, proteínas, além de ser um importante cofator enzimático (Wang *et al.*, 2023). Seu fornecimento equilibrado na fase inicial de desenvolvimento afeta positivamente as fases subsequentes na proporção da biomassa parte aérea-raiz (Hauer-Jákli; Tränkner, 2019).

O acúmulo Mg^{2+} nas raízes é influenciado pela maior disponibilidade no substrato e, conseqüentemente, pela absorção pelas plantas em razão do aumento do pH do substrato como efeito do *Lithothamnion* sp., dada a composição rica em carbonato de cálcio e magnésio (Ramos *et al.*, 2023). Assim, como é afetado por maior presença de Ca^{2+} , que também age como mensageiro nutricional desempenhando um papel crítico na regulação da homeostase dinâmica do Mg^{2+} (Wang *et al.*, 2023). A sinalização de Ca^{2+} através da CBLs (proteínas semelhantes à

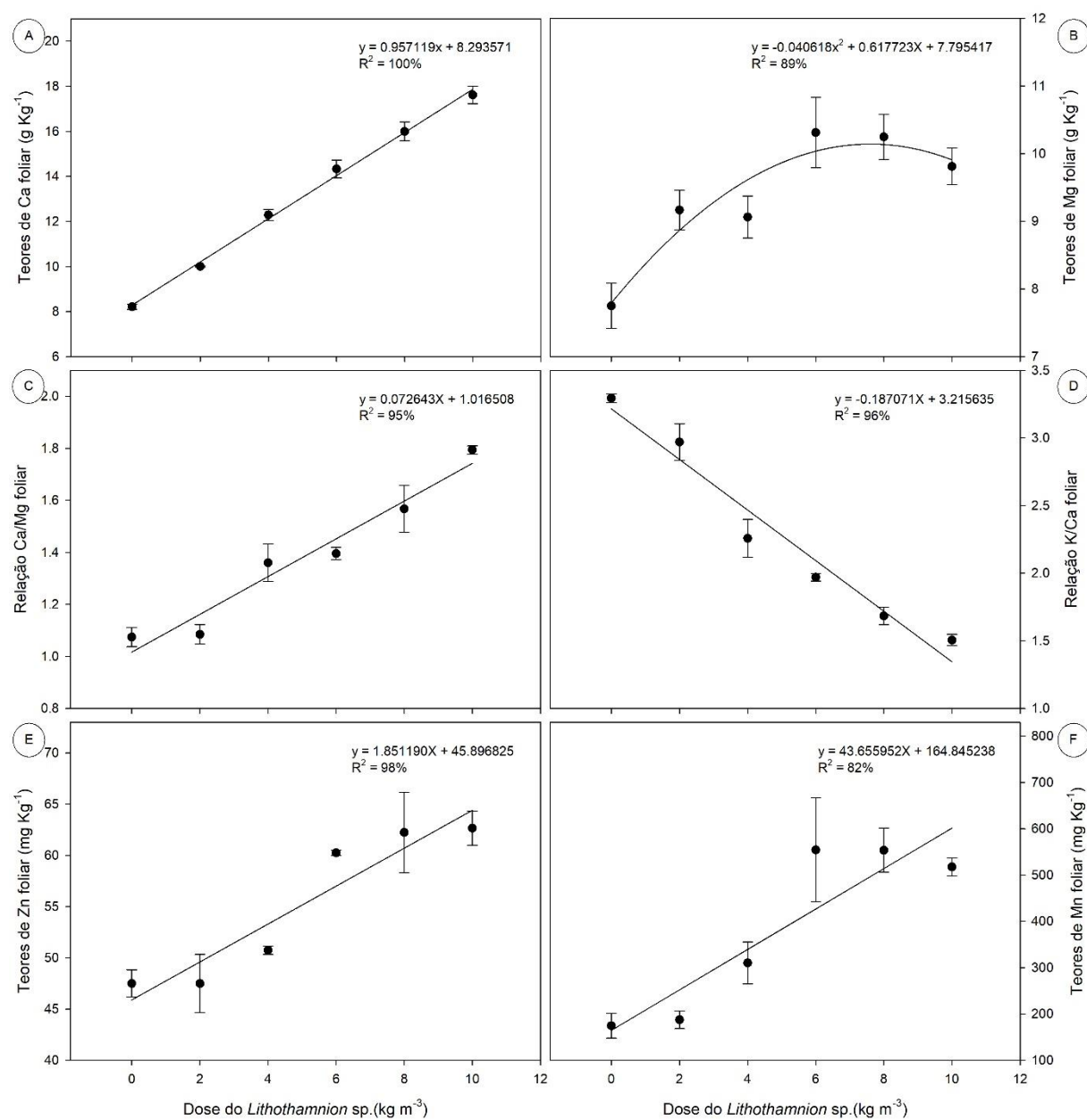
calcineurina B) armazena Mg^{2+} no vacúolo para equilibrar as quantidades no citosol (Tang *et al.*, 2020). Essas evidências indicam a importância do Ca^{2+} na bioestimulação das plantas com aplicação do *Lithothamnion* sp.

A relação K/Ca é fortemente influenciada pela concentração de Ca, os resultados indicam que maiores doses de Ca^{2+} reduzem a acumulação de K^+ , sendo o inverso também verdadeiro. Esses dois nutrientes são catiônicos com sítios de absorção semelhantes. Essa característica apresenta antagonismo na medida que se eleva o fornecimento do Ca^{2+} (Weng *et al.*, 2022). Essas interações são mais comuns em micronutrientes (Rietra *et al.*, 2017). No entanto, ocorre com frequência entre o K^+ e Ca^{2+} , pois a via de absorção de K^+ , o complexo CBL/CIPK23 (proteínas semelhantes a Calcineurina B/proteínas quinases que interagem com CBLs) é regulado pelo Ca^{2+} (Tang *et al.*, 2020). Assim, torna essa relação um fator nutricional extremamente importante no crescimento e desenvolvimento das plantas.

A disponibilidade de Mn^{2+} é fortemente afetada pelo pH, com relação de disponibilidade maior para ambientes mais ácidos e menor para mais alcalinos (Neina, 2019). Os resultados obtidos nas condições deste experimento corroboram com essa relação ao constatar que a elevação das doses do *Lithothamnion* sp. interferem diretamente a acumulação nos tecidos radiculares. Além disso, a sinalização de Ca^{2+} é responsável pela absorção, transporte e homeostase do Mn (Wang *et al.*, 2023).

Nas folhas houve diferença significativa no fator isolado dose (Figura 5). Houve ajuste para regressão polinomial nas doses para os nutrientes Ca (A), Zn (E), Mn (F), a relação Ca/Mg (D) e K/Ca (D) com comportamento linear e Mg (B) quadrática com dose ideal de 7,60 kg m⁻³.

Figura 5 – Efeito isolado do fator dose no acúmulo de nutrientes Cálcio - Ca (A), Magnésio - Mg (B), Cálcio/magnésio - Ca/Mg (C) e Potássio/Cálcio - K/Ca (D), Zinco - Zn (E) e Manganês - Mn (F) nas folhas em mudas de mamoeiro “Aliança” em função de dose de *Lithothamnion* sp. de três fontes diferentes de produtos comerciais.



*As barras representam o desvio padrão.

Assim como nas raízes, o acúmulo de Ca nas folhas foi linear (Figura 5 A), indicando a possibilidade da aplicação de doses mais altas de *Lithothamnion* sp. em mudas mamoeiro “Aliança”. Estes resultados apontam a demanda nutricional por Ca^{2+} no mamoeiro, corroborado por Souza *et al.* (2021), que constataram o Ca como segundo mineral mais acumulado. A demanda nutricional, embora não seja foco do estudo interfere na dinâmica de absorção e acúmulo dos nutrientes.

O acúmulo de Mg nas folhas (Figura 5 B) indica maior sensibilidade do mamoeiro à altas concentrações deste nutriente, visto que ao elevar as doses de *Lithothamnion* sp. foi constatada uma leve inibição da acumulação a partir da dose ajustada de $7,60 \text{ kg m}^{-3}$. Esse resultado demonstra também o antagonismo do Ca^{2+} na absorção do Mg^{2+} , corroborado por Madani *et al.* (2015) em estudo com mamoeiro que ao elevar as doses de Ca, constatou diminuição na acumulação de Mg^{2+} nas folhas. O Mg^{2+} é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas seu fornecimento adequado possibilita elevação na assimilação líquida de CO_2 , equilíbrio na partição de biomassa entre a parte aérea e a raiz e redução das espécies reativas de oxigênio (Hauer-Jákli; Tränkner, 2019).

A relação Ca/Mg (Figura 5 C) indica equilíbrio da acumulação, embora o Mg^{2+} tenha apresentado inibição a partir de doses mais elevadas quando analisado separadamente. Esses nutrientes são cátions trocáveis que, em desequilíbrio, afetam a absorção de outros cátions por competirem pelos mesmos sítios de absorção (De Bang *et al.*, 2021). Por exemplo, o K^+ possui

uma elevada sensibilidade na absorção quando em meio com altas concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Wacal *et al.*, 2021).

Os resultados da relação K/Ca com comportamento da curva de regressão linear negativa ao elevar a doses, confirmam a interação antagonica entre Ca^{2+} e K^+ . Esse antagonismo foi evidenciado na aplicação de *Lithothamnion* sp. em dose elevada em cenoura (*Daucus carota* L.) que resultou em perdas na absorção de K^+ e, conseqüentemente, na produtividade (Rodrigues Neto *et al.*, 2021).

Os resultados obtidos para acumulação dos nutrientes Zn^{2+} e Mn^{2+} em curva de regressão linear crescente confirmam o antagonismo catiônico na absorção dos nutrientes, que mesmo em abundância no *Lithothamnion* sp. (Tabela 1), ainda apresentaram uma elevada demanda pela planta. Esses nutrientes quando disponibilizados em doses inadequadas podem suceder carência ou toxidez causando prejuízos no crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas (Sidhu *et al.*, 2019). Embora requeridos em baixas quantidades, esses nutrientes são essenciais para as plantas por estarem envolvidos em diversos processos vitais. O Zn^{2+} está associado ao sistema enzimático e Mn^{2+} na fotossíntese (Saini *et al.*, 2019).

Diferente da raiz, o comportamento do Mn nas folhas foi linear, demonstrando que o mamoeiro mesmo com acúmulo nas raízes afetado pelas doses do *Lithothamnion* sp. e elevação do pH não apresentou esse comportamento nas folhas. Isso indica a demanda por Mn^{2+} nos órgãos são diferentes, já que esse nutriente está ligado ao processo fotossintético (Sidhu *et al.*,

2019; Saini *et al.*, 2019), mas também implica na redução de absorção a partir da elevação das doses de *Lithothamnion* sp. que podem afetar a translocação e acumulação nas folhas.

Quando comparadas isoladamente a acumulação de nutrientes nas folhas e nas raízes em função das fontes de *Lithothamnion* sp. houve diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) nas médias dos nutrientes S, Zn e relação N/S nas folhas e K, Mg, e, relações N/Mg, K/Mg, N/Cu, N/B, P/Mg e P/Zn. Onde o *Lihtothamnion* sp. oriundo do Maranhão (Algen[®]) apresentou as maiores médias (Tabela 2.).

Tabela 2 – Efeito isolado do fator fonte no acúmulo de nutrientes nas folha e raízes em mudas de mamoeiro “Aliança” em função das fontes de *Lithothamnion* sp..

Parâmetro	Órgão	Valores analisados		
		Algen [®]	Primaz [®]	LT Supra [®]
S	Folha	6,86a	6,98a	6,18b
Zn		57,63a	56,13a	51,17b
N/S		8,32b	8,37b	9,05a
K	Raiz	46,46a	40,05b	38,33b
Mg		4,44b	5,25a	5,34a
N/Mg		8,57a	6,66b	6,65b
K/Mg		10,65a	7,74b	7,60b
N/Cu		0,88a	0,63b	0,70b
N/B		0,31b	0,24b	0,34a
P/Mg		2,72a	2,36b	2,14b
P/Zn		0,07a	0,07a	0,06b

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Os resultados indicam que o *Lithothamnion* sp. do Maranhão (Algen[®]) foi capaz de acumular maiores quantidades de nutrientes. No entanto, essa capacidade não foi traduzida na qualidade das mudas de mamoeiro em que, o *Lithothamnion* sp. do Espírito Santo (LT supra[®]), mesmo com médias mais baixas, apresentou melhores resultados.

CONCLUSÕES

1. O *Lithothamnion* sp. apresentou efeito bioestimulante nas mudas de mamoeiro ao promover crescimento e desenvolvimento expressados no acúmulo de massa seca (MSF, MSC, MSR e MST) no caule (CC, DC, FMC), na folha (AFE e AF), na raiz (CR), assim como no índice de sobrevivência.
2. As doses de *Lithothamnion* sp influenciaram o crescimento e desenvolvimento das mudas de mamoeiro. A dose que melhor refletiu a qualidade das mudas de mamoeiro “Aliança” foi 4 kg m^{-3} .
3. A dose de *Lithothamnium* sp. para o máximo acúmulo de manganês nas raízes e magnésio nas folhas foram, respectivamente, $6,03 \text{ kg m}^{-3}$ e $7,60 \text{ kg m}^{-3}$.
4. A diferença na composição do *Lithothamnion* sp. de origem da costa do Espírito Santo (LT supra[®]) foi mais eficiente ao promover efeitos bioestimulantes no crescimento e desenvolvimento de mudas de mamoeiro “Aliança”.
5. O Ca tem um papel fundamental nas relações de bioestimulação do *Lithothamnion* sp. por estar envolvido na estrutura das células vegetais e como mensageiros para os processos fisiológicos importantes para o crescimento e desenvolvimento vegetal.
6. O *Lithothamnion* sp. de origem da costa do Maranhão (Algen[®]) foi mais eficiente na acumulação de nutrientes.

REFERÊNCIAS

ALEJANDRO, S. et al. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 300, 2020.

AMATUSSI, J. O. *et al.* Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, v.32, n.3, p.2023-2030, 2020.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 39, de 8 de agosto de 2018. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 154, p. 19, 10 ago. 2018.

CARVALHO, V. F. *et al.* Environmental drivers of rhodolith beds and epiphytes community along the South Western Atlantic coast. **Marine Environmental Research**, v. 154, p. 1-13, 2020.

DA SILVA, M. C. M. et al. Influência da utilização de cálcio orgânico oriundos de algas do gênero *Lithothamnium calcareum* em solos de pastagens. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 8, p. e12612842743-e12612842743, 2023.

DE BANG, T. C. et al. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, n. 5, p. 2446-2469, 2021.

DIAS, T. J. *et al.* Morphological and physiological changes in papaya seedlings irrigated with saline water and application of humic substances. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3290-e3290, 2020.

DICKSON, A. *et al.* Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v. 36, p.10-13, 1960.

EVANGELISTA, A. W. P. *et al.* Seedling production of *Jatropha curcas* L. in substrates fertilized with *Lithothamnion*. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 132-139, 2016.

FAO, Faostat. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar 4.3 Sistema de Análises Estatísticas. Lavras: UFLA, 1999.

FRANZONI, Giulia *et al.* Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, p. 189, 2022.

GONDAL, A. H. *et al.* Influence of soil pH and microbes on mineral solubility and plant nutrition: A review. **International Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 71-81, 2021.

HAFLE, O. M. *et al.* Produção de mudas de mamoeiro utilizando Bokashi e Lithothamnion. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n.1, p.245-251, 2009.

HAUER-JÁKLI, M.; TRÄNKNER, M. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: a systematic review and meta-analysis from 70 years of research. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 766, 2019.

HONORÉ, M. N. *et al.* Effects of the size of papaya (*Carica papaya* L.) seedling with early determination of sex on the yield and the quality in a greenhouse cultivation in continental Europe. **Scientia Horticulturae**, v. 265, p. 109218, 2020.

IBGE, Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 14 dez. 2022.

JINDO, K. *et al.* From lab to field: role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 426, 2020.

KOHLI, S. K. *et al.* Boron in plants: Uptake, deficiency and biological potential. **Plant Growth Regulation**, v. 100, n. 2, p. 267-282, 2023.

KRAMER-WALTER, K. R. *et al.* Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 5, p. 1299-1310, 2016.

MADANI, B. *et al.* Influence of calcium foliar fertilization on plant growth, nutrient concentrations, and fruit quality of papaya. **HortTechnology**, v. 25, n. 4, p. 496-504, 2015.

MALIK, A. *et al.* Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. **Agronomy**, v. 11, n. 14, p. 1-24, 2021.

MÓGOR, A. F. *et al.* Biostimulant action of Lithothamnium sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. **Journal of Applied Phycology**, v.33, n.3, p.1905-1913, 2021.

NEGREIROS, A. M. P. *et al.* *Lithothamnion calcareum* Nanoparticles Increase Growth of Melon Plants. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, n. 2, p. 426-431, 2019.

NEINA, Dora. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. **Applied and environmental soil science**, v. 2019, p. 1-9, 2019.

NING, X. *et al.* Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.

POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2011.

RAMOS, E. P. *et al.* *Lithothamnion* sp. as biostimulant in plant cultivation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, e76273, 2023.

RIETRA, R. P. J. J. *et al.* Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 48, n. 16, p. 1895-1920, 2017.

RODRIGUES NETO, J. *et al.* Potassium sources and calcium and magnesium doses in carrot crop fertilization. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n. 2, p. 127-132, 2021.

RODRIGUEZ, W. D. M. *et al.* Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with lithothamium. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v.70, p.8177-8182, 2017.

SAINI, H. *et al.* Differential responses of Fe, Zn, B, Cu and Mg on growth and quality attributes of fruit crops. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 5, p. 01-05, 2019.

SALINAS, I. *et al.* Active control of greenhouse climate enhances papaya growth and yield at an affordable cost. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 378, 2021.

SIDHU, M. K. *et al.* Role of micronutrients in vegetable production: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1S, p. 332-340, 2019.

DA SILVA, M. C. M. *et al.* Influência da utilização de cálcio orgânico oriundos de algas do gênero *Lithothamnium calcareum* em solos de pastagens. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 8, p. e12612842743-e12612842743, 2023.

SOUZA, F. E. C. de. Growth and accumulation of nutrients in papaya tree seedlings grown on organic substrates. **Revista Ceres**, v. 68, n.4, p. 267-275,2021.

SRIVASTAVA, A. K. et al. Emerging concepts of potassium homeostasis in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 2, p. 608-619, 2020.

TANG, R.-J. et al. The CBL–CIPK calcium signaling network: Unified paradigm from 20 years of discoveries. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 6, p. 604-617, 2020.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TEIXEIRA, G. A. *et al.* Produção de mudas de mamoeiro ‘Formosa’ em substratos com doses de *Lithothamnion*. **Revista da FZVA**, v.16, n.2, p.220-229, 2009.

THOR, K. Calcium nutrient and messenger. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 440, 2019.

VALE, N. F. L. *et al.* Structure and Composition of Rhodolith Beds from the Sergipe-Alagoas Basin (NE Brazil, Southwestern Atlantic). **Diversity**, v. 14, n. 282, p. 1-23, 2022.

WACAL, C. et al. Growth and K nutrition of sesame (*Sesamum indicum* L.) seedlings as affected by balancing soil exchangeable cations Ca, Mg, and K of continuously monocropped soil from upland fields converted paddy. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 819, 2019.

WANG, T. et al. Calcium signaling in plant mineral nutrition: From uptake to transport. **Plant Communications**, v. 4, p. 100678, 2023.

WENG, X. *et al.* Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 887098, 2022.

ZHANG, X. et al. ROS and calcium oscillations are required for polarized root hair growth.

Plant Signaling & Behavior, v. 17, n. 1, p. 2106410, 2022.

O artigo está formatado nas normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical.

2.3 *Lithothamnion* sp. EM SOLUÇÃO AQUOSA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO

Resumo

A obtenção de mudas de mamoeiro de qualidade é um fator limitante na produção de mamão. A utilização de bioestimulantes se apresentam como alternativas tecnológica para alcançar qualidade das mudas. O *Lithothamnion* sp. tem apresentados resultados promissores na bioestimulação de mudas, inclusive no mamoeiro, mas os efeitos são dependentes da dose e cultivar. As informações dos efeitos nutricionais são escassas, assim como a influência das diferentes fontes de *Lithothamnion* sp. e a tecnologia de aplicação em solução aquosa. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito bioestimulante de diferentes fontes de *Lithothamnion* sp. na qualidade das mudas e no acúmulo de nutrientes do mamoeiro ‘Aliança’ em aplicações em solução aquosa. O estudo foi conduzido em delineamento blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 6, com 4 repetições de 20 plantas por parcela. O primeiro fator, duas fontes comerciais de *Lithothamnion* sp. (LithoMicron[®] e Algen Micron[®], respectivamente originários do Espírito Santo e Maranhão), enquanto o segundo, foram seis doses de cada fonte (0, 1, 2, 3,

4, 8 g L⁻¹). Após 42 dias foram avaliados o teor relativo de clorofila, o desenvolvimento das mudas, troca gasosas e o acúmulo de nutrientes das folhas e raízes. Não foi encontrada interação entre as doses e as fontes utilizadas, contudo, houve efeito isolado. O *Lithothamnion* sp. promoveu crescimento linear na área foliar, comprimento caulinar e massa seca total. No volume radicular a dose de 5,54 g L⁻¹ expressou maior crescimento. Os teores nas raízes foram lineares crescentes em Ca, Mg, enquanto em Mn e a relação K/Ca decrescentes. Nas folhas, foram lineares para Ca, relações Ca/Mg e Ca/Mn, enquanto no Mn foi decrescente. O *Lithothamnion* sp. oriundo do Espírito Santo mostrou melhor desempenho na qualidade das mudas, trocas gasosas e acúmulo de nutrientes. Para melhor qualidade das mudas recomenda-se 5,54 g L⁻¹ em aplicações semanais.

Palavras-chaves: Bioestimulante, bioinsumo, alga calcária e *Carica papaya* L.

Abstract

Obtaining quality papaya seedlings is a limiting factor in papaya production. The use of biostimulants is presented as a technological alternative to achieve seedling quality. *Lithothamnion* sp. has shown promising results in the biostimulation of seedlings, including papaya, but the effects are dose and cultivar dependent. Information on nutritional effects is scarce, as is the influence of different sources of *Lithothamnion* sp. and application technology in aqueous solution. Therefore, the objective of this study was to evaluate the biostimulant effect of different sources of *Lithothamnion* sp. on the quality of seedlings and nutrient accumulation of papaya 'Aliança' in applications in aqueous solution. The study was conducted in a randomized block design, 2 x 6 factorial scheme, with 4 replications of 20 plants per plot. The first factor, two commercial sources of *Lithothamnion* sp. (LithoMicron[®] and Algen Micron[®], respectively originating from Espírito Santo and Maranhão), while the second, there were six doses of each source (0, 1, 2, 3, 4, 8 g L⁻¹). After 42 days, the relative chlorophyll

content, seedling development, gas exchange and nutrient accumulation in leaves and roots were evaluated. No interaction was found between the doses and sources used, however, there was an isolated effect. *Lithothamnion* sp. promoted linear growth in leaf area, stem length and total dry mass. In root volume, the dose of 5.54 g L⁻¹ showed greater growth. The contents in the roots were linearly increasing in Ca, Mg, while in Mn and the K/Ca ratio were decreasing. In leaves, Ca, Ca/Mg and Ca/Mn ratios were linear, while in Mn it was decreasing. *Lithothamnion* sp. originating from Espírito Santo showed better performance in terms of seedling quality, gas exchange and nutrient accumulation. For better seedling quality, 5.54 g L⁻¹ is recommended in weekly applications.

Keywords: Biostimulant, bioinput, calcareous algae and *Carica papaya* L.

Introdução

A produção de mamão se concentra na faixa tropical do globo com o Brasil entre os principais produtores desta fruta (Fao 2020). O estado do Espírito Santo é destacado como maior produtor (Ibge 2021). Nessa região o cultivo apresenta um aspecto nômade devido a questões fitossanitárias que torna a produção mais dinâmica. Alguns fatores são determinantes para o bom desempenho no cultivo do mamoeiro como a produção de mudas de qualidade (Honoré *et al.* 2020).

Para alcançar a qualidade de mudas diversas estratégias tecnológicas têm sido adotadas como utilização de substratos (Meirelles *et al.* 2023), recipientes (Alves *et al.* 2020), e doses de fertilizantes (Machado *et al.* 2021). Recentemente, uma nova categoria de insumos, os bioestimulantes, tem demonstrado grande potencial por proporcionar maior eficiência no uso dos nutrientes, tolerância aos estresses abióticos e características da qualidade das mudas (Malik *et al.* 2020).

O extrato de alga tem se destacado como bioestimulante na produção de mudas (Franzoni et al. 2022). O *Lithothamnion* sp. uma alga vermelha abundante na costa brasileira apresenta em estudos recentes resultados promissores na bioestimulação de mudas (Ramos et al. 2023). No entanto, sua composição é fortemente influenciada pelo ambiente (Vale et al. 2022), assim produtos podem apresentar resultados diferentes uma característica comum aos extratos de algas (El Boukhari et al. 2020).

O *Lithothamnion* sp. possui três jazidas licenciadas para extração no Brasil, localizadas nas costas dos estados do Espírito Santo, Bahia e Maranhão (Ramos et al. 2023; Tuya et al. 2023). Essa diversidade de ambientes proporciona diferença na composição da alga e consequentemente em seus produtos comerciais (Ramos et al. 2023). Na legislação brasileira esses produtos são registrados como fertilizantes minerais devido sua composição com teores elevados de Cálcio e Magnésio (Brasil, 2018). A compreensão desta complexidade e sua relação com a qualidade dos produtos são essenciais para utilização como bioestimulante.

O *Lithothamnion* sp. demonstrou efeito bioestimulante em mudas na indução do crescimento da raiz (Rodriguez et al. 2017), altura (Evangelista et al. 2016) e biomassa (Amatucci et al. 2020). No entanto esses efeitos são dependentes da dose, constatados também em mudas de mamoeiro que apresentaram efeito positivo na altura e biomassas na dose de 2 kg m⁻³ no grupo formosa (Teixeira et al. 2009) e altura no grupo solo com 3 kg m⁻³ (Hafle et al. 2009), ambos aplicados no substrato. Estudos com aplicações em solução aquosa via foliar são ausentes no mamoeiro, embora estudos apontem para bons resultados com essa técnica (Mógor et al. 2021).

As fontes de *Lithothamnion* sp. que são indicadas para aplicações foliares pelos fabricantes são Algen Micron[®] de origem do Maranhão e LithoMicron[®] do Espírito Santo. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito bioestimulante de duas fontes de

Lithothamnion sp. na qualidade das mudas e no acúmulo de nutrientes do mamoeiro ‘Aliança’ em aplicações em solução aquosa com alto volume de calda.

Material e métodos

O estudo foi realizado no viveiro da Fazenda Experimental de Linhares do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizado no município de Linhares no norte do estado do Espírito Santo. O clima do município de Linhares, segundo a classificação de Koppen, é Aw, sendo um clima do tipo tropical quente úmido com chuvas no verão e inverno seco. A precipitação e a temperatura foram registradas do local durante o período que compreende a germinação ao término do estudo (Figura 1).

O experimento foi implantado em viveiro coberto com tela sombrite preta de 50% de sombreamento com irrigação por meio de microaspersores com vazão de 12 litros por hora ($L h^{-1}$) acionados por temporizadores a cada 15 minutos durante 10 segundos. A semeadura foi realizada após sete dias do enchimento dos tubetes com sementes de mamoeiro ‘Aliança’ adquiridas de produtor local.

O plantio foi realizado com as sementes a 2 cm de profundidade no dia 20 de março de 2023 em tubetes com volume de 50 cm^3 contendo o substrato comercial Tropstrato[®], sendo três sementes por tubete. Foram utilizados 3 g por tubete do fertilizante de liberação lenta Basacote[®] (3 M) com a fórmula NPK 18-08-12 e após 10 dias realizou-se o desbaste das mudas deixando apenas uma plântula por tubete. No décimo quinto dia após a semeadura foi iniciado a aplicação foliar do *Lithothamnion* sp. com intervalo de 7 dias, totalizando 4 aplicações.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6. O primeiro fator foi composto por duas fontes comerciais de *Lithothamnion* sp. (Algen Micron[®] e LithoMicron[®], respectivamente extraídas de jazidas localizadas no Maranhão

e no Espírito Santo), e o segundo, seis doses de cada (0, 1, 2, 3, 4, 8 g L⁻¹). Foram avaliadas 4 repetições de 20 plantas, totalizando 1.680 tubetes. As aplicações foram realizadas a partir de pulverizadores costal manual com volume de 20 L com volume de calda de 5 L que corresponde o total da calda para os 4 blocos. Pelo alto volume de calda, as folhas e o substrato foram atingidos em aplicações realizadas no período de temperatura mais amenas, no início da manhã e no final da tarde. Foi realizado uma análise da solução com phmetro Metrohm modelo 827 ph lab para aferir mudanças no pH (Tabela 1.).

Tabela 1. Valores do pH da solução dos tratamentos.

Doses (g)	Valores de pH	
	Algen Micron [®]	LithoMicron [®]
0	6,48	6,48
1	9,78	9,67
2	9,80	9,70
3	9,81	9,71
4	9,81	9,69
8	9,79	9,65

Após 42 dias foram avaliados os índices de clorofilas e qualidade das mudas realizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) no município de Linhares/ES. O teor relativo de clorofila foi estimado pelo medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta[®], Japão) em uma folha completamente expandida. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi determinado pela seguinte equação,
$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$
 (Dickson et al. 1960), utilizando o comprimento de caule (CC) em cm e o diâmetro de caule (DC) em mm e as massas secas em grama (g).

A qualidade das mudas do experimento foi avaliada após lavagem cuidadosa das raízes com a retirada total do substrato. O desenvolvimento radicular foi mensurado pela medição do comprimento da maior raiz (CR), volume radicular (VR), massa seca do sistema radicular (MSR), comprimento específico da raiz (CER), densidade do tecido radicular (DTR) e fração de massa de raiz (FMR). O desenvolvimento da parte aérea será avaliado pela contagem do número de folhas (NF), determinação da massa seca foliar (MSF), fração de massa foliar (FMF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), área foliar unitária (AFU), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), índice de robustez (relação entre CC/DC), massa seca do caule (MSC), comprimento específico do caule (CEC), fração de massa do caule (FMC) e massa seca da parte aérea (MSPA). A qualidade das mudas será mensurada pelo acúmulo de massa seca total (MST), relações entre CC/CR e MSPA/MSR e pelo índice de qualidade de Dickson (IQD).

A alocação de massa seca, expressa em g, foi obtida pela pesagem dos órgãos fracionados com o auxílio de uma balança analítica de precisão, após secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até peso constante. A FMF expressa em g g^{-1} foi obtida pela massa seca da folha dividida pela massa seca total da planta (Poorter et al. 2011). O CC foi obtido medindo-se do coleto até a gema apical utilizando uma régua graduada e expressando os resultados em cm. O DC será determinado na região do coleto, por meio de um paquímetro digital de precisão e expresso em milímetros (mm). O índice de robustez foi obtido pela relação entre CC/DC e o resultado expresso em cm cm^{-1} . A área foliar foi medida em cm^2 (AF), utilizando o aparelho de bancada TIPO SCANNER AREA METER LI-3100C. O CEC foi obtido dividindo-se o comprimento do caule pela massa seca do caule e o resultado expresso em m g^{-1} (Poorter et al. 2011). A FMC foi obtida pela divisão da massa seca do caule pela massa seca total da planta, expressa em g g^{-1} (Poorter et al. 2011). A MSPA foi obtida pela soma da MSF e MSC e expressa em g.

O CR foi mensurado com régua graduada considerando a raiz principal e expressando os resultados em cm. O VR obtido mediante o deslocamento da água em proveta graduada, procedimento que consiste em colocar as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água (90 mL de água) e medindo-se o volume deslocado (pela diferença de volume obtém-se a resposta direta por equivalência de unidades, considerando $1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$). O CER foi obtido dividindo-se o comprimento da raiz pela massa seca da raiz e o valor expresso em m g^{-1} (Kramer-Walter et al. 2016). O DTR calculado pela massa seca da raiz dividida pelo volume da raiz fresca, (Kramer-Walter et al. 2016) e expresso em g cm^{-3} . A FMR calculada dividindo-se a massa seca da raiz pela massa seca total da planta e expressando os resultados em g g^{-1} (Poorter et al. 2011),

As trocas gasosas foram avaliadas em uma folha completamente expandida utilizando o analisador de gás infravermelho-IRGA 6400 LI-COR (LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA) sob uma concentração externa de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (ar). Todas as medições foram realizadas sob irradiância de fótons de saturação artificial [$1.000 \mu\text{mol (fóton)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]. Em cada parcela foram avaliadas duas plantas, efetuadas entre 08:00 horas e 11:00 horas. Foram avaliadas as seguintes características: taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (A), condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (gs), concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) (C_i), taxa transpiratória ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (E), temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$) e razão do CO_2 intercelular e CO_2 ambiente (C_i/C_a). A partir desses dados foi estimada a eficiência instantânea da carboxilação (E_iC) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] pela razão entre A/C_i e a eficiência instantânea de uso da água [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] (EUA) pela razão entre a A e E.

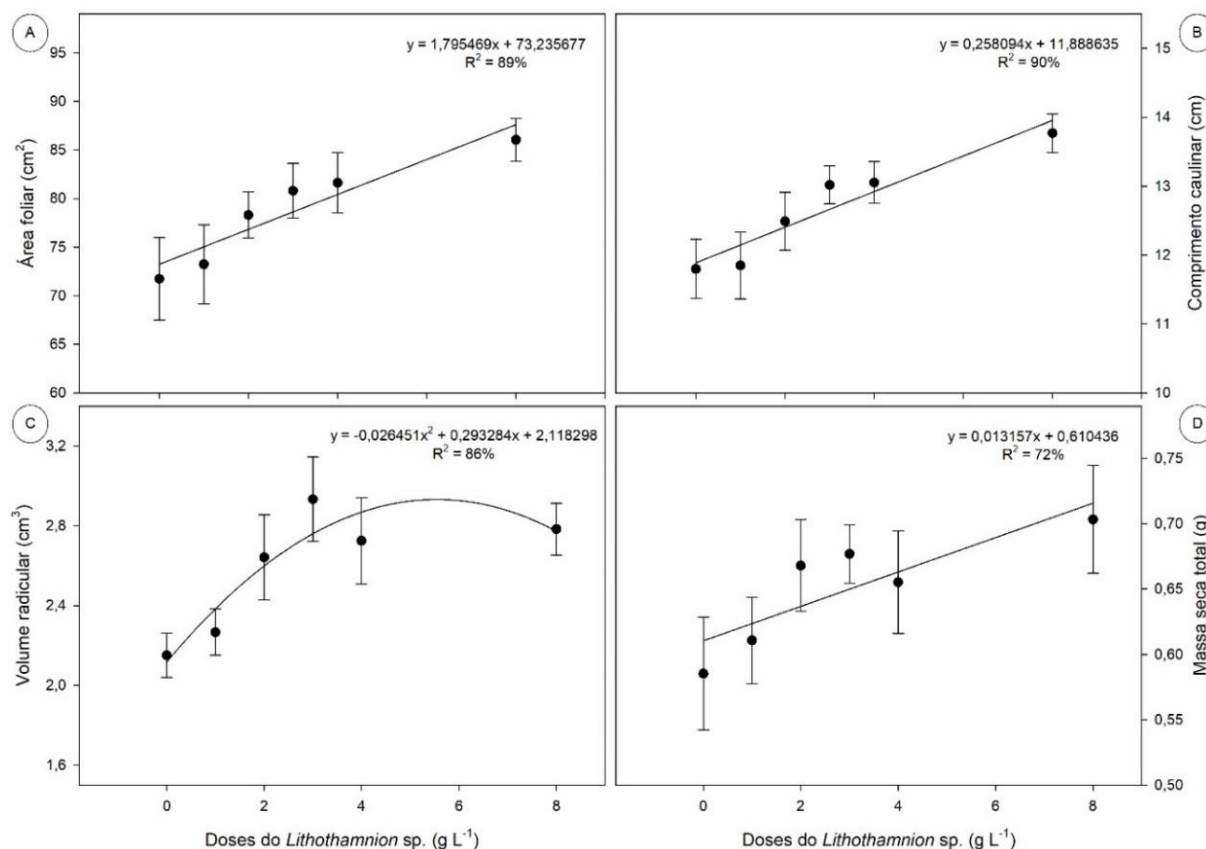
Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, nas variáveis quantitativas, as médias verificadas pela análise de regressão quanto ao ajuste polinomial, já as variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de Tukey para comparação entre as

diferentes fontes, para acúmulo de nutrientes utilizou-se Scott-Knot, todas considerando 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira 1999).

Resultados e discussão

Não foi encontrada interação entre as doses e as fontes utilizadas, contudo, houve efeito isolado. A aplicação foliar de *Lithothamnion* sp. em diferentes doses favoreceu o desenvolvimento de mudas de mamão. Essas relações podem ser observadas na área foliar, comprimento caulinar, volume de raiz e massa seca total (Figura 1) que apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). As demais variáveis de qualidade de mudas não apresentaram diferença significativa. O volume de raiz apresentou uma curva quadrática, enquanto os demais foram lineares crescentes. A dose que representou melhor efeito na raiz foi $5,54 \text{ g L}^{-1}$.

Figura 1: Respostas isoladas do fator dose na área foliar (A), comprimento caulinar (B), volume radicular (C), massa seca total (D) em mudas de mamão “Aliança” em relação a aplicação doses de *Lithothamnion* sp.



*As barras representam o desvio padrão.

Esse resultado indica diferentes efeitos no crescimento na parte aérea e radicular com a aplicação do *Lithothamnion* sp. O efeito em tomateiro apresentou a mesma característica em aplicações foliares do *Lithothamnion* sp. (Amatucci et al. 2020). Essa diferença das doses está relacionada com micronização do *Lithothamnion* sp., que consiste na redução das partículas, que potencializa a ação das substâncias húmicas, principalmente a bioatividade dos ácidos húmicos (Amatucci et al. 2020; Mógor et al. 2021).

Os estudos dos mecanismos de ação das substâncias húmicas nas plantas pelas raízes estão mais evidenciados na literatura, como a teoria do crescimento ácido a partir da maior atividade da enzimática induzida por auxina (Canellas et al. 2022). No entanto, quando aplicada

nas folhas, esses mecanismos não são claros (De Hita et al. 2020). Como houve encharcamento do substrato, a interação com as raízes não pode ser descartada, mesmo porque as raízes são mais sensíveis as substâncias húmicas (Nardi et al. 2021). Assim, o modo de ação pode estar relacionado as respostas nutricionais, metabólicas e fisiológicas nas plantas (De Hita et al. 2020).

Além disso, a presença de diversos aminoácidos na composição do *Lithothamnion* sp., principalmente o elevado teor de triptofano (Ramos et al. 2023) pode ter influenciado nos resultados da AF, CC e MST. A utilização foliar do triptofano em mamoeiro demonstrou efeito positivo para estas variáveis (Khalil et al. 2023). Esse aminoácido possui um papel fundamental na morfogênese e crescimento vegetal sendo precursor da auxina (Erland & Saxena 2019).

Um fator importante para considerar nos resultados é a elevação de pH ocasionada pela utilização do *Lithothamnion* sp. (Ramos et al. 2023). A oscilação do pH afeta diretamente a dinâmica de nutrientes, com correlação positiva para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em pH alcalinos (Neina 2019). Maior disponibilidade destes nutrientes pode ter contribuído para os resultados encontrados, principalmente, o Ca pelo alto teor no *Lithothamnion* sp. e com efeito potencializado por ter sido absorvido pelas folhas e pela raiz, devido encharcamento.

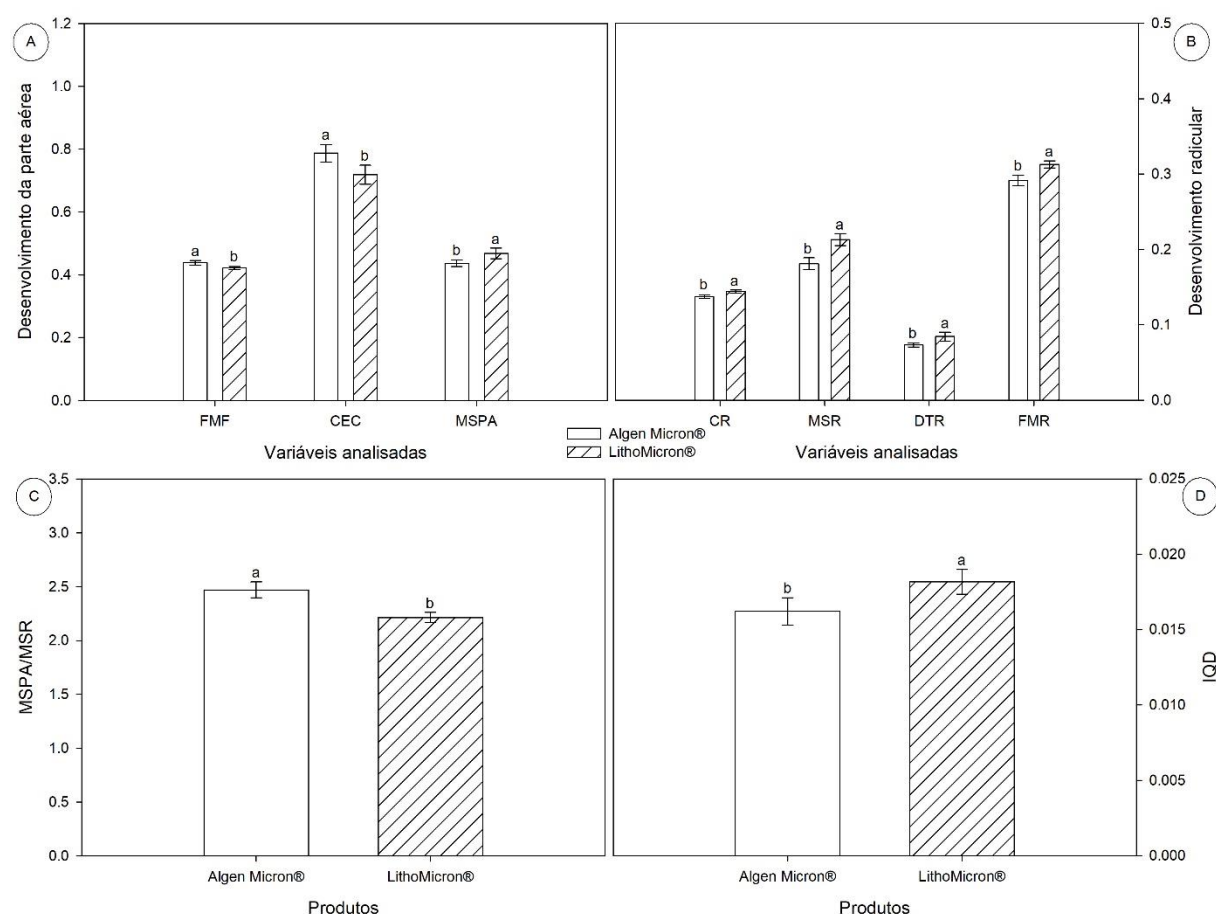
O Ca^{2+} é um nutriente importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas por exercer a função estrutural na parede celular e na formação das membranas plasmáticas, mas também como mensageiro no aparato de sinalização nos diversos processos fisiológicos (Thor 2019). Em mudas de mamoeiro com diferentes fontes de Ca^{2+} aplicado nas folhas influenciou positivamente a altura e diâmetro do caule (Madani et al. 2015; Pandey et al. 2023). Esses efeitos possuem semelhanças aos constatados ao aplicar *Lithothamnion* sp. no substrato que apresentou aumento da altura da planta (Hafle et al. 2009; Teixeira et al. 2009).

Os resultados do CR indicam que a quantidade de Ca^{2+} no substrato influencia o crescimento radicular, visto que o *Lithothamnion* sp. é rico nesse nutriente. O Ca^{2+}

citoplasmático em conjunto com espécies reativa de oxigênio (ERO's) apoplásticos e íon de hidrogênio (H^+) estão envolvidos e modulam a dinâmica da parede celular durante o crescimento polar dos pelos radiculares (Zhang et al. 2022). O gradiente de Ca^{2+} citoplasmático funciona como mensagem para processos fisiológicos (Tang et al. 2020).

Quando comparado as origens do *Lithothamnion* sp., observa-se a ocorrência de diferenças significativas ($p \leq 0,05$) no desenvolvimento da parte aérea nas variáveis FMF, CEC e MSPA (Figura 2 A), no desenvolvimento radicular CR, MSR, DTR e FMR (Figura. 2 B), na relação MSPA/MSR (Figura 2 C) e IQD (Figura 2 D). O *Lithothamnion* sp. de origem do Maranhão (Algen Micron®) apresentou maiores médias para FMF e CEC, no entanto o originário do Espírito Santo (LithoMicron®) foi maior na MSPA. Nas variáveis de desenvolvimento radicular e no IQD, o LithoMicron® apresentou méidas maiores. Por outro lado, a relação MSPA/MSR demonstrou médias maiores quando o Algen Micron® foi utilizado.

Figura 2: Resposta isolada do fator fonte no desenvolvimento da parte aérea das variáveis Fração da Massa Foliar - FMF, Comprimento Efetivo do Caule - CEC e Massa Seca da Parte Aérea - MSPA (A), no desenvolvimento radicular das variáveis Comprimento da Raiz - CR, Massa Seca da Raiz - MSR, Densidade do Tecido Radicular - DTR e Fração da Massa da Raiz - FMR (B), Massa Seca da Parte Aérea/Massa Seca da Raiz - MSPA/MSR (C) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD (D) em mudas de mamão “Aliança” em relação a aplicação de duas fontes diferentes de *Lithothamnion* sp..



*As barras representam o desvio padrão. As letras representam a diferença estatísticas das médias entre as doses. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si na mesma divisão da figura (A, B, C, D) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A aplicação de fertilizantes via foliar é benéfica as plantas com efeitos na qualidade, metabolismo, tolerância a estresses e estimulam a absorção de nutrientes pelas raízes (Niu et al. 2021). No entanto nesse experimento não se deve negligenciar o encharcamento do substrato devido ao volume da calda aplicada, havendo assim, absorção radicular. Os resultados obtidos em FMF, CEC e MSPA/MSR se relacionam diretamente com o crescimento da planta. O acúmulo de B significativamente maior no *Lithothamnion* sp. (Algen Micron[®]) pode ter influenciado nos resultados. O $[B(OH)_3]$ exerce funções importantes na estrutura celular, divisão e alongamento celular, relação água/planta, metabolismo e síntese de auxina essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Kohli et al. 2023). Dada a importância do B, no mamoeiro foi constatado uma demanda alta nos três primeiros meses de crescimento (Fallas et al. 2014).

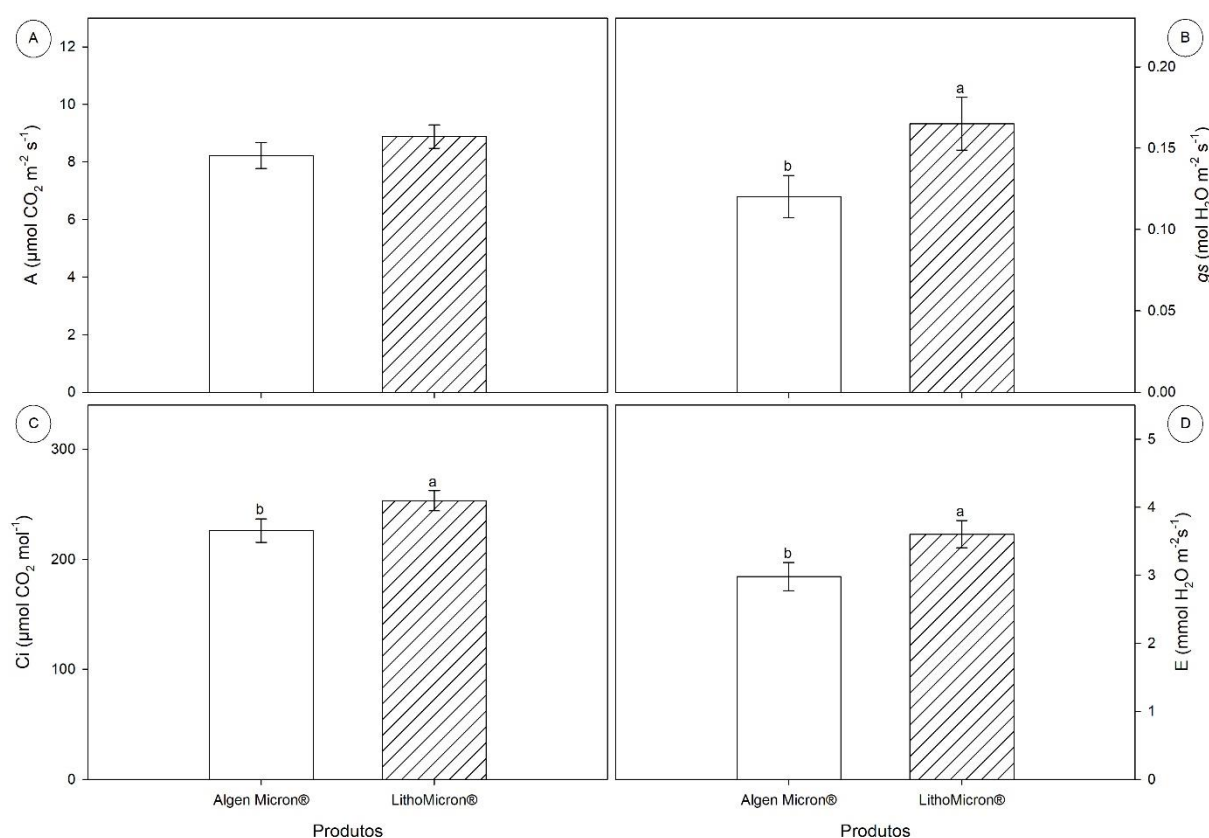
A fonte do Espírito Santo (LithoMicron[®]) com teores mais baixos de Ca e Mg mostrou melhores resultados do crescimento e desenvolvimento das mudas constatados pela MSPA, CR, MSR, DTR, FMR e IQD. Esse resultado indica influência do efeito bioestimulante das substâncias húmicas, principalmente dos ácidos fúlvicos que apresentam maiores teores na composição desse *Lithothamnion* sp. (Ramos et al. 2023). Visto que a biomassa, o CR e o acúmulo de nutrientes são afetados positivamente na presença dos ácidos fúlvicos (Zhang et al. 2021). A ação dos ácidos fúlvicos influenciou no maior acúmulo de Ca e Mg com aplicação do *Lithothamnion* sp. (LithoMicron[®]) constatados por análise química de tecido vegetal das mudas de mamoeiro, embora o Mg tenha apresentado diferença significativa.

Esses nutrientes são associados diretamente as funções de crescimento exercendo papel fundamental para alcançar a qualidade das mudas. O Ca^{2+} está envolvido na estrutura da parede celular, na formação das membranas plasmáticas (De Bang et al. 2021) e no crescimento radicular (Zhang et al. 2022) que reflete no aumento da altura da planta e biomassa (Weng et

al. 2022). O Mg^{2+} como componente central da molécula de clorofila (De Bang et al. 2021) e com envolvimento no incremento e partição da biomassa (Hauer-Jákli & Tränkner 2019).

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nas variáveis Ci, C e D quando comparadas no fator isolado fonte com médias maiores para o *Lithothamnion* sp. de origem do Espírito Santo (LithoMicron[®]) (Figura. 3). As demais variáveis não apresentaram diferença significativa.

Figura 3: Resposta isolada do fator fonte nas trocas gasosas das variáveis A – taxa fotossintética (A), na gs – condutância estomática (B), na Ci – concentração intracelular de CO₂ (C) e na E – Taxa transpiratória (D) em mudas de mamão “Aliança” em relação a aplicação diferentes fontes de *Lithothamnion* sp..

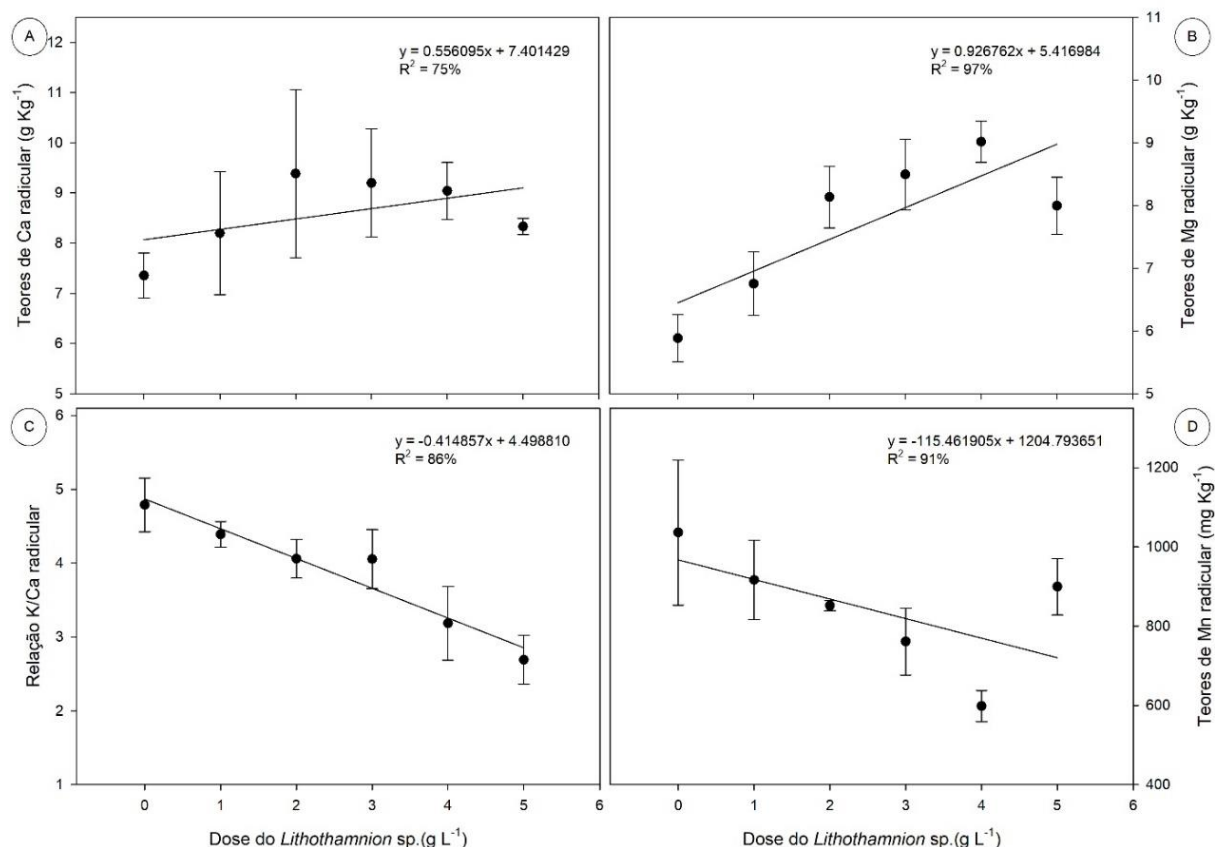


*As barras representam o desvio padrão das médias. As letras representam a diferença estatísticas das médias entre as doses. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si na mesma divisão da figura (A, B, C, D) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados demonstram a ação bioestimulante dos ácidos fúlvicos com relação ao melhor aproveitamento do Mg^{2+} . Esse nutriente fornecido adequadamente aumenta a assimilação líquida de CO_2 que é refletido no incremento de biomassa (Hauer-Jákli & Tränkner 2019). Além disso, a composição rica em Fe, Mn e Zn que estão envolvidos nos processos das trocas gasosas (Sidhu *et al.*, 2019) e com maior abundância no LithoMicron[®] que podem ter influenciado nos resultados. As substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos) em mamoeiro demonstram efeitos positivos na concentração de CO_2 , taxa de transpiração, uso da água, eficiência de carboxilação (Dias et al. 2020), gs e E (Targino et al. 2023) que corroboram com os resultados encontrados neste trabalho.

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) no fator isolado para dose no acúmulo dos nutrientes nas raízes em Ca, Mg, Mn e na relação K/Ca, (Figura 4).

Figura 4: Resposta do fator isolado dose no acúmulo de nutrientes Cálcio - Ca (A), Magnésio - Mg (B), Potássio/Cálcio - K/Ca (C) e Manganês - Mn (D) nas raízes em mudas de mamoeiro “Aliança” em função de doses de *Lithothamnion* sp.



*As barras representam o desvio padrão.

A utilização do *Lithothamnion* sp. apresentou capacidade na disponibilização dos nutrientes. No entanto, os acúmulos nas raízes que apresentaram diferença significativas associadas as doses aplicadas foram Ca, Mg, Mn e a relação K/Ca. Os resultados obtidos são frutos das absorções foliar e radicular, devido a encharcamento do substrato. Assim, o Ca e Mg apresentou um acúmulo linear crescente indicando que o elevado teor destes nutrientes na alga se correlaciona positivamente à medida que se eleva a dose. A absorção do Ca²⁺ e Mg²⁺ também é favorecida pela elevação do pH que o *Lithothamnion* sp. resulta. Essas relações são atribuídas

a dinâmica dos nutrientes para absorção, mas é importante considerar a demanda nutricional na fase de mudas do mamoeiro.

O Ca e Mg foram constatados como segundo e terceiro, respectivamente mais demandados na acumulação de nutrientes em mudas de mamoeiro (Souza et al. 2021). No entanto, os resultados são dependentes do substrato. Estudos recentes apontam interação do crescimento e desenvolvimento de mudas de mamoeiro com diferentes substratos (Meirelles et al. 2023; Loriato et al. 2023), mas poucos relatam as necessidades nutricionais nesta fase do desenvolvimento. Neste experimento foi constatado o Ca como terceiro e Mg quarto maiores acúmulos de nutrientes fornecendo um indicativo para futuros estudos na demanda nutricional na fase de mudas do mamoeiro.

Além disso, aspectos gerais sobre estes nutrientes contribuíram para resultados. O Ca^{2+} possui a característica de baixa mobilidade no floema (De Bang et al. 2021), implicando que o acúmulo no tecido radicular é oriundo da absorção das raízes. O Mg^{2+} age de forma diferente, possui mobilidade no floema com capacidade de reciclagem entre os órgãos (De Bang et al. 2021) que indica que o acúmulo nas raízes pode ter influência da absorção pelas folhas.

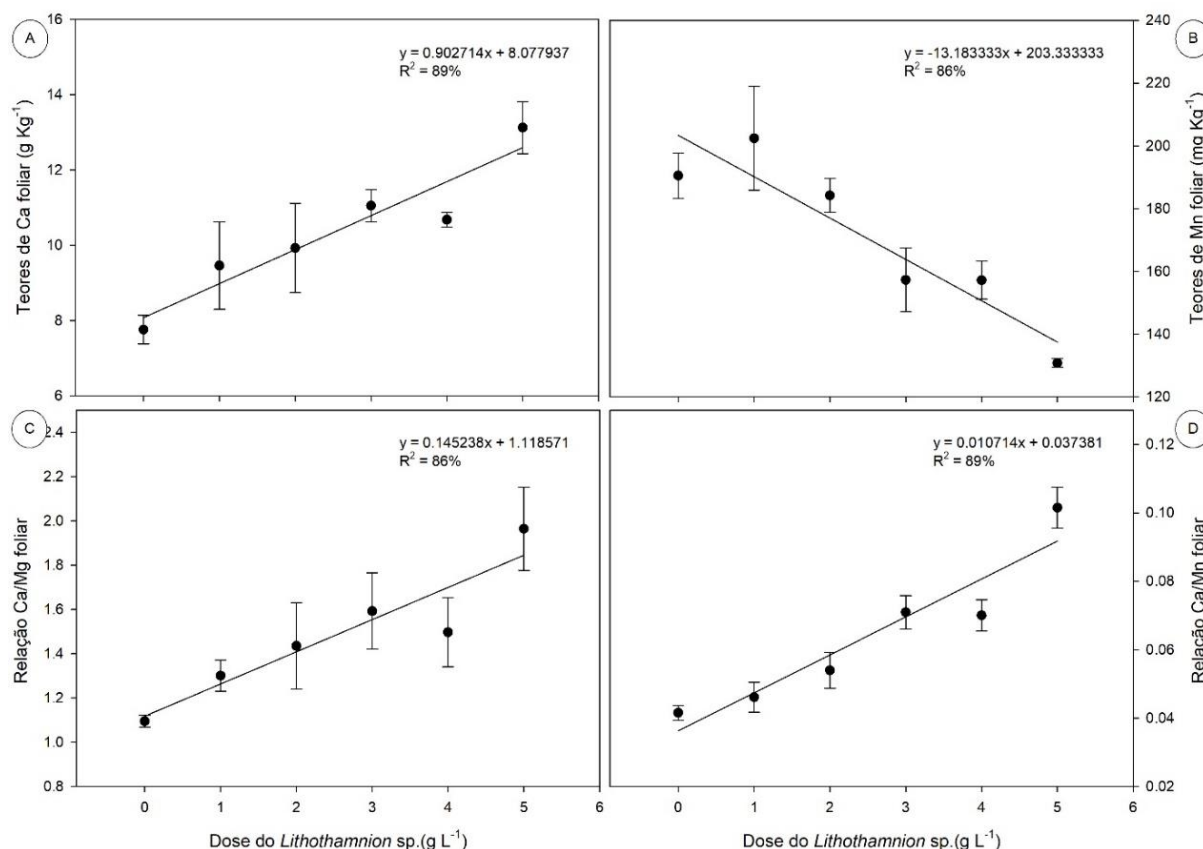
Na relação K/Ca o comportamento linear decrescente aponta uma relação de antagonismo, onde maiores concentrações de Ca^{2+} inibem a absorção de K^+ . O Ca^{2+} age como mensageiro na rede de sinalização a partir das concentrações citoplasmáticas que desencadeiam sinais que controlam a absorção de K^+ (Srivastava et al. 2020). Mesmo assim, o K foi o segundo nutriente mais acumulado nas mudas de mamoeiro indicando uma alta demanda nutricional. Essa necessidade por K^+ é devido as funções vitais relacionadas ao crescimento, desenvolvimento, como expansão celular (Ragel et al. 2022). Para tanto, as plantas desenvolveram mecanismo de absorção que facilita a absorção sem gasto energético pelos canais na membrana plasmática (Ragel et al. 2019). Essas implicações sugerem um alto nível

de aproveitamento do mamoeiro na absorção de K^+ mesmo com o antagonismo de Ca^{2+} com aplicação do *Lithothamnion* sp..

O acúmulo de Mn^{2+} apresentou comportamento linear decrescente indicando sensibilidade a doses mais elevadas de *Lithothamnion* sp. devido ao aumento do pH. A concentração de Mn^{2+} é fortemente influenciada pelo pH do meio (Neina 2019; Santos *et al.* 2021). Mas também, pode ter sido influenciado pela concentração de Ca^{2+} na competição pelos sítios de absorção na membrana plasmática, por serem cátions de mesma valência (Rietra *et al.* 2017) e na regulação de absorção efetuada pelo Ca^{2+} citoplasmático na sinalização para absorção de Mn^{2+} (Wang *et al.* 2023).

Nas folhas o acúmulo de nutriente foi significativo ($p \leq 0,05$) para o fator isolado dose para Ca, Mn, Ca/Mg, Ca/Mn (Figura 5.).

Figura 5: Resposta do fator isolado dose para o acúmulo de nutrientes Cálcio - Ca (A), Manganês - Mn (B), Cálcio/Magnésio - Ca/Mg (C) e Cálcio/Manganês - Ca/Mn (D) nas folhas em mudas de mamoeiro “Aliança” em função de doses de *Lithothamnion* sp..



*As barras representam o desvio padrão.

Assim como nas raízes, o acúmulo de Ca teve relação linear com o aumento das doses de *Lithothamnion* sp. nas folhas indicando que o mamoeiro demanda quantidades elevadas deste nutriente nos estágios iniciais de desenvolvimento, visto que, o fornecimento foi realizado pelas raízes e pelas folhas. O Ca²⁺ aplicados nas folhas de mamoeiro aumentam a sua concentração nas plantas e melhora na qualidade das mudas (Madani et al. 2015). Essa relação decorre do papel Ca²⁺ na sinalização na absorção do próprio Ca²⁺ (Wang et al. 2023).

Os teores de Mn nas folhas apresentaram o mesmo comportamento linear das raízes. O resultado confirma o efeito negativo do pH sobre a disponibilidade do Mn²⁺. No entanto, não

houve sinais visuais de carência de Mn, dado a baixa demanda nutricional (Souza *et al.* 2021) alinhada ao grande teor no *Lithothamnion* sp. (Ramos *et al.* 2023).

A relação Ca/Mg indica a capacidade da planta em regular a absorção e homeostase destes nutrientes, visto que o teor de Ca no *Lithothamnion* sp. é muito superior ao Mg (Ramos *et al.* 2023), mesmo sendo cátions trocáveis e competirem pelos mesmos sítios de absorção sua interação é, geralmente, sinérgica que melhoram o rendimento das plantas agrícolas (Rietra *et al.* 2017). No entanto o Ca^{2+} age na regulação nos mecanismos de sinalização para absorção de Mg^{2+} indicando que a relação pode apresentar antagonismo (Wang *et al.* 2023).

A relação Ca/Mn apresentou um comportamento linear crescente indicando sinergismo do Ca em relação Mn. Esse resultado demonstra a capacidade do *Lithothamnion* sp. em disponibilizar Mn^{2+} dado seu elevado teor na composição (Ramos *et al.* 2023) mesmo com efeito negativo da elevação do pH. Outros fatores que podem ter contribuído para o resultado é o aspecto iônico, o Ca^{2+} e Mn^{2+} são cátions bivalentes que podem partilhar mecanismos de absorção semelhantes (Rietra *et al.* 2019) e a regulação do Ca^{2+} no mecanismo de absorção do Mn^{2+} (Wang *et al.* 2023).

Tabela 2. Resposta do fator isolado fonte no acúmulo de nutrientes nas folhas e raízes em mudas de mamoeiro “Aliança” em função de diferentes fontes de *Lithothamnion* sp..

Nutrientes	Órgão	Fontes	
		Algen Micron [®]	LithoMicron [®]
Ca	Folha	9,76b	10,91a
K		27,67b	29,86a
Mn	Raiz	828,67b	1003,61a
B		64,80a	52,89b

*Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Os resultados apontam maiores médias no acúmulo de nutrientes para a fonte de *Lithothamnion* sp. do Espírito Santos (LithoMicron[®]) que é refletido na qualidade das mudas de mamoeiro. Mesmo não havendo diferença significativa para outros nutrientes, o acúmulo foi superior nos tratamentos com essa fonte, exceto para B em que a fonte de *Lithothamnion* sp. do Maranhão (Algen Micron[®]) foi significativamente maior.

Conclusão

O *Lithothamnion* sp. demonstrou efeito bioestimulante no crescimento e desenvolvimento em mudas de mamoeiro constatadas na AF, CC, VR, MST, sendo o efeito dose-dependente. A dose que melhor refletiu na qualidade das mudas foi 5,54 g L⁻¹ de *Lithothamnion* sp.

As fontes de *Lithothamnion* sp. apresentam diferenças na composição que influenciaram nos resultados, principalmente ácidos fúlvicos e micronutrientes B, Fe, Mn e Zn. A fonte Algen Micron[®] foi eficiente na FMF, CEC e MSPA/MSR, enquanto a LithoMicron[®] foi na MSPA, CR, MSR, DTR, FMR, IQD e nas trocas gasosas (gs, Ci e E).

O Ca exerce um papel central na utilização do *Lithothamnion* sp. como bioestimulante, dado seu elevado teor e as funções que desempenha na nutrição mineral, na estrutura celular e mensageiro para os processos fisiológicos importantes para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

O *Lithothamnion* sp. influenciou positivamente no acúmulo dos nutrientes apresentando concentrações maiores com a fonte LithoMicron[®], exceto para B, onde a fonte Algen Micron[®] foi superior.

Referências

- ALVES, M. de M.; VENTUROSO, L. dos R.; CIPRIANI, L. P.; BRAÚNA, H. N.; FRULAN, L. B. Produção de mudas de mamoeiro em função de diferentes substratos e recipientes. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 3, p. 2761-2774, 2020.
- AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, A. F.; MÓGOR, G.; LARA, G. B. de. Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. *Journal of Applied Phycology*, v. 32, n. 3, p. 2023-2030, 2020.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, N. O. A.; JINDO, K.; ROSA, R. C. C.; PICCOLLO, A. Challenge of transition: the history of a case study involving tropical fruits polyculture stimulated by humic acids and plant-growth promoting bacteria. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2022.
- DE BANG, T. C.; HUSTED, S.; LAURSEN, K. H.; PERSSON, D. P.; SCHJOERRING, J. K. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, v. 229, n. 5, p. 2446-2469, 2021.
- DE HITTA, D.; FUENTES, M.; FERNANDÉZ, V.; ZAMARRENO, A. M.; OLAETXEA, M.; GARCÍA-MINA, J. M. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Frontiers in plant science*, v. 11, p. 493, 2020.
- DIAS, T. J.; LEAL, M. P. da S.; NASCIMENTO, E. S. da.; VERAS, M. L. M.; SILVA, T. I. da.; LOPES, A. S. Morphological and physiological changes in papaya seedlings irrigated with saline water and application of humic substances. *Comunicata Scientiae*, v. 11, p. e3290-e3290, 2020.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v. 36, p.10-13, 1960.

ERLAND, L. A. E.; SAXENA, P. Auxin driven indoleamine biosynthesis and the role of tryptophan as an inductive signal in *Hypericum perforatum* (L.). *PLoS One*, v. 14, n. 10, p. e0223878, 2019.

FALLAS, R.; BERTSCH, F.; BARRIENTOS, M. Nutrient absorption curves in papaya (*Carica papaya* L.) cv. Pococí during vegetative growth, flowering and the beginning of the harvest period. *Agronomía Costarricense*, v. 38, n. 2, p. 43-54, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar 4.3 Sistema de Análises Estatísticas. Lavras, *UFLA*, 1999.

HAFLE, O. M.; RODIGUES, H. C. de A.; SANTOS, V. A. dos. Produção de mudas de mamoeiro utilizando Bokashi e *Lithothamnion*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, n.1, p.245-251, 2009.

HAUER-JÁKLI, M.; TRÄNKNER, M. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: a systematic review and meta-analysis from 70 years of research. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 766, 2019.

KHALIL, H. Y.; ISMAIL, M.; KAZEM, Z. Response of Papaya Seedlings to Foliar Application of Tryptophan and Agazone on some Growth Parameters. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1158, p. 042012, 2023.

KOHLI, S. K.; KAUR, H.; KHANNA, K.; HANDA, N.; BHARDWAJ, R.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. Boron in plants: Uptake, deficiency and biological potential. *Plant Growth Regulation*, v. 100, n. 2, p. 267-282, 2023.

KRAMER-WALTER, K. R.; BELLINGHAM, P. J., MILLAR, T. R., SMISSEN, R. D., RICHARDSON, S. J., LAUGHLIN, D. C. Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. *Journal of Ecology*, v. 104, n. 5, p. 1299-1310, 2016.

LORIATO, A. C.; CLÁUDIO, C. S.; CALZI, L. B.; TOMAZELI, O. C.; PAIXÃO, M. V. S. Substratos a base de misturas de resíduos de origem animal na emergência e desenvolvimento

inicial de plântulas de mamoeiro cv. Taiwan. *REVISTA FOCO*, v. 16, n. 3, p. e1298-e1298, 2023.

MACHADO, E. O.; MACHADO, E. O.; BALLARIS, A. de L.; SILVA, M. R. R. da. Avaliação de diferentes doses de fertilizante organomineral no desenvolvimento de mudas de mamão. *UNIFUNEC CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR*, v. 10, n. 12, p. 1-9, 2021.

MADANI, B.; WALL, M.; MIRSHEKARI, A.; BAH, A.; MOHAMED, M. T. M. Influence of calcium foliar fertilization on plant growth, nutrient concentrations, and fruit quality of papaya. *HortTechnology*, v. 25, n. 4, p. 496-504, 2015.

MEIRELES, R. C.; PAIXÃO, M. V. S.; FERNANDES, A. R.; OLIVEIRA, E. M. de.; REIS, L. S. dos. Organic substrates in the emergency and development of papaya cv. Formosa “mel”: Substratos organicos na emergencia e desenvolvimento de plântulas de mamoeiro cv. Formosa “mel”. *Concilium*, v. 23, n. 3, p. 781-790, 2023.

MÓGOR, A. F.; AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, G.; GEMIN, L. G. Biostimulant action of *Lithothamnium* sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. *Journal of Applied Phycology*, v.33, n.3, p.1905-1913, 2021.

NARDI, S.; SCHIAVON, M.; FRANCIOSO, O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, v. 26, n. 8, p. 2256, 2021.

NEINA, D. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science*, v. 2019, p. 1-9, 2019.

NIU, J.; LIU, C.; HUANG, M.; LIU, K.; YAN, D. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 104-118, 2021.

- PANDY, Y. H.; BAKSHI, M.; SHARMA, A. Effect of Calcium Nitrate and Calcium Carbonate on Plant Growth, Fruit Quality and Yield of Papaya Cv. Red Lady. *International Journal of Agriculture and Animal Production*, v. 3, n. 03, p. 25-32, 2023.
- POORTER, H.; NIKLAS, K. J., REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2011.
- RAGEL, P.; RADDATZ, N.; LEIDI, E. O.; QUINTERO, F. J.; PARDO, J. M. Regulation of K⁺ nutrition in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 281, 2019.
- RAMOS, E. P.; FERREIRA, T. R.; AGUIAR, D. B. de.; ALVES, F. L.; DOUSSEAU-ARANTES, S. *Lithothamnion* sp. as biostimulant in plant cultivation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 53, e76273, 2023.
- RIETRA, R. P. J. J.; HEINEN, M.; DIMKPA, C. O.; BINDRABAN, P. S. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 48, n. 16, p. 1895-1920, 2017.
- SANTOS, F. D. dos.; FANTINEL, R. A.; WEILER, E. B.; CRUZ, J. C. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. *Tecno-lógica*, v. 25, n. 2, p. 272-278, 2021.
- SOUZA, F. E. C. de.; NATALE, W.; BRAGA, M. de M.; MESQUISTA, R. O.; COSTA, R. S. da. Growth and accumulation of nutrients in papaya tree seedlings grown on organic substrates. *Revista Ceres*, v. 68, n.4, p. 267-275, 2021.
- SIDHU, M. K.; RATURI, H. C.; KACHWAYA, D. S.; SHARMA, A. Role of micronutrients in vegetable production: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 8, n. 1, p. 332-340, 2019.
- SRIVASTAVA, A. K.; SHANKAR, A.; CHANDRAN, A. K. N.; SHARMA, M.; JUNG, K. H.; SUPRASANNA, P.; PANDEY, G. K. Emerging concepts of potassium homeostasis in plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 71, n. 2, p. 608-619, 2020.

- TANG, R. J.; WANG, C.; LI, K.; LUAN, S. The CBL–CIPK calcium signaling network: Unified paradigm from 20 years of discoveries. *Trends in Plant Science*, v. 25, n. 6, p. 604-617, 2020.
- TARGINO, V. A.; LOPES, A. S.; SOUZA, V. F. de O.; HENSCHER, J. M.; SILVA, J. H. B. da.; RODRIGUES, L. S.; MEDEIROS, W. J. F. de.; BATISTA, D. S.; DIAS, T. J. Growth and physiology of ‘Sunrise’ papaya seedlings in response to salinity and humic acid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 352-358, 2023.
- TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.; MENDONÇA, V.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J.; FERREIRA, E. A.; MELO, P. C. Produção de mudas de mamoeiro ‘Formosa’ em substratos com doses de *Lithothamnion*. *Revista da FZVA*, v.16, n.2, p.220-229, 2009.
- THOR, K. Calcium nutrient and messenger. *Frontiers in plant science*, v. 10, p. 440, 2019.
- TUYA, F.; SHUBERT, N.; AGUIRRE, J.; BASSO, D.; BASTOS, E. O.; BERCHEZ, F.; BERNADINO, A. F.; BOSCH, N. E.; BURDETT, H. L.; ESINO, F.; FERNÁNDEZ-GÁRCIA, C.; FRANCINI-FILHO, R. B.; GAGNON, P.; HALL-SPENCER, J. M.; HAROUN, R.; HOFMANN, L. C.; HORTA, P. A.; KAMENOS, N. A.; GALT, L. L.; MAGRIS, R. A.; TÂMEGA, F. T. S. Levelling-up rhodolith-bed science to address global-scale conservation challenges. *Science of the Total Environment*, v. 892, e164818, 2023.
- WADAS, W. Potato (*Solanum tuberosum* L.) growth in response to foliar silicon application. *Agronomy*, v. 11, n. 12, p. 2423, 2021.
- WANG, T.; CHEN, X.; JU, C.; WANG, C. Calcium signaling in plant mineral nutrition: From uptake to transport. *Plant Communications*, v. 4, p. 100678, 2023.
- WENG, X.; LI, H.; REN, C.; ZHOU, Y.; ZHU, W.; ZHANG, S.; LIU, L. Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 887098, 2022.

ZHANG, P.; ZHANG, H.; WU, G.; CHEN, X.; GRUDA, N.; LI, X.; DONG, J.; DUAN, Z. Dose-dependent application of straw-derived fulvic acid on yield and quality of tomato plants grown in a greenhouse. *Frontiers in plant science*, v. 12, p. 736613, 2021.

ZHANG, X.; BIAN, A.; LI, T.; REN, L.; LI, L.; SU, Y.; ZHANG, Q. ROS and calcium oscillations are required for polarized root hair growth. *Plant Signaling & Behavior*, v. 17, n. 1, p. 2106410, 2022.

O artigo está formatado nas normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

2.4 *Lithothamnion* sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTEIRA-DO-REINO

- Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de bioestimulante *Lithothamnion* sp. e do ácido indolbutírico, no desenvolvimento do sistema radicular, crescimento vegetativo, trocas gasosas e qualidade das mudas de dois cultivares de pimenteira-do-reino. Foi conduzido um experimento no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 2 x 2 x 6, o primeiro fator consiste na presença e ausência de ácido indolbutírico, o segundo os cultivares 'Bragantina' e 'Kottanadan Broto Branco', o terceiro as doses de *Lithothamnion* sp. (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg m⁻³). Após 120 dias foram avaliadas as variáveis morfológicas, índice relativo de clorofila, qualidade das mudas e troca gasosas. Não foi encontrada interação entre os fatores, contudo, houve efeito isolado. O *Lithothamnion* sp. promoveu crescimento do broto e do comprimento da raiz. A dose que melhor expressou

crescimento na raiz foi de 1,80 kg m⁻³. O *Lithothamnion* sp. não estimulou a rizogênese adventícias ao nível para obtenção de mudas com qualidade. A presença de ácido indolbutírico obteve as melhores médias na acumulação de biomassa, volume de raiz e crescimento da parte aérea conferindo melhor desenvolvimento das mudas. O cultivar ‘Kottanadan Broto Branco’ com a presença de ácido indolbutírico foi a que melhor expressou desenvolvimento das mudas.

Termo de indexação: *Piper nigrum* L., bioestimulante, alga calcária

- Abstract

The objective of this work was to evaluate the use of biostimulant *Lithothamnion* sp. and indolbutyric acid, on the development of the root system, vegetative growth, gas exchange and seedling quality of two black pepper cultivars. An experiment was conducted in a randomized block design with four replications in a 2 x 2 x 6 factorial scheme, the first factor consisting of the presence and absence of indolbutyric acid, the second the cultivars ‘Bragantina’ and ‘Kottanadan Broto Branco’, the third the doses of *Lithothamnion* sp. (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg m⁻³). After 120 days, morphological variables, relative chlorophyll index, seedling quality and gas exchange were evaluated. No interaction was found between the factors, however, there was an isolated effect. *Lithothamnion* sp. promoted shoot growth and root length. The dose that best expressed root growth was 1.80 kg m⁻³. *Lithothamnion* sp. did not stimulate adventitious rhizogenesis to the level required to obtain quality seedlings. The presence of indolbutyric acid obtained the best averages in biomass accumulation, root volume and shoot growth, providing better seedling development. The ‘Kottanadan Broto Branco’ cultivar with the presence of indolbutyric acid was the one that best expressed seedling development.

Index terms: *Piper nigrum* L., biostimulant, calcareous algae

Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é um importante produto agrícola no mercado global, sendo o condimento mais conhecido no mundo. O Brasil está entre os principais países produtores (Fao, 2021) com o estado do Espírito Santo em destaque como maior produtor nacional (Ibge, 2021). No cultivo da pimenteira-do-reino a qualidade das mudas é essencial ao estabelecimento e produtividade da lavoura.

A propagação da pimenteira-do-reino nos viveiros comerciais é realizada por meio de estaquia, o que requer plantas matrizes isentas de patógenos, bem nutridas e vigorosas (Oliveira et al., 2020). A dificuldade de enraizamento das estacas é uma característica na pimenteira-do-reino, fazendo-se necessária a utilização de reguladores de crescimento para indução hormonal (Nguyen et al., 2020). A auxina se destaca como o fitormônio de amplo uso para rizogêneses adventícias em estacas, sendo as formas sintéticas mais utilizadas o ácido naftalenoacético (ANA), ácido indolacético (AIA) e o ácido indolbutírico (AIB) (Prajapati et al., 2018). No entanto, comercialmente, a preferência é por AIB devido a sua capacidade de indução radicular, disponibilidade e estabilidade à luz (Lakehal & Bellini, 2019).

As auxinas possuem um papel central nas fases iniciais no processo de formação das raízes adventícias ao facilitar a degradação, afrouxamento e o alongamento da parede celular, etapas essenciais ao enraizamento (Wei et al., 2019). A aplicação de auxinas exógenas altera a concentração endógena hormonal que desencadeia uma rede de sinalização com interações entre os hormônios que regulam a indução das primeiras divisões celulares na rizogênese adventícia (Zhao et al., 2022). Essas funções das auxinas são fundamentais na formação de mudas da pimenteira-do-reino de qualidade.

A produção de mudas de pimenteira-do-reino carece de padronização para se obter mais qualidade. Na dinâmica dos viveiros comerciais são adotados vários tamanhos de estacas e

quantidade de nós, diversos tipos de recipientes, substratos e nutrição, como também diferentes concentrações e métodos na utilização do AIB. No entanto, estudos recentes demonstram esforços para alcançar padronização na utilização do AIB (Nguyen et al., 2020; Oliviera et al. 2020), substratos (Secundino et al., 2018; Akshay et al., 2018), nutrição (Alexandre et al., 2022), quantidade de nós (Prajapati et al., 2018; Wijayanto et al., 2023) e recipientes (Sarath & Bhoomika, 2018), assim como enxertia a partir de porta-enxertos de espécies de *Piper* silvestres (Ferrari et al., 2023).

Outro fator recente na produção de mudas é a utilização de moléculas bioestimulantes para otimizar o uso de insumos e impulsionar o desenvolvimento da planta (Malik et al., 2020). Entretanto, estudos com aplicação de bioestimulantes e a produção de mudas de pimenteira-do-reino é incipiente. Assim, pesquisas são necessárias para compreender o papel destas moléculas na bioestimulação da pimenteira-do-reino.

O *Lithothamnion* sp. uma alga vermelha com elevados teores de minerais, substâncias húmicas e aminoácidos demonstra resultados promissores na bioestimulação de mudas (Ramos et al., 2023). Alguns estudos constataram indução radicular com a aplicação do *Lithothamnion* sp. em mudas seminais (Rodriguez et al., 2017; Mógor et al., 2021). Contudo, não há estudos que relacionam a formação de raízes adventícias em estacas. No entanto, foi constatado efeito bioativo na estimulação da biossíntese de auxina (Amatussi et al., 2020).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de bioestimulante *Lithothamnion* sp. e do AIB no desenvolvimento do sistema radicular, crescimento vegetativo, trocas gasosas e qualidade das mudas de dois cultivares de pimenteira-do-reino.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no viveiro da Fazenda Experimental de Linhares do Incaper, localizado no município de Linhares/ES, utilizando estacas de pimenteira do reino (*Piper nigrum* L.) dos genótipos Bragantina e Kottanadan Broto Branco com dois nós e 10 cm de comprimento oriundas de plantas matrizes de viveiros comerciais da região.

O viveiro é coberto com tela sombrite preta de 50% de sombreamento e a irrigação é realizada por meio de micro aspersores com vazão de 12 litros por hora ($L h^{-1}$) acionados por temporizadores a cada 15 minutos durante 10 segundos. As estacas foram plantadas no dia 6 de outubro de 2022 em tubetes de 280 cm^3 contendo o substrato comercial Tropstrato[®]. Foi utilizado 3 g por tubete do fertilizante de liberação lenta Osmocote[®] (5 M) com a fórmula NPK 15-09-12 (Oliveira et al., 2020).

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 2 x 6. O primeiro fator, duas cultivares (cv.) de pimenteira-do-reino ('Bragantina' e 'Kottanadan Broto Branco'), o segundo a presença e a ausência de auxina (0 e 5.000 ppm) e o terceiro, seis doses do *Lithothamnion* sp. (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg/m^3). Foram avaliadas 4 repetições de 20 estacas, totalizando 1.920 plantas.

Antes do plantio, todas as estacas foram submetidas a tratamento contendo solução fungicida no período de 5 minutos, segundo método de Ambrozim et al. (2017). Em seguida, os tratamentos sem a presença de AIB foram plantados diretamente no tubete. Os tratamentos com a presença de AIB foram submetidas a emersão basal da estaca em solução com AIB a 5.000 ppm por 10 segundos, de acordo Nguyen et al. (2020), para serem plantadas nos tubetes. A solução de AIB foi preparada conforme Akshay et al. (2018), mediante a solubilização com solução de NaOH a 1,0 N. Como fonte de *Lithothamnium* sp., utilizou-se o fertilizante

comercial LT Supra[®] (Tabela 1.). As doses avaliadas foram incorporadas ao substrato orgânico comercial, juntamente com o fertilizante de liberação lenta, utilizando uma betoneira elétrica.

Após 120 dias foram avaliados os índices de clorofilas e qualidade das mudas realizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) no município de Linhares/ES. O teor relativo de clorofila foi estimado pelo medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta[®], Japão) em uma folha completamente expandida. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi determinado pela seguinte equação,
$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$
 (Dickson et al., 1960), utilizando o comprimento de caule (CC) em cm e o diâmetro de caule (DC) em mm e as massas secas em grama (g).

A qualidade das mudas do experimento foi avaliada após lavagem cuidadosa das raízes com a retirada total do substrato. O desenvolvimento radicular foi mensurado pela medição do comprimento da maior raiz (CR), volume radicular (VR), massa seca do sistema radicular (MSR), comprimento específico da raiz (CER), densidade do tecido radicular (DTR), espessura da raiz (RF) e fração de massa de raiz (FMR). O desenvolvimento da parte aérea será avaliado pela contagem do número de folhas (NF), determinação da massa seca foliar (MSF), fração de massa foliar (FMF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), área foliar unitária (AFU), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), índice de robustez (relação entre CC/DC), massa seca do caule (MSC), comprimento específico do caule (CEC), fração de massa do caule (FMC) e massa seca da parte aérea (MSPA). A qualidade das mudas será mensurada pelo acúmulo de massa seca total (MST), relações entre CC/CR e MSPA/MSR e pelo índice de qualidade de Dickson (IQD).

A alocação de massa seca, expressa em g, foi obtida pela pesagem dos órgãos fracionados com o auxílio de uma balança analítica de precisão, após secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até peso constante. A FMF expressa em g g⁻¹ foi obtida pela massa seca da folha dividida pela massa seca total da planta (Poorter et al., 2011).

O CC foi obtido medindo-se do coleto até a gema apical utilizando uma régua graduada e expressando os resultados em cm. O DC será determinado na região do coleto, por meio de um paquímetro digital de precisão e expresso em milímetros (mm). O índice de robustez foi obtido pela relação entre CC/DC e o resultado expresso em cm cm^{-1} . A área foliar foi medida em cm^2 (AF), utilizando o aparelho de bancada TIPO SCANNER AREA METER LI-3100C. O CEC foi obtido dividindo-se o comprimento do caule pela massa seca do caule e o resultado expresso em m g^{-1} (Poorter et al., 2011). A FMC foi obtida pela divisão da massa seca do caule pela massa seca total da planta, expressa em g g^{-1} (Poorter et al., 2011). A MSPA foi obtida pela soma da MSF e MSC e expressa em g.

O CR foi mensurado com régua graduada considerando a raiz principal e expressando os resultados em cm. O VR obtido mediante o deslocamento da água em proveta graduada, procedimento que consiste em colocar as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água (90 mL de água) e medindo-se o volume deslocado (pela diferença de volume obtém-se a resposta direta por equivalência de unidades, considerando $1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$). O CER foi obtido dividindo-se o comprimento da raiz pela massa seca da raiz e o valor expresso em m g^{-1} (Kramer-Walter et al., 2016). O DTR calculado pela massa seca da raiz dividida pelo volume da raiz fresca, (Kramer-Walter et al., 2016) e expresso em g cm^{-3} . A FMR calculada dividindo-se a massa seca da raiz pela massa seca total da planta e expressando os resultados em g g^{-1} (Poorter et al., 2011). A RF foi obtida da razão da divisão do comprimento da raiz pelo volume radicular (Liu et al., 2019).

As trocas gasosas foram avaliadas em uma folha jovem e completamente expandida utilizando o analisador de gás infravermelho-IRGA 6400 LI-COR (LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA) sob uma concentração externa de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (ar). Todas as medições foram realizadas sob irradiância de fótons de saturação artificial [$1.000 \mu\text{mol (fóton) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]. Em cada parcela foram avaliadas duas plantas, efetuadas entre 08:00 horas e 11:00 horas. Foram

avaliadas as seguintes características: taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (A), condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (gs), concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) (C_i), taxa transpiratória ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (E), temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$) e razão do CO_2 intercelular e CO_2 ambiente (C_i/C_a). A partir desses dados foi estimada a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] pela razão entre A/ C_i e a eficiência instantânea de uso da água [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] (EUA) pela razão entre a A e E.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, nas variáveis quantitativas, as médias verificadas pela análise de regressão quanto ao ajuste polinomial. As variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de Tukey. Todas considerando 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 1999).

Resultados e discussão

Não houve interação significativa entre os fatores para análise de qualidade de muda. O *Lithothamnion* sp. apresentou efeito de dose apenas nas variáveis CR e comprimento de broto com ajuste de regressão quadrática e cúbica, respectivamente (Figura 1.). A dose que melhor representou o CR foi $1,80 \text{ kg m}^{-3}$.

Os resultados do CR sugerem o efeito auxínico atribuído ao *Lithothamnion* sp. em estudos com espécies de propagação seminal como no tomate (Amatussi et al., 2020). No entanto, a dose constatada é muito pequena para refletir esse efeito em estacas, visto que o *Lithothamnion* sp. possui a característica de interagir com substrato, o que pode alterar seus efeitos bioestimulantes nas plantas (Ramos et al., 2023).

Na formação de raízes adventícias, outras moléculas ou substâncias além dos hormônios podem iniciar o processo (Gonin et al., 2019). O cálcio faz parte deste grupo e é componente

em abundância na alga (Ramos et al., 2023). O Ca^{2+} em baixas concentrações podem favorecer o desenvolvimento radicular (Zhang et al., 2020). Assim, como em altas concentrações, age na inibição do transporte da auxina que é o principal hormônio na formação de raízes adventícias (Modrego et al., 2023). Até o momento, os mecanismos da interação do Ca^{2+} e da auxina na formação regulada de raízes adventícias não estão claros (Laohavisit, 2023; Modrego et al., 2023). No entanto os resultados encontrados neste experimento confirmam a inibição da formação de raízes adventícias em maiores concentrações de Cálcio.

Assim como nas raízes, o Ca^{2+} é o principal fator que medeia as respostas das estacas de pimenteira-do-reino a aplicação de *Lithothamnion* sp., principalmente com efeito inibidor. O comportamento cúbico da regressão no comprimento do broto confirma o efeito do Ca^{2+} . Essa resposta pode estar ligada a função do Ca^{2+} como mensageiro nutricional que sinaliza a absorção e regulação dos macronutrientes N, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e micronutrientes Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} (Wang et al., 2023). Em elevadas concentrações o cálcio provoca redução no acúmulo de K^+ , Mg^{2+} (Madani et al., 2015), N, P, K^+ (Weng et al., 2022). No entanto, para elucidar essas relações do Ca^{2+} seria necessária a análise de acúmulo de nutrientes para validação do efeito negativo do cálcio para comprimento do broto em pimenteira-do-reino.

A dose mais elevada do *Lithothamnion* sp. apresentou um leve estímulo do crescimento do broto. Esse efeito sugere a influência da maior concentração de substâncias húmicas e aminoácidos presentes na alga. As substâncias húmicas agem na bioestimulação nas plantas com estímulo no crescimento radicular e absorção de nutrientes (Garcia et al., 2019; Canellas et al., 2022). Os aminoácidos bioestimulam as plantas na sinalização de moléculas de crescimento (Puglia et al., 2021). Essas características podem ter contribuído para a redução do efeito inibidor do cálcio e proporcionar mais equilíbrio na absorção dos nutrientes e crescimento pimenteira-do-reino.

As amostras com presença de AIB apresentaram maiores médias de sobrevivência com diferença significativa para o cv. ‘Kottanadan Broto Branco’ que foi inferior (tabela 1.). Esses resultados apontam diferença entre as cultivares e confirmam o papel fundamental da aplicação da auxina para produção de mudas em estacas de pimenteira-do-reino. Mas esses resultados são dependentes da metodologia e concentração de AIB confirmadas no cv. ‘Bragantina’ em estudo com diferentes concentrações de AIB onde não houve diferença no índice de sobrevivência (Ambrozim et al., 2017). No entanto, Alexandre et al. (2023) constataram efeito negativo na sobrevivência do cv. ‘Bragantina’ com uso de AIB. Não foram encontrados resultados que validassem a discussão para cv. ‘Kottanadan Broto Branco’.

O cv. ‘Kottanadan Broto Branco’ com presença de AIB demonstrou maiores médias nas variáveis relacionadas às folhas (AF, NF, AFU, FMF, AFE, exceto MSF), bem como no comprimento e diâmetro do broto (tabela 1.). Os resultados sugerem que a utilização de AIB influencia positivamente a parte aérea da planta, corroborado por Oliveira et al. (2020) que observaram crescimento da altura da planta e AF no cv. ‘Kottanadan Broto Branco’. Essa resposta ao AIB aparece em outros estudos de pimenteira-do-reino, como Akshay et al. (2018) e Nguyen et al. (2020). O crescimento da parte aérea responde ao crescimento radicular adventício para equilibrar a relação parte aérea/raiz. Essa relação é fortemente afetada com a elevação da concentração de AIB em estacas de pimenteira-do-reino com inibição do crescimento da parte aérea (Ambrozim et al., 2017; Prajapati et al., 2018). Em concentrações muitas elevadas de AIB a pimenteira-do-reino pode apresentar inibição total (Nguyen et al., 2020). Os mecanismos que medeiam essa inibição ainda não são claros na pimenteira-do-reino, portanto carece de investigação científica.

O cv. ‘Bragantina’ com a presença de AIB apresentou médias maiores nas variáveis de matéria seca com diferença significativa para cv. ‘Bragantina’ e ‘Kottanadan Broto Branco’, ambas sem AIB para MSF, assim como, na MSC onde as médias do cv. ‘Kottanadan Broto

Branco' com presença e ausência de AIB foram inferiores (tabela 1.). Para MSPA e MST as médias do cv. 'Kottanadan Broto Branco' com ausência de AIB foram inferiores as demais seguidas do cv. 'Kottanadan Broto Branco' com AIB. Os resultados corroboram com Ambrozim et al. (2017) na MSPA e Akshay et al. (2018) na MST, ambos em cv. 'Bragantina' com AIB. Esses resultados sugerem que o cv. 'Bragantina' responde melhor ao AIB na partição de biomassa que pode refletir diretamente na qualidade da muda. Confirmado no IQDmm e no índice de robustez expresso na relação CC/DC, no qual o cv. 'Bragantina' com AIB apresentou médias maiores com diferença significativa para cv. 'Kottanadan Broto Branco' com e sem AIB, respectivamente para cada variável. Em relação a EUA o cv. 'Kottanadan Broto Branco' foi mais eficiente indica melhor desempenho no desenvolvimento das mudas.

No VR os tratamentos com AIB foram significativamente maiores do que os tratamentos com ausência de AIB (tabela 1.) Estes resultados são corroborados por Alexandre et al. (2023), que constataram influência positiva do AIB em três cv. de pimenteira-do-reino. A formação de raízes adventícias é mediada, principalmente, pelo equilíbrio hormonal endógeno da auxina AIA (Casanova-Saéz et al., 2021; Zhao et al., 2022). A aplicação de auxina exógena como AIB, auxilia na homeostase da auxina endógena AIA a partir de β -oxidação que converte AIB em AIA (Aryal et al., 2019). Essa conversão é rápida, em 2 horas a maior parte de AIB é convertido em AIA (Ruzicka et al., 2010).

Em resumo, o *Lithothamnion* sp. apresentou efeito positivo para CR e comprimento do broto, mas apenas CR se adequou ao modelo de regressão com a dose $1,80 \text{ kg m}^{-3}$. A utilização de AIB proporcionou melhor desenvolvimento das mudas com melhores respostas na acumulação de biomassa e crescimento de parte aérea. A cv. 'Kottanadan Broto Branco' com presença de AIB demonstrou superioridade nas variáveis morfológicas de qualidade de mudas.

Conclusão

1. O AIB apresentou médias maiores na formação das mudas de pimenteira-do-reino conferindo melhor acumulação de biomassa, volume de raiz e crescimento da parte aérea e conseqüentemente, melhor desenvolvimento das mudas.

2. O *Lithothamnion* sp. mostrou efeito positivo dose dependente no comprimento da raiz. A dose que melhor refletiu o crescimento foi de 1,80 kg m⁻³.

3. A bioestimulação do *Lithothamnion* sp. com efeito auxínico não foi satisfatória para rizogênese adventícia em estacas de pimenteira-do-reino para produção de mudas.

4. Para o cv. Kottanadan Broto Branco, a presença de AIB resultou em melhor desenvolvimento das mudas.

Referências

ALEXANDRE, R. S.; GILES, J. A. D.; SIQUEIRA, A. L.; RODRIGUES, J. P.; ARAUJO, C. P.; MELLO, T.; ROSA, T. L. M.; LOPES, J. C. Production of clonal seedlings of black pepper cv. Bragantina under doses of controlled-release fertilizer. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3639-e3639, 2022. DOI:10.14295/cs.v13.3639

AKSHAY, K. R.; SWAMY, N. M.; SHETTY, R.; GANAPATHI, M.; THIPPESHAPPA, G. N. Efficacy of media and growth regulators on rooting of black pepper (*Piper nigrum*) cuttings. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, ps. 3, p. 413-417, 2018.

AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, A. F.; MÓGOR, G.; LARA, G. B. de. Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, v. 32, n. 3, p. 2023-2030, 2020. DOI: 10.1007/s10811-020-02077-5

AMBROZIM, C. S.; FURTADO, J. G.; VALANI, R. da S.; POSSE, S. C. P.; ARANTES, S. D.; ARANTES, L. de O.; OLIVEIRA, E. C. de. Propagação de pimenta do reino em diferentes concentrações de ácido indolbutírico. **Revista Ifes Ciência**, v. 3, n. 2, p. 17-28, 2017. DOI:10.36524/ric.v3i2.322

ARYAL, B.; HUYNH, J.; SCHNEUWLY, J.; SIFFERT, A.; LIU, J.; ALEJANDRO, S.; LUDWIG-MULLER, J.; MARTINOIA, E.; GEISLER, M. ABCG36/PEN3/PDR8 is an exporter of the auxin precursor, indole-3-butyric acid, and involved in auxin-controlled development. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 899, 2019. DOI:10.3389/fpls.2019.00899

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, N. O. A.; JINDO, K.; ROSA, R. C. C.; PICCOLO, A. Challenge of transition: the history of a case study involving tropical fruits polyculture stimulated by humic acids and plant-growth promoting bacteria. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2022. DOI:10.1186/s40538-022-00342-y

CASANOVA-SÁEZ, R.; MATEO-BONMATÍ, E.; LJUNG, K. Auxin Metabolism in Plants. **Cold Spring Harb. Perspect. Biol.**, v. 13, p. a039867. 2021. Doi:10.1101/cshperspect.a039867

DICKSON, A. *et al.* Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v. 36, p.10-13, 1960. DOI:10.5558/tfc36010-1

FAO, Faostat. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERRARI, W. R.; CERRI-NETO, B. CRASQUE, J.; FERREIRA, T. R.; SOUZA, T. C. de; FALQUETO, A. R.; ARANTES, L. de O.; DOUSSEAU-ARANTES, S. Black pepper grafting in Piper wild species. **Bragantia**, v. 82, p. e20230105, 2023. DOI: 10.1590/1678-4499.20230105

FERREIRA, D. F. Sisvar 4.3 Sistema de Análises Estatísticas. Lavras: UFLA, 1999.

GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T. de; SANTOS, L. A.; TAVARES, O. C. H.; CASTRO, R. N.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA-MINA, J. M. Structure–property–function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: A review. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n. 6, p. 1622-1632, 2019. DOI:10.2134/jeq2019.01.0027

GONIN, M.; BERGOUIGNOUX, V.; NGUYEN, T. D.; GANTET, P.; CHAMPION, A. What Makes Adventitious Roots? **Plants**, v. 8, n. 240, p. 1-24, 2019. DOI:10.3390/plants8070240

IBGE, Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 14 dez. 2022.

KRAMER-WALTER, K. R.; BELLINGHAM, P. J.; MILLAR, T. R.; SMISSEN, R. D.; RICHARDSON, S. J.; LAUGHLIN, D. C. Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 5, p. 1299-1310, 2016. DOI: 10.1111/1365-2745.12562

LAKEHAL, A.; BELLINI, C. Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 1, p. 90-100, 2019. Doi: 10.1111/ppl.12823

LAOHAVISIT, A. Wound-Induced Rooting in Plants—A big BIG ROle Emerges for Calcium and Auxin. **Plant and Cell Physiology**, v. 64, n. 2, p. 149-151, 2023. DOI:10.1093/pcp/pcad007

LIU, Y.; RIAZ, M.; YAN, L.; ZENG, Y.; CUNCANG, J. Boron and calcium deficiency disturbing the growth of trifoliolate rootstock seedlings (*Poncirus trifoliolate* L.) by changing root architecture and cell wall. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 144, p. 345-354, 2019. Doi:org/10.1016/j.plaphy.2019.10.007

MADANI, B.; WALL, M.; MIRSHEKARI, A.; BAH, A.; MOHAMED, M. T. M. Influence of calcium foliar fertilization on plant growth, nutrient concentrations, and fruit quality of papaya. **HortTechnology**, v. 25, n. 4, p. 496-504, 2015. DOI:10.21273/HORTTECH.25.4.496

MALIK, A. MOR, V. S.; TOKAS, J.; PUNIA, H.; MALIK, S.; MALIK, K.; SANGWAN, S.; TOMAR, S.; SINGH, P.; SINGH, N.; HIMANGINI; VIKRAM; NIDHI; SINGH, G.; VIKRAM; KUMAR, V. SANDHYA; KARSWASRA, A. Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. **Agronomy**, v. 11, n. 14, p. 1-24, 2021. DOI:10.3390/agronomy11010014

MÓGOR, A. F.; AMATUSSI, J. O.; MÓGOR, G.; GEMIN, L. G. Biostimulant action of Lithothamnion sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 3, p. 1905-1913, 2021. DOI: 10.1007/s10811-021-02394-3

MODREGO, A.; PASTERNAK, T.; OMARY, M.; ALBACETE, A.; CANO, A.; PERÉZ-PERÉZ, J. M.; EFRONI, I. Mapping of the classical mutation rosette highlights a role for calcium in wound-induced rooting. **Plant and Cell Physiology**, v. 64, n. 2, p. 152-164, 2023. DOI:10.1093/pcp/pcac163

MONTEIRO, A. B.; BAMBERG, A. L.; PEREIRA, I. dos S.; STOCKER, C. M.; TIMM, L. C. Características físico-hídricas de substratos formulados com lodo de esgoto na produção de mudas de acácia-negra. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1428-1435, 2019. DOI:10.5902/1980509834590

NGUYEN, T. Q.; NGUYEN, B. H.; THI, D. H. T.; THI, O. D.; NGUYEN, Q. N.; VO, C. C. Rooted cuttings by IBA (Indole butyric acid) and NAA (Naphthalene acetic acid) in black pepper (*Piper nigrum*) - A case study in Vietnam. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 3, p. 1880-1885, 2020. DOI:10.22271/chemi.2020.v8.i3z.9480

OLIVEIRA, V. de S.; RODRIGUES, P. de S.; BUFFON, S. B.; MORAIS, A. L. de; ARANTES, S. D.; TOGNERE, J.; VIAL, P. S.; SCHMILD, O.; SCHMILD, E. R. Efeito da aplicação de ácido-indol-3-butírico no crescimento e qualidade de mudas de *Piper nigrum* L. cv. kottanadan propagadas vegetativamente. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 2, 2020. DOI:10.36524/ric.v6i2.393

POORTER, H.; NIKLAS, K. J., REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2011. DOI:10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x

PRAJAPATI, N.; PADHIAR, B. V.; PATEL, U.; PATEL, P. Effect of Plant Growth Regulators on Rooting of Cutting in Black Pepper (*Piper nigrum* L.) cv. Panniyar-1 Under Protected Condition. **Trends in Biosciences**, v. 11, n. 11, p. 2133-2136, 2018.

PUGLIA, D.; PEZZOLA, D.; GIGLIOTTI, G.; TORRE, L.; BARTUCCA, M. L.; DEL BUONO, D. The opportunity of valorizing agricultural waste, through its conversion into

biostimulants, biofertilizers, and biopolymers. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2710, 2021. DOI:10.3390/su13052710

RAMOS, E. P.; FERREIRA, T. R.; AGUIAR, D. B. de; ALVES, F. L.; DOUSSEAU-ARANTES, S. Lithothamnion sp. as biostimulant in plant cultivation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, p. e76273, 2023. DOI: 10.1590/1983-40632023v5376273

RODRIGUEZ, W. D. M.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; HONORATO, M. V. Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with Lithothamnium. **Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín**, v. 70, n. 2, p. 8177-8182, 2017. DOI:10.15446/rfna.v70n2.64522

RŮŽIČKA, K.; STRADER, L. C.; BAILLY, A.; YANG, H.; BLAKESLEE, J.; LANGOWSKI, L.; NEJEDLA, E.; FUJITA, H.; ITOH, H.; SYONO, K.; HEJATKO, J.; GRAY, W. M.; MARTINOIA, E.; GEISLER, M.; BARTEL, B.; MURPHY, A. S.; FRIML, J. Arabidopsis PIS1 encodes the ABCG37 transporter of auxinic compounds including the auxin precursor indole-3-butyric acid. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 23, p. 10749-10753, 2010. DOI:10.1073/pnas.1005878107

SARATH, H. R.; BHOOMIKA, R. H. Influence of root trainer and rooting media on root and shoot growth of black pepper (*Piper nigrum* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 3 p. 400-403, 2018.

SECUNDINO, W.; ALEXANDRE, R. S.; SCHMILDT, E. R.; SCHMILDT, O.; CHAGAS, K.; MARQUES, H. I. P. Substrates on the cuttings rooting of black pepper genotypes. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 4, p. 621-628, 2018. DOI:10.14295/cs.v9i4.2137

WANG, T.; CHEN, X.; JU, C.; WANG, C. Calcium signaling in plant mineral nutrition: From uptake to transport. **Plant Communications**, 2023. DOI:10.1016/j.xplc.2023.100678

WEI, K.; RUAN, L.; WANG, L.; CHENG, H. Auxin-induced adventitious root formation in nodal cuttings of *Camellia sinensis*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 19, p. 4817, 2019. DOI:10.3390/ijms20194817

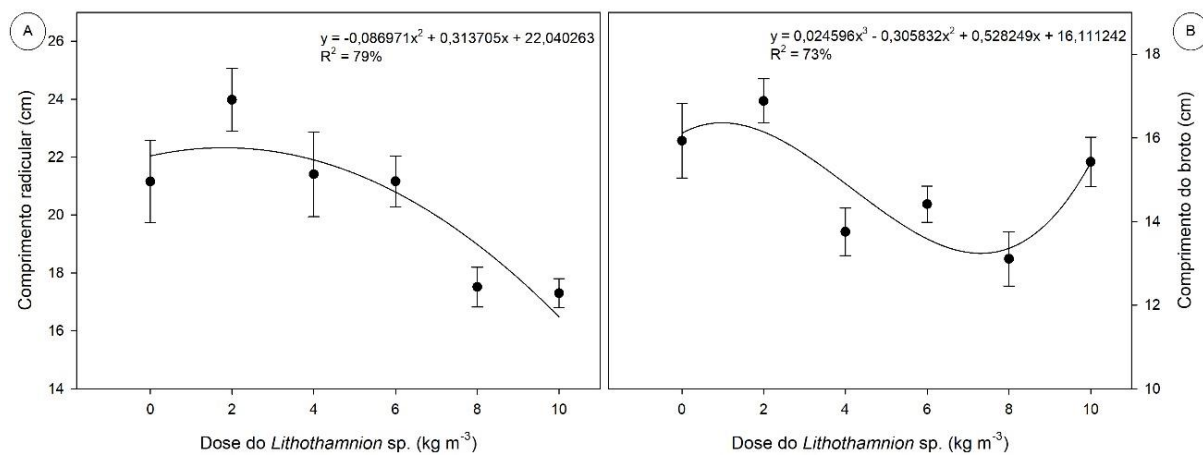
WENG, X.; LI, H.; REN, C.; ZHOU, Y.; ZHU, W.; ZHANG, S.; LIU, L. Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 887098, 2022. DOI:10.3389/fpls.2022.887098

WIJAYANTO, T.; BUDIARTO, S.; RAKIAN, T. C. Node number and pre-treatment with growth hormone influence the growth of pepper cuttings (*Piper nigrum* L.). In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2023. DOI: 10.1063/5.0118727

ZHANG, Zhen; JIN, Guoqing; ZHOU, Zhichun. Seedling growth, root development and nutrient use efficiency of Cypress clones in response to calcium fertilizer. **Dendrobiology**, v. 84, 2020. DOI:10.12657/denbio.084.004

ZHAO, Y.; CHEN, Y.; JIANG, C.; LU, M-Z.; ZHANG, J. Exogenous hormones supplementation improve adventitious root formation in woody plants. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 1009531, 2022. DOI:10.3389/fbioe.2022.1009531

Figura 1. Resultado isolado do fator dose no crescimento do comprimento radicular e do broto em pimenteira-do-reino em relação a aplicação de *Lithothamnion* sp..



*As barras representam o desvio padrão.

Tabela 1. Resposta do fator isolado cultivar de pimenteira-do-reino com presença e ausência de AIB nas variáveis de qualidade de mudas. Legenda: AF- Área Foliar, NF – Número de folhas, MSF – Massa Seca Foliar, AFU - Área Foliar Unitária, AFE – Área Foliar Específica, FMF – Fração de Massa Foliar, CB – Comprimento do Broto, DB – Diâmetro do Broto, MSC – Massa Seca do Caule, CEC – Comprimento Específico do Caule, CC/DC - Índice de Robustez, CR – Comprimento da Raiz, VR – Volume Radicular, CER – Comprimento Específico da Raiz, RF – Espessura de Raiz, MSPA – Massa Seca da Parte Aérea, MSPA/MSR – Massa Seca da Parte Aérea/Massa Seca da Raiz, MST – Massa Seca Total, IQDmm – Índice de Qualidade de Dickson e o EUA - Eficiência no Uso da Água.

Variáveis	‘Bragantina’	‘Bragantina’ AIB	‘Kottanadan Broto Branco’	‘Kottanadan Broto Branco’ AIB	Desvio padrão médio
Sobrevivência	76ab	84a	68b	85a	6,25
AF	126,30c	173,11b	188,07b	266,97a	39,17
NF	4,61b	5,46b	7,15a	7,75a	1,20
MSF	13,99bc	20,10a	9,12c	16,84ab	3,45
AFU	28,01bc	31,15ab	26,18c	34,30a	2,81
AFE	15,07ab	10,57b	22,62a	17,20ab	3,54
FMF	0,26c	0,32b	0,34ab	0,40a	12,62
CB	13,19b	15,35ab	13,80b	17,33a	1,42
DB	5,23b	5,36b	5,55ab	5,89a	0,21
MSC	29,57a	29,95a	13,32b	18,43b	6,94
CEC	0,82b	0,81b	1,69a	1,43a	0,37
CC/DC	3,94ab	4,25a	3,82b	4,16ab	0,16
CR	17,21b	19,85ab	21,77a	22,85a	1,89
VR	49,17b	68,75a	30,21c	56,25ab	11,40
CER	3,71bc	2,48c	7,14a	4,54b	1,37
RF	0,44b	0,33b	0,88a	0,47b	0,17
MSPA	43,56ab	50,05a	22,44c	35,27b	8,97
MSPA/MSR	7,84a	5,91c	7,21ab	6,43ab	0,67

(conclusão)

Variáveis	'Bragantina'	'Bragantina' AIB	'Kottanadan Boto Branco'	'Kottanadan Boto Branco' AIB	Desvio padrão médio
MST	49,73ab	59,00a	25,89c	41,20b	10,41
IQDmm	1,47a	1,72a	0,77c	1,11b	0,32
EUA	1,70c	2,13b	2,86a	2,86a	0,47

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAL

O *Lithothamnion* sp. é uma alga de ocorrência natural na costa brasileira com áreas pouco exploradas e com reservas subestimadas. Essas características associadas ao conhecimento gerado na pesquisa para o crescimento e desenvolvimento de plantas posicionam a alga como uma importante alternativa aos insumos agrícolas tradicionais. Sobretudo, pelo fato do Brasil possui alta demanda ligada baixa produção de insumos.

A exploração comercial do *Lithothamnion* sp. requer atenção aos aspectos ambientais, um por se tratar de um ser vivo, mesmo que as estruturas que são extraídas estejam, em sua maioria, fossilizadas conhecidas como rodólitos. Outra, por está em um ambiente extremamente vulnerável a perturbações que desencadeiam sérios problemas, como a turbidez da alga, que afetam a dinâmica biológica do ambiente. Além disso, a exploração analisada em ótica macro, denota a mudanças climáticas devido a extração e exportação para atmosfera de carbono de reservas marinhas, consideradas os maiores bancos de carbono do planeta.

Os resultados obtidos reforçam os efeitos bioestimulantes positivos do *Lithothamnion* sp. na produção vegetal, principalmente na produção de mudas de mamoeiro e pimenteira-do-reino. Em mudas de mamoeiro 'Aliança' foi constatada maior eficiência quando o *Lithothamnion* sp. foi utilizando por aplicação via aquosas.

Os resultados do mamoeiro fornecem base para esse método de aplicação na exploração de novas pesquisas para produção de mudas espécies propagadas via seminal, mais também por estaquia, como a pimenteira-do-reino. Visto que, houve inibição da rizogênese adventícia com elevação das doses de *Lithothamnion* sp. aplicados no substrato.

O estudo demonstrou que o efeito bioestimulante do *Lithothamnion* sp. está vinculado a sua origem com diferenças significativa da eficácia na produção de mudas. Além disso, evidenciou o mecanismo nutricional como fator na bioestimulação por *Lithothamnion* sp. em mudas de mamoeiro e pimenteira-do-reino, principalmente as relações que envolve a participação do Ca^{2+} .

Portanto, é necessário a realização de mais pesquisas para validar essa tecnologia e assegurar ao produtor rural seu uso correto nas diversas espécies de plantas agrícolas, principalmente na calibração da dose ideal, origem do *Lithothamnion* sp. e o método de aplicação que reflitam no melhor desempenho das plantas. Assim como, pesquisas com ênfase em elucidar os mecanismos moleculares subjacentes aos efeitos do *Lithothamnion* sp. e a associação com reguladores de crescimento.

REFERÊNCIAS GERAL

AMATUSSI, J. O. *et al.* Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, v.32, n.3, p.2023-2030, 2020.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia. Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

FAROOQ, Ahsan *et al.* A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 162, 2023.

MALIK, A. *et al.* Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. **Agronomy**, v. 11, n. 14, p. 1-24, 2021.

RAMOS, E. P. *et al.* *Lithothamnion* sp. as biostimulant in plant cultivation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, e76273, 2023.

SHAHRAJABIAN, Mohamad Hesam *et al.* Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. **Biomolecules**, v. 11, n. 5, p. 698, 2021.

THOR, K. Calcium nutrient and messenger. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 440, 2019.

YAKHIN, O. I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 2049, 2017.